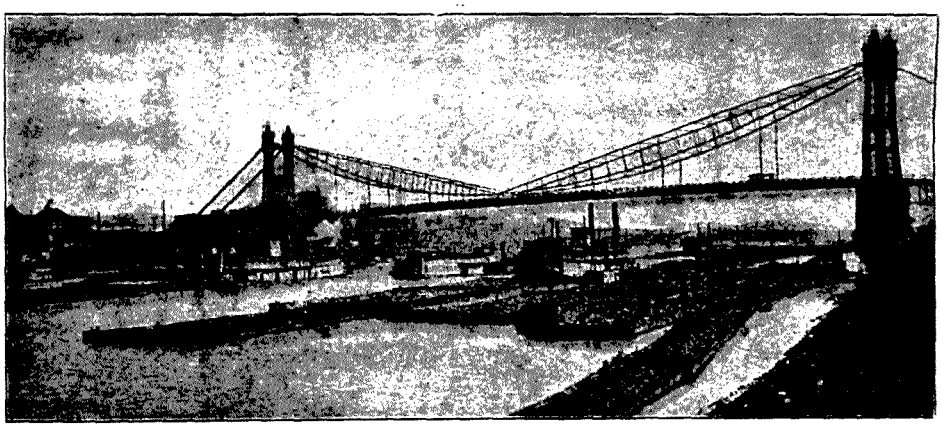
Изданіе Института Инженеровъ Путей Сообщенія Императора Александра I.

Л. Николаи.

МОСТЫ.

РУКОВОДСТВО,

составленное по программѣ Института Инженеровъ Путей Сообщенія Императора Александра I.



Выпускъ I.

Съ атласомъ изъ 54 листовъ чертежей.

С.-ПЕТЕРБУРГЪ.
Типографія Ю. Н. Эрлихъ, Садовая, № 9.
1901.

Печатано по распоряженію Института Инженеровъ Путей Сообщенія
Императора АЛЕКСАНДРА I.

ОГЛАВЛЕНІЕ.

СТРАН.

ВВЕДЕНІЕ: Краткій обзоръ постепеннаго развитія типовъ мостовыхъ сооруженій . . . . . 1— 71

Каменные мосты (1).

Деревянные мосты (8).

Металлическіе мосты. — Чугунные арочные мосты (20). — Желѣзные мосты съ фермами системъ: висячей (24), балочной (33), арочной (51).

Подвижные мосты (61).

Глава I. Общія понятія о мостахъ; классификація мостовъ и мостовыхъ фермъ . . . . . 71—139

Общія понятія о мостахъ (71).

Классификація мостовъ по роду движенія (72), по роду матеріала (72) и по роду опоръ и пролетныхъ частей (постоянные и подвижные мосты) (73).—Различные типы подвижныхъ мостовъ: раздвижные (73), поворотные (мосты-краны и собственно поворотные мосты) (78), подъемные (мосты съ горизонтальною осью вращенія и мосты съ фермами, поднимаемыми вверхъ въ горизонтальномъ положеніи) (93), плотовые (99), плашкоутные (101), летучіе мосты (паромы, самолеты и передвижныя платформы) (113).

Классификація мостовыхъ фермъ по роду проявляющагося въ фермахъ напряженія на фермы, не производящія горизонтальнаго распора, на фермы съ горизонтальнымъ распоромъ прямого направленія и обратнаго.—Главнѣйшіе признаки каждаго изъ трехъ перечисленныхъ типовъ фермъ (119). — Фермы, не производящія горизонтальнаго распора: простая балочная ферма, шпрепгельная ферма, подвѣсная ферма съ затяжкой, балочная трубчатая ферма, балочныя фермы со сквозною стѣнкою (122); подраздѣленіе фермъ со сквозною стѣнкою въ отношеніи паружнаго очертанія фермы на: а) фермы съ параллельными поясами, б) параболическія, в) гиперболическія, г) Паули, д) полупараболическія, е) полигональнаго очертанія, ж) стропильнаго очертанія, з) Лозе, и) Гербера (123), — и въ отношеніи устройства сквозного заполненія на фермы: а) рѣшетчатыя, б) раскосныя, в) фермы сложной системы (128).—Фермы съ горизонтальнымъ распоромъ прямого направленія: ферма подкосной системы, арочная ферма (135). — Фермы съ горизонтальнымъ распоромъ обратнаго направленія (висячія фермы): гибкая висячая ферма, жесткая висячая ферма, составная висячая ферма изъ висячей и балочной (138).

Глава II. Мѣстныя данныя для составленія проекта моста . . . . . 139—167

Опредѣленіе площади бассейна, плана перехода рѣки, положенія горизонтовъ воды, уклоновъ горизонтовъ воды и лога, площади живого сѣченія (139).—Опредѣленіе скоростей

по эмпирическимъ формуламъ (4 класса эмпирическихъ формулъ) (142) и непосредственнымъ измѣреніемъ (поплавки, трубки Питó и Дарси, вертушка Вольтмана) (149).—Опредѣленіе расхода воды въ большихъ рѣкахъ (151). — Опредѣленіе расхода воды малыхъ ручейковъ и въ долинахъ средней величины въ зависимости отъ ливней (154, 959 и 962). — Изслѣдованіе грунта ложа рѣки (165).

Глава III. Опредѣленіе отверстій искусственныхъ сооруженій . . . . . 167—280

Условія, коимъ должно удовлетворять отверстіе моста (167).

Опредѣленіе отверстій большихъ мостовъ въ томъ случаѣ, когда размывъ не допускается. — Вызванныя стѣсненіемъ наибольшія скорости на поверхности и по дну (168).—Предѣльныя скорости по дну для различныхъ грунтовъ (169).—Соображенія о выборѣ предѣльной скорости по дну (171). — Подпоръ истинный и кажущійся (172). — Протяженіе подпора (175). — Численный примѣръ опредѣленія отверстія моста (176).

Опредѣленіе отверстій большихъ мостовъ въ томъ случаѣ, когда допускается размывъ грунта.—Опредѣленіе величины вѣроятнаго размыва (183).—Опредѣленіе необходимой для устойчивости опоры глубины заложенія основанія: первый пріемъ (формула Паукера) (186), второй пріемъ (192).—Три численныхъ примѣра опредѣленія отверстія, величины размыва и глубины заложенія основанія опоръ (193).

Опредѣленіе отверстія мостовъ по бассейнамъ (таблица Бѣлинскаго) (200).—Опредѣленіе отверстія мостовъ чрезъ горныя рѣки (200). — Дополнительныя соображенія относительно опредѣленія отверстій расчетомъ (201).—Соображенія о помѣщеніи добавочныхъ отверстій въ предѣлахъ разлива рѣкъ (202).—Значеніе и типы струенаправляющихъ дамбъ (205). — Примѣры устройства струенаправляющихъ сооруженій около мостовъ (211).

Опредѣленіе отверстій искусственныхъ сооруженій, покрывающихъ небольшіе ручейки и тальвеги, сухіе въ лѣтнее время. — Общія основныя положенія (224). — Опредѣленіе отверстій по эмпирическимъ правиламъ (225). — Опредѣленіе расчетомъ отверстій открытыхъ мостиковъ (226), каменныхъ трубъ (232) и металлическихъ трубъ (240) съ приложеніемъ численныхъ примѣровъ. — Опредѣленіе протяженія перепада въ каменныхъ трубахъ (238).—Мѣры предосторожности противъ заполненія отверстій трубъ наносами (253).

Выборъ наивыгоднѣйшей величины пролета. — Общія соображенія (254). — Выписка изъ циркуляра 6. Департамента Шоссейныхъ и Водяныхъ сообщеній 1897 г. за № 39 относительно правилъ, которыми слѣдуетъ руководствоваться при назначеніи величины отдѣльныхъ пролетовъ на судоходныхъ рѣкахъ (255).—Опредѣленіе наивыгоднѣйшаго пролета каменныхъ арочныхъ мостовъ (256).—Опредѣленіе наивыгоднѣйшей величины пролета, перекрытаго балочными фермами разрѣзными и неразрѣзными (256).—Эмпирическія формулы для металлическихъ віадуковъ (258). — Опредѣленіе наивыгоднѣйшаго пролета для фермъ системы Гербера (259).—Примѣры (273).

Глава IV. Внѣшнія силы, вызывающія усилія въ составныхъ частяхъ фермъ . . . . . 280—441

Постоянная нагрузка (собственный вѣсъ). — Общій видъ эмпирическихъ формулъ для опредѣленія собственнаго вѣса (280). — Эмпирическія формулы и данныя для опредѣленія собственнаго вѣса деревянныхъ пролетныхъ частей мостовъ подъ желѣзную и обыкновенную дороги съ фермами изъ одиночныхъ балокъ (282), изъ составныхъ балокъ (283), съ фермами со сквозною стѣнкою (284), подкосными, подвѣсными и арочными (287). — Эмпирическія формулы и данныя для опредѣленія собственнаго вѣса металлическихъ пролетныхъ частей мостовъ съ фермами балочной системы подъ дороги желѣзную (288) и

обыкновенную (320). — Эмпирическія формулы и данныя для опредѣленія собственнаго вѣса металлическихъ пролетныхъ частей мостовъ съ фермами системы Гербера подъ дороги желѣзную (325) и обыкновенную (330). — Эмпирическія формулы и данныя существующихъ мостовъ для опредѣленія собственнаго вѣса металлическихъ пролетныхъ частей мостовъ съ арочными фермами подъ дороги желѣзную (332) и обыкновенную (341). — Эмпирическія формулы для опредѣленія собственнаго вѣса металлическихъ пролетныхъ частей мостовъ съ фермами системы Финка, Больмана и Варрена подъ желѣзную и обыкновенную дороги (344).—Эмпирическія формулы и данныя существующихъ мостовъ для опредѣленія собственнаго вѣса металлическихъ пролетныхъ частей мостовъ съ фермами висячей системы подъ желѣзную и обыкновенную дороги (347).—Эмпирическія формулы для опредѣленія собственнаго вѣса каменныхъ пролетныхъ частей (353).

Подвижная нагрузка для желѣзнодорожныхъ мостовъ.—Составъ расчетнаго нормальнаго поѣзда въ Россіи (355) и заграницей (356).—Основанія опредѣленія эквивалентной сплошной нагрузки для моментовъ и перерѣзывающихъ усилій въ одновролетной балкѣ, свободно опирающейся на опоры (359).—Таблица эквивалентныхъ сплошныхъ нагрузокъ для разрѣзной фермы, соотвѣтствующихъ циркуляру отъ 16 января 1896 г. за № 753 (364). — Таблица Крона для эквивалентныхъ нагрузокъ балочныхъ фермъ (369).— Формулы Винклера для опредѣленія эквивалентныхъ нагрузокъ (370).—Пользованіе эквивалентными нагрузками разрѣзныхъ балокъ для опредѣленія моментовъ и перерѣзывающихъ усилій въ неразрѣзной балкѣ (371). — Пріемы опредѣленія эквивалентныхъ нагрузокъ для арочныхъ фермъ (371).—Таблицы Энгессера и Крона нагрузокъ для арочныхъ фермъ, эквивалентныхъ дѣйствію одного изъ заграничныхъ нормальныхъ поѣздовъ (372).—Формулы Винклера эквивалентныхъ нагрузокъ для арочныхъ фермъ (374). — Опредѣленіе аналитически абсолютнаго максимума сгибающаго момента въ балочной однопролетной фермѣ отъ системы неизмѣнно-связанныхъ сосредоточенныхъ подвижныхъ грузовъ. (Способъ гиперболическихъ параболоидовъ) (374).—Примѣръ (377).—Та же задача въ случаѣ равныхъ грузовъ на одинаковомъ взаимномъ разстояніи (381). — Признаки, указывающіе предѣльное на пролетѣ число равныхъ, на одинаковомъ разстояніи разставленныхъ грузовъ, вызывающихъ max. момента (387). — Опредѣленіе абсолютнаго max. момента при совмѣстномъ дѣйствіи сосредоточенныхъ грузовъ и равномѣрной сплошной нагрузки, покрывающей весь пролетъ (390).—Примѣры (395).—Та же задача въ случаѣ равныхъ грузовъ на одинаковомъ взаимномъ разстояніи (400). — Опредѣленіе абсолютнаго наибольшаго перерѣзывающаго усилія (410). — Опредѣленіе наибольшаго момента въ данномъ сѣченіи (411).— Опредѣленіе наибольшаго перерѣзывающаго усилія въ данномъ сѣченіи (412). — Примѣръ (414). — Опредѣленіе въ данномъ сѣченіи пролета при помощи инфлюэнтныхъ кривыхъ наибольшаго момента и наибольшаго перерѣзывающаго усилія, вызываемыхъ системою подвижныхъ неизмѣнно-связанныхъ сосредоточенныхъ грузовъ, при непосредственномъ дѣйствіи и при узловой передачѣ (420).—Примѣненіе инфлюэнтныхъ кривыхъ къ опредѣленію въ данномъ сѣченіи неразрѣзной балки наибольшихъ моментовъ и перерѣзывающихъ усилій (425). — Примѣненіе инфлюэнтныхъ кривыхъ къ опредѣленію наибольшихъ моментовъ, нормальныхъ и продольныхъ усилій въ данномъ сѣченіи плоской параболической арки (427). — Примѣненіе инфлюэнтныхъ кривыхъ для опредѣленія наибольшихъ значеній опорныхъ сопротивленій и усилій въ элементахъ любой фермы (428).

Подвижная нагрузка для мостовъ подъ обыкновенную дорогу.—Нормы Министерства Путей Сообщенія (429).—Общія нормы нагрузокъ для проѣзжей части и для главныхъ фермъ (430). — Нормы для мостовъ подъ конно-желѣзную дорогу, для пѣшеходныхъ и скотопрогонныхъ мостовъ и для акведуковъ (432).—Данныя относительно заграничныхъ нормъ (432).

Вертикальные удары.—Вліяніе скорости подвижного груза (434).

Сопротивленіе опоръ (436).

Горизонтальныя силы.—Вліяніе тормаженія (436).—Распоръ земли (436).—Давленіе вѣтра (436).—Боковыя колебанія паровоза и вагоновъ (440) — Центробѣжная сила въ кривыхъ частяхъ пути (440).

Вліяніе температуры. — Данныя относительно линейнаго расширенія металловъ, растворовъ, камней и кладки (440).

Глава V. Коэффиціенты допускаемыхъ напряженій . 441—5(

Дерево.—Коэффиціенты допускаемыхъ напряженій по Журавскому (441), по циркуляру Министерства Путей Сообщенія (442) и по заграничнымъ даннымъ (443).

Сварочное желѣзо.—Коэффиціенты допускаемыхъ напряженій по циркуляру Министерства Путей Сообщенія (443).—Данныя о напряженіи въ существующихъ желѣзныхъ цѣпныхъ и проволочныхъ мостовыхъ фермахъ (444).—Коэффиціенты допускаемыхъ напряженій, принятые въ Америкѣ (445).

Литое желѣзо.—Коэффиціенты допускаемыхъ напряженій по циркуляру Министерства Путей Сообщенія (446).—Оцѣнка вліянія продольнаго изгиба по Ясинскому (таблица ломающихъ напряженій для стоекъ со свободными концами), Грасгофу, Шюблеру, Шварцу и Лове (450). — Коэффиціенты допускаемыхъ напряженій по заграничнымъ постановленіямъ (458).

Сталь.—Коэффиціенты допускаемыхъ напряженій (463). —Заграничныя данныя о напряженіи въ существующихъ мостовыхъ фермахъ, какъ балочныхъ, такъ и висячихъ (проволочныхъ) (463).

Чугунъ.—Коэффиціенты допускаемыхъ напряженій (467).

Данныя Résal'я о допускаемыхъ напряженіяхъ для желѣза, стали, чугуна и дерева (468).—Формулы Launhardt'а и Weyrauch'а для оцѣнки вліянія повторныхъ, одноименныхъ и разноименныхъ напряженій на основаніи опытовъ Вёлера (468). — Положенія Баушингера, дополняющія выводы Вёлера (476). — Фермула и коэффиціенты Häseler'а для оцѣнки вліянія различныхъ обстоятельствъ движенія и побочныхъ условій на напряженіе матеріала въ мостовыхъ фермахъ (479).

Камни, растворы, бетонъ и каменная кладка.—Данныя о коэффиціентахъ прочнаго сопротивленія, принятыхъ въ Россіи и за границей (481). — Данныя о временномъ сопротивленіи растворовъ (483 и 963), бетона (485), камней (492 и 963), каменной кладки—обыкновенной (497) и сводчатой (500), свинцовыхъ прокладокъ (501).

Грунты.—Данныя о коэффиціентахъ допускаемыхъ напряженій (501).

Глава VI. Общія данныя относительно основныхъ размѣровъ пролетнаго строенія и соображенія относительно расположенія моста . . . . . 507—516

Длина фермъ: пролетъ въ свѣту и расчетный пролетъ (507).—Ширина моста (508).—Габаритъ подвижного состава и предѣлы приближенія къ постояннымъ устройствамъ (511). — Наименьшая высота чистаго проѣзда (512). — Уклоны мостового полотна продольный (512) и поперечный (513).— Возвышеніе полотна проѣзжей части и фермъ надъ горизонтомъ высокихъ водъ (514).—Косина мостовыхъ фермъ (514).—Соображенія относительно расположенія моста (515).

Глава VII. Типы каменныхъ опоръ . . . . . 516—596

Основные типы *устоевъ* (516).

Устои съ обратными стѣнками.—Общее описаніе (518). – Длина передней стѣнки устоя (ширина устоя) (519).—Высота устоя (519).—Длина обратныхъ стѣнокъ (519).—Правила начертанія профили и плана передней стѣнки устоя балочныхъ фермъ (520).—

СТРАН.

Начертаніе профили передней стѣнки устоя арочной и подкосной фермы (524). — Начертаніе плана и профили обратныхъ стѣнокъ (525). — Начертаніе плана и профили фундамента устоя (526). — Дрены (527). — Условія устойчивости устоя (527). — Контрфорсы (528). — Примѣры (528).

Устои съ откосными крыльями. — Общее описаніе (530). — Основные размѣры передней стѣнки и ея очертаніе (530). — Различные типы откосныхъ крыльевъ (530). — Длина откосныхъ крыльевъ (532). — Толщина крыльевъ (532). — Примѣры (532).

Различные типы устоевъ въ видѣ сплошныхъ или полыхъ столбовъ, съ колодцами и съ поперечными галлереями (сомкнутые устои). — Общее описаніе (537). — Условія начертанія сплошныхъ устоевъ съ колодцами и сомкнутыхъ устоевъ (538). — Примѣры (540).

Спеціальные типы устоевъ. — Обсыпные и скрытые устои (545). — Типы раздѣльныхъ устоевъ (546). — Примѣры (549). — Устои-віадуки (550). — Примѣры (551).

Типы укрѣпленія основанія устоевъ для предохраненія отъ ядмывовъ и типы укрѣпленія входныхъ и выходныхъ лотковъ (552). — Данныя относительно объема кладки въ опорахъ желѣзнодорожныхъ мостовъ (558 и 964). — Данныя относительно основныхъ наружныхъ размѣровъ устоевъ желѣзнодорожныхъ мостовъ (559).

Промежуточныя опоры (быки). — Общая характеристика (559). — Очертаніе быка въ планѣ (560). — Высота быка (562). — Длина и толщина быковъ (563). — Полые быки (569). — Многоэтажныя опоры (569). — Примѣры быковъ (571). — Порталы и пилоны (583).

Ледорѣзы. — Общая характеристика (584). — Основные типы ледорѣзовъ (586). — Правила начертанія ледорѣза (588). — Основныя правила разрѣзки камней (591). — Примѣры ледорѣзовъ (591). — Отдѣльные деревянные ледорѣзы впереди каменныхъ быковъ (595).

Глава VIII. Производство работъ по устройству каменныхъ опоръ . . . . . 596—641

Разбивка работъ (596).

Заготовка матеріаловъ, обмѣръ и пріемка (600). — Составъ цементнаго и сложнаго растворовъ (603). — Приготовленіе цементнаго и сложнаго растворовъ (604).

Перемѣщеніе матеріала на мѣстѣ работъ (лѣса, мостовой кранъ) (606). — Теплые бараки (609). — Расцредѣленіе работъ по временамъ года (610). — Временныя вспомогательныя сооруженія (610).

Бутовая кладка (610). — Кирпичная кладка (611). — Составъ бетона (612). — Приготовленіе бетона (613). — Бетонная кладка — подводная и надводная (614).

Облицовка камнемъ (619). — Размѣры облицовочныхъ камней и кладка каменной облицовки (620). — Повѣрка правильности кладки (621). — Расшивка (622). — Кирпичная облицовка (622). — Бетонная облицовка (622). — Разрѣзка облицовочныхъ камней въ опорахъ и въ ледорѣзахъ (623).

Описаніе работъ по устройству опоръ нѣкоторыхъ мостовъ (627).

Изготовленіе фашинныхъ тюфяковъ, погружаемыхъ для защиты основаній мостовыхъ опоръ (638).

Среднія единичныя цѣны по устройству каменныхъ опоръ (640). — Среднія цѣны работъ на Самаро-Уфимской желѣзной дорогѣ (641).

Глава IX. Опредѣленіе поперечныхъ размѣровъ каменныхъ опоръ . . . . . 641—712

Общія соображевія (641).

Формулы, служанція для опредѣленія давленія земли на подпорную стѣнку съ внутреннею вертикальною гранью, поддерживающую насыпь. — Выводъ формулъ (644). —

Частные случаи: A) стѣнка поддерживаетъ насыпь, ограниченную отъ кордона горизонтальною плоскостью (645); B) стѣнка поддерживаетъ насыпь, имѣющую кавальеръ съ горизонтальною кропою (649); C) стѣнка поддерживаетъ насыпь, ограниченную отъ кордона неограниченною наклонною плоскостью (652); D) стѣнка поддерживаетъ насыпь, понижающуюся отъ кордона (654).

Давленіе земли на стѣнку съ внутреннимъ откосомъ (655).—Давленіе земли на парныя подпорныя стѣнки (656).

Устои фермъ безъ горизонтальнаго распора. — Провѣрка заданныхъ размѣровъ устоевъ и опредѣленіе размѣровъ ихъ по условіямъ устойчивости (658). — Провѣрка заданныхъ размѣровъ устоевъ и опредѣленіе размѣровъ ихъ по условіямъ прочности (667).— Значеніе контрфорсовъ (672).

Устои фермъ подкосной и арочной системъ.— Провѣрка заданныхъ размѣровъ устоевъ и опредѣленіе размѣровъ ихъ по условіямъ устойчивости (673).

Устои каменныхъ арочныхъ мостовъ. — Эмпирическія данныя для опредѣленія толщины устоевъ каменныхъ арокъ (676). — Опредѣленіе величины распора (677). — Провѣрка заданныхъ размѣровъ устоевъ и опредѣленіе ихъ по условіямъ устойчивости (679). — Опредѣленіе прочности устоевъ (680). — Устои съ гранями, наклоненными въ одну сторону (683).

Быки мостовъ съ балочными и подкосными фермами, а также быки каменныхъ арочныхъ мостовъ. — Опредѣленіе размѣровъ быковъ мостовъ съ балочными фермами въ зависимости отъ условій устойчивости и прочности (683). — Очертаніе быка равнаго сопротивленія (683). — Опредѣленіе размѣровъ быка по-верху, не принимая и принимая въ расчетъ давленіе вѣтра (684).—Опредѣленіе размѣровъ быковъ подкосныхъ фермъ изъ условій устойчивости и прочности (688). — Опредѣленіе размѣровъ быковъ арочныхъ фермъ (690).

Опредѣленіе размѣровъ быка въ зависимости отъ силы ледохода. — Общія соображенія (691). — Опредѣленіе приведенной массы быка (693).—Опредѣленіе работы, поглощенной послѣ удара льдиною и быкомъ (въ общей совокупности) въ предположеніи, что пріобрѣтенная ими послѣ удара общая скорость обратится въ нуль (696). — Распредѣленіе между опорою и льдиною общей поглощенной ими работы при остановкѣ движенія; выраженіе работы, поглощенной каждымъ изъ ударяющихся тѣлъ, въ видѣ работы, затраченной на деформацію, и въ видѣ работы сопротивляющихся силъ упругости; опредѣленіе значенія силы, эквивалентной дѣйствіямъ удара; формулы для опредѣленія напряженія въ основаніи быка (699).—Примѣненіе формулъ къ численному примѣру (704).

Приблизительный способъ опредѣленія числа и взаимнаго разстоянія между прокладными рядами въ каменныхъ опорахъ (709). — Опредѣленіе минимальной толщины искусственнаго песчанаго основанія (710). — Опредѣленіе минимальной толщины бетоннаго основанія (711). — Опредѣленіе минимальной толщины бетоннаго слоя надъ головами свай (712).

Глава X. Типы деревянныхъ опоръ . . . . . 712—750

Устои изъ стульевъ и свай. — Общее описаніе (712). — Относительное расположеніе свай въ поперечномъ направленіи (716). — Сопряженіе мостового и дорожнаго полотна при деревянныхъ устояхъ (716). — Мѣры противъ гніенія свай устоевъ моста въ откосахъ насыпи (718).

Ряжевые устои; сжимы (718).

Промежуточныя опоры. — 1) Опоры изъ стоекъ цѣльныхъ или сращенныхъ. — Общее описаніе (719). — Взаимное расположеніе свай опоры (720). — Продольная связь смежныхъ опоръ (723).—Мѣры, обезпечивающія поперечную жесткость опоры (723). — Способы сращиванія свай (724).—Детали врубокъ подкосовъ въ сваи и подбалки (726).— Детали врубокъ схватокъ (727). — Деревянные быки на лежняхъ на каменномъ фунда-

ментѣ и съ чугунными вставками (727). — Приспособленія на кривыхъ и на уклонахъ (728).—Примѣры (728). — 2) Многоярусныя опоры.—Общее описаніе (734).—Детали соединенія стоекъ съ насадками и схватками (735). — Примѣры (737). — 3) Раскосные быки.—Детали соединенія раскосовъ съ ребрами (738). — Способы прикрѣпленія къ каменной кладкѣ (739). — 4) Ряжевыя промежуточныя опоры (739).

Деревянные ледорѣзы (739).

Производство работъ по устройству деревянныхъ опоръ (741). — Среднія единичныя цѣны по устройству деревянныхъ опоръ и деревянныхъ пролетныхъ частей балочной и лодкосной системъ (747).

Глава XI. Типы металлическихъ опоръ . . . . . 750—875

Общія соображенія. (750). — Раздѣленіе металлическихъ опоръ на четыре класса (751).

Металлическія стойки, закрѣпленныя въ основаніи, и качающіяся стойки.— Общее описаніе (751).—Типы чугунныхъ стоекъ, закрѣпленныхъ въ основаніи (751).—Типы желѣзныхъ стоекъ, закрѣпленныхъ въ основаніи (753).—Примѣры (755).—Американскіе типы металлическихъ опоръ мостовъ на городскихъ дорогахъ высокаго уровня (756). — Типы чугунныхъ качающихся опоръ (759). — Типы желѣзныхъ качающихся опоръ (760).—Примѣры (763).

Металлическія свайныя опоры.—Общее описаніе (768).—Размѣры и сращиваніе звеньевъ чугунныхъ свай (769).—Наконечники; завинчиваніе сваей (770).—Погруженіе свай пагнетаніемъ струи воды; пріемъ Pott'a (771). —Примѣры (772). — Сплошныя желѣзныя завинчиваемыя сваи (780). — Примѣры опоръ (781). — Забиваемыя желѣзныя сваи; примѣры опоръ (782).

Металлическія трубчатыя опоры.—Общее описаніе (785).—Трубчатыя опоры съ чугунной оболочкой; детали устройства; примѣры (785). — Трубчатыя опоры съ желѣзной оболочкой; детали устройства; примѣры (789). — *Кессоны.* — Общее описаніе (798).—Желѣзная рабочая камера кессона (799). — Наружная обшивка выше потолка (рубашка кессона) (800).—Привѣсныя цѣпи (801).—Примѣры желѣзныхъ кессоновъ (803).—Съемные кессоны (805).—Каменная рабочая камера (807).—Деревянные кессоны (808).—Примѣры деревянныхъ кессоновъ (809).—Шахтовыя трубы (812).—Шлюзы (812).—Воздуходувныя трубы (816).—Сборка и склепка кессоновъ (817).—Погруженіе кессоновъ (817). — Способы извлеченія грунта (820). — Различныя особенности, встрѣчающіяся при погруженіи кессона (822). — Опредѣленіе потребнаго количества сжатаго воздуха (825).—Вліяніе сжатаго воздуха на здоровье рабочихъ (831).—Успѣхъ работы (832).—Открытые кессоны (834).

Металлическія раскосныя (пирамидальныя) опоры. — Общее описаніе раскосныхъ опоръ (836).—Детали устройства раскосныхъ опоръ съ чугунными ребрами (839).—Примѣры (841). — Детали устройства желѣзныхъ раскосныхъ опоръ (845). — Примѣры (847).

Данныя о собственномъ вѣсѣ и стоимости металлическихъ опоръ.—Формулы Энгессера (863), Heinzerling'a (869), Nördling'a (869), Résal'я (870), Leygue'a (871).—Данныя о стоимости существующихъ віадуковъ на пирамидальныхъ металлическихъ опорахъ (871).—Данныя о стоимости віадуковъ на качающихся опорахъ (872).—Данныя о сравнительной стоимости металлическихъ и деревянныхъ кессоновъ (873).—Данныя о стоимости опоръ изъ металлическихъ свай (873).—Данныя о стоимости устройства парныхъ трубчатыхъ опоръ (874).

Металлическіе ледорѣзы (874).

Глава XII. Опредѣленіе поперечныхъ размѣровъ деревянныхъ и металлическихъ опоръ . . . . . 875—957

Общія соображенія (875). — Опредѣленіе сопротивленія свай (876). — Коэффиціентъ запаса при забивкѣ свай (884). — Расположеніе свай подъ подошвой каменной опоры (888). — Опорныя сопротивленія, вызываемыя тѣломъ, опирающимся нѣсколькими точками на плоскость или на вершины стоекъ, расположенныя въ одной плоскости (892).

Опредѣленіе усилій и размѣровъ одиночныхъ опоръ (895). — Опредѣленіе усилій и размѣровъ элементовъ опоры, составленной изъ двухъ реберъ (стоекъ), расположенныхъ въ одной плоскости (плоскія опоры) при дѣйствіи симметричной нагрузки (897), вѣтра (901), несимметричной нагрузки (909) и при совмѣстномъ вліяніи симметричной нагрузки, вѣтра и несимметричной нагрузки (909). — Опредѣленіе усилій въ элементахъ плоской опоры при числѣ реберъ болѣе двухъ: а) приближенные пріемы опредѣленія усилій (910); б) пріемъ, основанный на принципѣ возможныхъ перемѣщеній (912); численный примѣръ (916); в) пріемъ Нёрдлинга: опредѣленіе усилій въ ребрахъ (920), въ раскосахъ, распоркахъ или тяжахъ (925).—Условія устойчивости (927).

Опредѣленіе усилій и размѣровъ элементовъ пирамидальной или призматической опоры при независимомъ разсмотрѣніи каждой грани (927).—Примѣры (929).—Вліяніе неодинаковой нагрузки смежныхъ пролетовъ (932).—Вліяніе температуры (939).—Опредѣленіе усилій въ элементахъ призматической опоры, разсматривая послѣднюю, какъ пространственную ферму (941).—Опредѣленіе площади опоры, подвергающейся дѣйствію вѣтра (946).

Формулы для опредѣленія толщины стѣнокъ шахтовыхъ трубъ и шлюзовъ кессона (947).—Опредѣленіе размѣровъ составныхъ частей камеры кессона (951).

Прибавленіе къ стр. 156. — Дополнительныя данныя о ливняхъ (959).

Прибавленіе къ стр. 158. — Видоизмѣненіе формулы для опредѣленія расхода по бассейнамъ (962).

Прибавленіе къ стр. 484. — Данныя о сопротивленіи при сцѣпленіи цементнаго раствора съ желѣзомъ (963).

Прибавленіе къ стр. 496. — Данныя о сопротивленіи камней излому (963).

Прибавленіе къ стр. 558. — Таблица объемовъ каменной кладки въ устояхъ желѣзнодорожныхъ мостовъ (964).

ВВЕДЕНІЕ.

Съ увеличеніемъ народонаселенія и развитіемъ цивилизаціи все болѣе проявлялась потребность общенія, какъ между отдѣльными народами, такъ и между обитателями различныхъ населенныхъ пунктовъ, что въ свою очередь вызывало необходимость устройства удобныхъ путей сообщенія. При прокладкѣ такихъ путей, очевидно, должны были представляться случаи пересѣченія рѣкъ, глубокихъ овраговъ и пр., а потому необходимость соединенія противоположныхъ береговъ рѣки какимъ-либо сооруженіемъ (мостомъ) ощущалась еще въ давнія времена.

Естественно предположить, что въ такихъ случаяхъ первоначально пользовались переправами на лодкахъ, паромахъ, затѣмъ устраивали наплавные мосты и позднѣе уже стали прибѣгать къ устройству постоянныхъ мостовъ. Такъ напр., по словамъ греческихъ историковъ, мосты, построенные Менесомъ на рукавѣ Нила, а также Ксерксомъ черезъ Геллеспонтъ и Даріемъ черезъ Босфоръ и Дунай—были наплавные мосты. Тѣмъ не менѣе встрѣчались и постоянные мосты; такъ, по тѣмъ же источникамъ, при Навуходоносорѣ въ VI вѣкѣ до Р. Х. построенъ мостъ черезъ Евфратъ длиною около 600 метр., состоявшій изъ деревянныхъ прогоновъ, опиравшихся на каменныя опоры, при чемъ для возможности устройства послѣднихъ — рѣка Евфратъ была отведена въ сторону.

Первые мосты, по всей вѣроятности, отличались крайней простотой и были, безъ сомнѣнія, деревянные, такъ какъ перекрытіе небольшого пролета деревяннымъ прогономъ требовало меньшаго искусства, чѣмъ устройство каменнаго свода.

Идея *балочнаго* перекрытіа пролета деревянными прогонами, — по своей простотѣ и многочисленнымъ примѣрамъ, представляемымъ природой, — должна была предшествовать перекрытію пролетовъ помощью каменныхъ сводовъ. Сохранившіеся въ Египтѣ памятники указываютъ также, что для балочныхъ перекрытій примѣнялись и камни. Переходъ къ сводчатому перекрытію, помощью клиньевъ, совершался постепенно. Такъ напр., небольшіе пролеты перекрывались первоначально большими камнями, положенными на опоры плашмя, горизонтально; слѣдующую ступень представляютъ перекрытія изъ нѣсколькихъ горизонтальныхъ рядовъ, съ напусками; затѣмъ слѣдуютъ своды, сложенные изъ длинныхъ, наклонно поставленныхъ камней, и, наконецъ, въ очень ограниченномъ числѣ встрѣчаются примѣры сводовъ изъ клиньевъ.

Каменные мосты. Начало постройки *каменныхъ моетовъ* относится къ глубокой древности. Хотя не имѣется точныхъ указаній на то, что подобные мосты встрѣчались въ древней Греціи, Египтѣ и Ассиріи, однако существующія и понынѣ развалины подземныхъ ходовъ, пирамидъ и галлерей подъ дворцомъ Нимврода и проч. заставляютъ предполагать, что устройство сводчатыхъ перекрытій было

извѣстно этимъ народамъ и, по всей вѣроятности, они пользовались ими при сооруженіи моетовъ.

Одинъ изъ древнѣйшихъ сохранившихся каменныхъ моетовъ — это трехпролетный Саларійскій мостъ черезъ р. Тевероне близъ Рима, построенный за 600 л. до Р. Х.; наибольшій пролетъ 21,1 метра (9,9 саж.). Постройка мостовъ находилась въ Римѣ подъ надзоромъ особыхъ жрецовъ, называвшихся «pontifices», во главѣ которыхъ стоялъ «pontifex maximus». Подобное участіе жрецовъ объясняется тѣмъ, что, въ виду расположенія храмовъ по обѣ стороны р. Тибра, они были заинтересованы въ существованіи удобнаго между ними сообщенія. Званіе pontifex перешло впослѣдствіи и на папу.

Изъ другихъ мостовъ, построенныхъ въ періодъ времени до 375 года по Р. Х., т. е. до великаго переселенія народовъ, наиболѣе замѣчателенъ мостъ Фабриція (61 г. до Р. Хр.) въ два пролета по 25,3 метра (11,89 саж.) съ толщиною ключа въ 1,62 метра (0,76 саж.) и мостъ Цестія (364 г. по Р. Хр.) съ одиимъ проле-

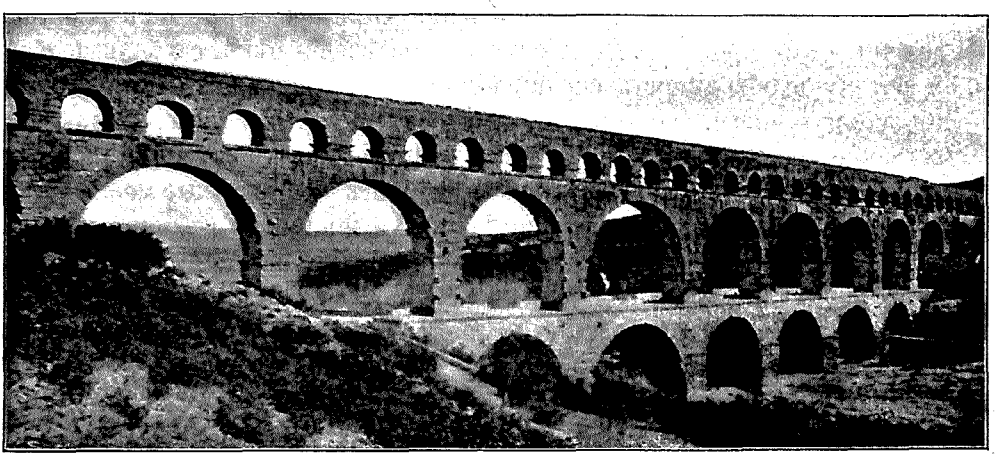


Рис. 1. — Pont du Gard въ Нимѣ.

томъ въ 23,3 метра (10,95 саж.). Къ тому же періоду относится постройка многихъ акведуковъ, какъ въ окрестностяхъ Рима, такъ и въ провинціяхъ Римской республики. Такъ, напримѣръ, Кастелланскій акведукъ (400 л. до Р. Хр.), въ два этажа съ наибольшимъ пролетомъ въ 26.24 метра (12,33 саж.), при вышинѣ въ 59 метровъ (27,73 саж.); Алькаитарскій акведукъ въ Испаніи черезъ р. Тахо вышиною въ 43,6 метра (20,49 саж.) съ наибольшимъ пролетомъ въ 31,1 м. (14,62 саж.), при толщинѣ ключа свода въ 1,62 метра (0,76 саж.); наконецъ «Pont du Gard» въ Нимѣ—во Франціи (Галліи), трехъэтажный віадукъ, построенный при полководцѣ Агриппѣ (63—13 л. до Р. Хр.) съ наибольшимъ пролетомъ 24,4 метра (11,47 саж.) и при наибольшей высотѣ надъ ложемъ рѣки въ 48,77 метр. (23,32 с.) (рис. 1). Длина акведука, измѣряемая по верху, составляетъ 126 саж.; нижній этажъ имѣетъ всего 80 саж. длины. Во всѣхъ трехъ этажахъ—арки полуциркульныя, съ постепеннымъ умепьшеніемъ пролетовъ отъ середины акведука къ концамъ; пяты арокъ заложены не на одинаковой высотѣ; надъ каждой аркой нижияго этажа расположено по одной аркѣ второго этажа; арки же третьяго этажа помѣщаются въ числѣ трехъ надъ каждой аркой второго этажа. Ширина акведука уменьшается по мѣрѣ приближенія къ верху: такъ ширина нижияго этажа — 2,96 саж.; средняго—2,15 саж., а верхняго — 1,68 саж. Опоры имѣютъ прямо-

угольное очертаніе. Толщина свода нижняго этажа 0,75 саж.; онъ состоитъ изъ трехъ концентрическихъ колецъ; своды второго этажа — изъ двухъ колецъ при общей толщинѣ въ 0,70 саж., а въ верхнемъ этажѣ—изъ одного кольца т олщи ною 0,36 саж. Своды сложены изъ клиньевъ безъ раствора; кладка же опоръ сдѣлана при помощи раствора.

Употреблявшіяся римлянами системы основанія были: ростверкъ, сваи, понтонные ящики, наброски изъ камня и бетонъ; такой родъ основаній не позволялъ строить опоры моста на любомъ мѣстѣ рѣки и при всякомъ грунтѣ, чѣмъ и объясняется стремленіе римлянъ къ большимъ пролетамъ, но не болѣе 15 саж., что, при исключительномъ употребленіи полуциркульныхъ сводовъ, вызывало очень низкое заложеніе пять свода и дѣлало въѣзды на моетъ крайне крутыми. Другую отличительную черту римскихъ каменныхъ мостовъ составляютъ чрезвы-

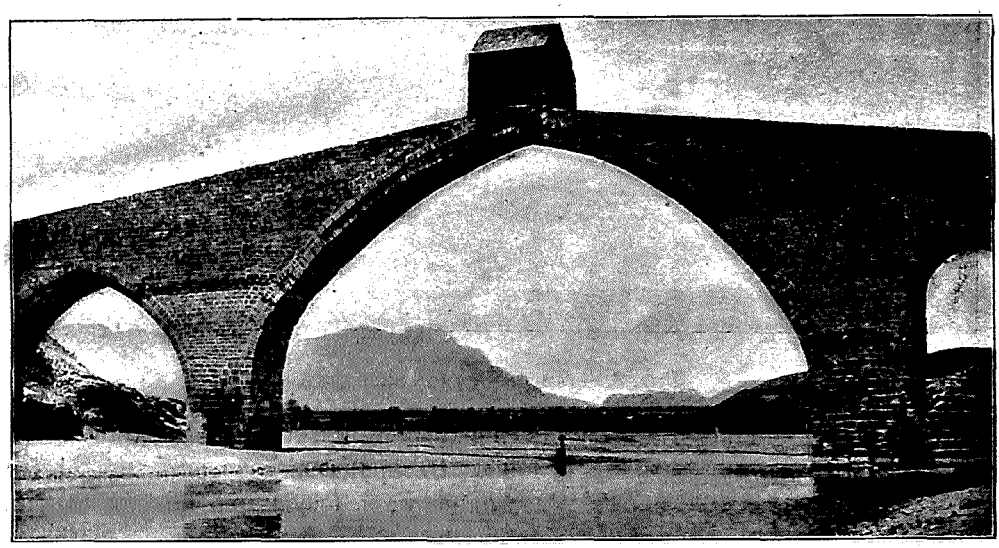


Рис. 2. — Чортовъ мостъ близъ Марторелля.

...ю толстыя опоры, что, помимо требованія вкуса того времени, вызывалось и необходимостью, такъ какъ арки всѣхъ пролетовъ складывались, вѣроятно, не одновременно. Пристрастіе къ толстымъ опорамъ замѣчается и въ акведукахъ, гдѣ, повидимому, выборъ мѣста для опоръ не былъ обставленъ такими ограниченіями, какъ при устройствѣ мостовъ. По высотѣ опоръ и около пять свода встрѣчаются часто выступы, которые служили, вѣроятно, опорами для кружалъ. Пазухи свода закладывались кладкой на растворѣ или насухо, съ помѣщеніемъ трубъ или дренъ для отвода дождевой воды.

Какъ сказано выше, римляне отдавали предпочтеніе полуциркульнымъ сводамъ. Только въ одной изъ римскихъ провинцій, именно въ древней Испаніи, встрѣчаются два моста со стрѣльчатыми сводами — первый, построенный Ганнибаломъ близъ Марторелля (220 л. до Р. Хр.) съ пролетомъ 43,3 метра (20,35 саж.) (рис. 2), и второй—Лиссабонскій акведукъ (рис. 3), построенный во времена Траяна (98—117 г. послѣ Р. Хр.) и состоящій изъ 32 стрѣльчатыхъ арокъ, съ наибольшимъ пролетомъ въ 34 метра (15,98 саж.), при вышинѣ въ 85 метровъ (39,95 саж.). Въ первомъ изъ этихъ моетовъ обращаетъ на себя вниманіе нагрузка вершины стрѣльчатаго свода — особой надстройкой, въ видѣ сводчатыхъ

воротъ, что, какъ извѣстно, необходимо для устойчивости стрѣльчатаго свода. Рѣзкое отличіе этихъ сооруженій отъ типа римскихъ мостовъ, какъ въ формѣ арокъ, такъ и въ размѣрахъ опоръ, очень тонкихъ, заставляетъ предполагать, что оба эти моста были построены иноземцами. Къ тому же типу относятся и древніе персидскіе мосты (рис. 4).

Начиная съ 375 года по 1096 годъ, отъ эпохи нашествія Гунновъ до перваго крестоваго похода, замѣчается застой въ постройкѣ мостовъ, и единственное замѣчательное мостовое сооруженіе указаннаго періода—это Сполеттскій акведукъ

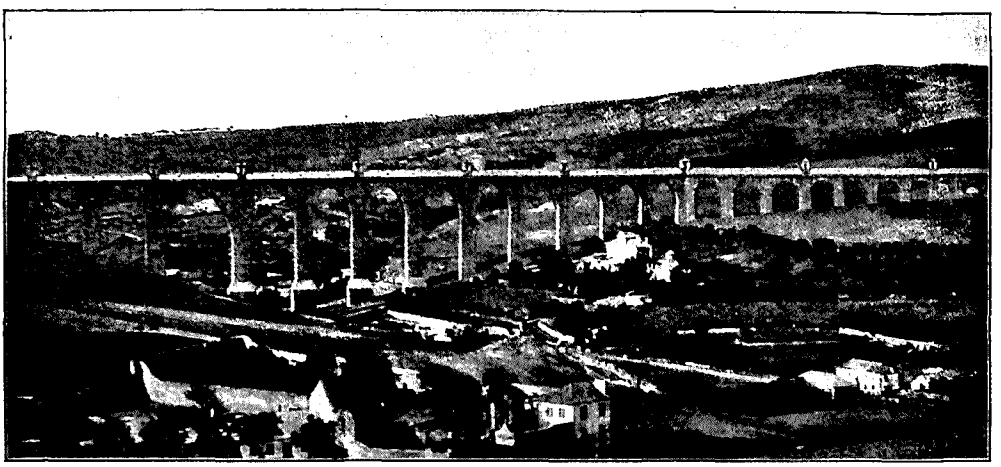


Рис. 3. — Лиссабонскій акведукъ.

въ ировинціи Умбріи (Перудлкіи), построенный при Теодорихѣ Великомъ (455—526 г.г.). Акведукъ двухъэтажиый, внизу 10 арокъ, отверстіемъ по 21,4 метра (10,06 саж.), вверху же 30 арокъ. Разстояиіе пятъ свода отъ цоколя 80 метровъ

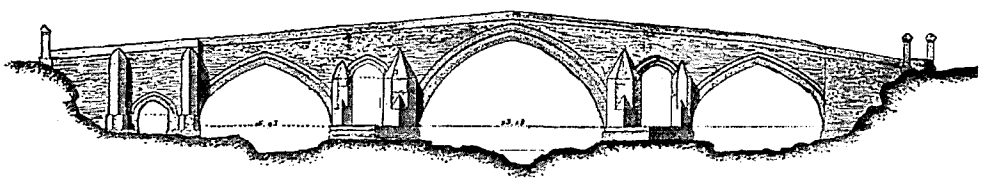


Рис. 4. — Древній мостъ въ Персіи.

(37,6 саж.); полная высота акведука 130 метровъ (61,1 саж.), такъ что это сооруженіе считается самымъ высокимъ мостовымъ сооруженіемъ въ мірѣ.

Съ начала XII вѣка, т. е. со времеиъ крестовыхъ походовъ, до начала XVI столѣтія, при общемъ возрожденіи наукъ, искусствъ и торговли, и постройка мостовъ снова начала развиваться, благодаря дѣятельному участію Беиедиктиискаго ордена, изъ среды котораго, на подобіе древнихъ «pontifices», образовалось сначала общество «мостовыхъ братчиковъ» (Frères pontifes); изъ состава этого послѣдняго папой Климентомъ III (1189 г.) былъ учрежденъ впослѣдствіи особый ордеиъ на подобіе тампліеровъ и другихъ *).

*) Орденъ имѣлъ своего гроссмейстера; прпевоенная братчикамъ одежда состояла изъ бѣлой рясы съ вышитыми на груди двумя красными арками и молоткомъ подъ арками. Братчики давали обѣтъ защищать проѣзжающихъ, строить и содержать мосты, паромы и убѣжища

Монахами этого ордена, просуществовавшаго 5 столѣтій, въ числѣ прочихъ мостовъ были построены мосты: черезъ р. Рону въ Авиньонѣ (1178 г.) (рис. 5) и въ Ліонѣ (1265 г.) и мостъ черезъ р. Дунай (1135—1145 г.) въ Регенсбургѣ.

Мостъ черезъ рѣку Роиу въ Авиньонѣ—построенъ основателемъ ордена французскихъ мостовыхъ братчиковъ монахомъ Бенезетомъ (впослѣдствіи еиископомъ Венедиктомъ). Величина пролета 32 метра, общая длина 420 метровъ, арка эллиптической формы; толщина замка 87 сантим. Благодаря неглубокому заложенію основанія—нѣсколько пролетовъ моста разрушены были высокими водами въ 1602 г.; по настоящее время сохранились три пролета.

Однимъ изъ послѣднихъ моетовъ, сооруженныхъ братчиками, считается существующій и донынѣ Pont Royal въ Парижѣ, построенный братчикомъ Ромэномъ, вызваннымъ изъ Голландіи Людовикомъ XIV. По окончаніи сооруженія моста Ро-

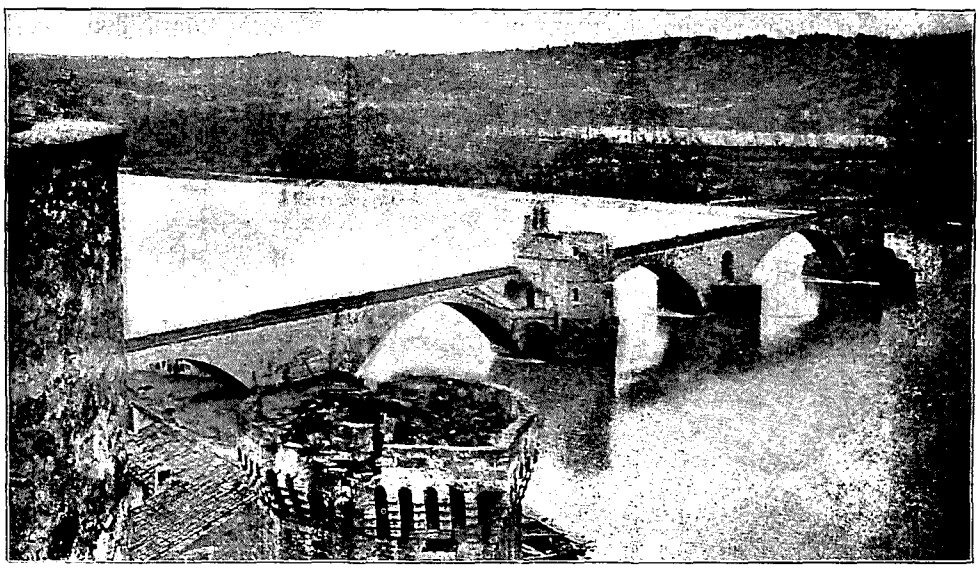


Рис. 5. — Мостъ черезъ р. Рону въ Авиньонѣ.

мэнъ получилъ званіе инженера дорогъ и моетовъ, и ему поручена была инспекція надъ всѣми путями сообщенія во Франціи.

Стремленіе достигнуть пологихъ въѣздовъ, при условіи сохраненія большихъ пролетовъ, было причиной перехода отъ полуциркульныхъ и стрѣльчатыхъ сводовъ къ пологимъ круговымъ и коробовымъ аркамъ, что также приписывается мостовымъ братчикамъ. Первая пологая круговая арка встрѣчается въ нѣкоторыхъ пролетахъ Регенсбургскаго моста черезъ р. Дунай (1135 г.), а первая коробовая арка появилась въ мостѣ Св. Троицы во Флоренціи (1251 г.) отверстіемъ 32,5 метра (15,28 саж.). Въ этой группѣ мостовъ наибольшимъ пролетомъ (54,2 метр.=25,5 с.), отличался мостъ черезъ рѣку Аллье, (Pont Brioude), построенный въ 1354 г., въ которомъ толщина свода въ ключѣ составляетъ всего $\frac{1}{14}$ пролета. Такимъ образомъ, замѣчается постепенный прогрессъ въ смыслѣ увеличенія пролета и

а берегахъ рѣкъ. Появленіе братчиковъ вызвано было особыми условіями того времени, когда проѣзжающіе подвергались грабежамъ во время переправы черезъ рѣки на лодкахъ или паромахъ. Впослѣдствіи орденъ былъ упраздненъ папой Піемъ II въ XVII вѣкѣ, и послѣднія владѣнія ордена на югѣ Франціи переданы при Людовикѣ XIV ордену Св. Лазаря.

уменьшенія толщины свода. Наибольшій пролетъ (72 метра) имѣлъ каменный мостъ Адда близъ Trezzo въ Италіи, построенный герцогомъ Веностой въ 1377 году и разрушенный во время войны въ 1416 году.

Въ промежуткѣ до половины XVII столѣтія хотя и было построено нѣсколько большихъ мостовъ, но они ничѣмъ не отличались по своей конструкціи отъ подобныхъ же сооруженій предъидущей эпохи. Начиная съ половины XVII столѣтія до первой четверти XIX столѣтія постройка каменныхъ мостовъ получаетъ наибольшее развитіе во Франціи. Въ этой странѣ, со врсменъ Кольбера, улучшеніе путей сообщенія вообще, вмѣстѣ съ постройкою мостовъ и проч., передается въ вѣдѣніе особаго учрежденія. Основанная Кольберомъ (1671 г.) академія строительнаго искусства, а Трюденомъ (1741 г.)—рисовальная школа, переименованная впослѣдствіи (1760 г.) въ извѣстную «Ecole des ponts et chaussées», послужили къ образованію цѣлаго ряда извѣстныхъ инженеровъ, создавшихъ и значительно подвинувшихъ теоретическую часть строительнаго искусства. Изъ наиболѣе замѣчательныхъ дѣятелей этого времени извѣстны: Мансаръ, Пптру, Перронэ, Байё, Белидоръ, Прони, Минаръ и проч., а изъ сооруженій—

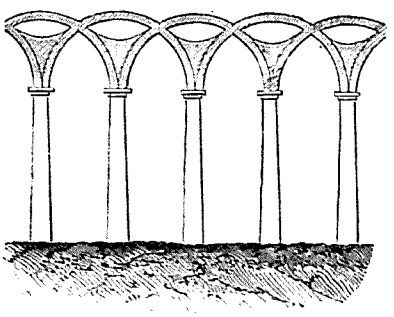


Рис. 6. — Віадукъ St. Chamas.

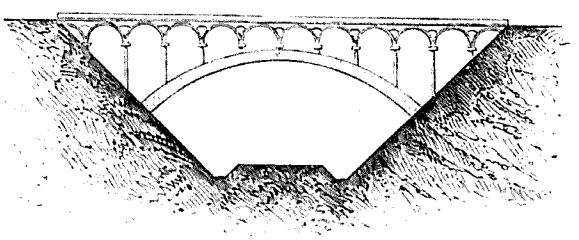


Рис. 7. — Pont de Bressuire.

Мулэнскій мостъ (1710 года) Мансара, въ три пролета, наибольшій пролетъ 44,7 метра = 21 саж.; Орлеанскій черезъ рѣку Луару (1760 года) Перронэ, три коробовыя арки съ наибольшимъ пролетомъ въ 32,48 метр. = 15,26 саж.; Таафскій мостъ въ Англіи (1756 года) Эдварда, въ одинъ пролетъ, отверстіемъ въ 45,38 метровъ = 21,33 сажепъ; Нейльисскій мостъ черезъ рѣку Сену (1774 года) Перронэ, 5-ть коробовыхъ арокъ, съ наибольшимъ пролетомъ въ 39,00 метровъ = 18,33 сажеиъ, при пологости арки въ $\frac{1}{11}$ и при толщинѣ свода въ ключѣ $\frac{1}{27}$ пролета; мостъ Согласія въ Парижѣ (1792 г.) Перронэ, иять пологихъ арокъ съ наибольшимъ пролетомъ въ 31,18 м. = 14,66 саж.; Іенскій мостъ въ Парижѣ (1815 г.) Мантэ, пять коробовыхъ арокъ, съ наибольшимъ пролетомъ въ 27,93 м. = 13,13 саж.; Новый мостъ въ Лондонѣ (1830 г.) Rennie (сына), пять коробовыхъ арокъ съ пролетомъ въ 46,30 м. = 21,76 саж. Къ этому же времени относится и стремленіе придавать опорамъ мостовъ возможно меньшіе размѣры, сообразно теоретическимъ изслѣдованіямъ Перронэ, такъ какъ нѣсколько обрушившихся опоръ прежнихъ моетовъ указали на вредное вліяніе толстыхъ опоръ, способствовавшихъ образованію подмывовъ въ руслѣ.

Съ начала XIX столѣтія по настоящее время при всеобщемъ пользованіи паромъ для производства работъ, какъ по заложенію основаній опоръ на большой глубинѣ, такъ и по подъему строительныхъ матеріаловъ на значительную высоту, оказалось возможнымъ строить мосты на любомъ мѣстѣ рѣки,—требованіе, предъ-

являемое въ особенности желѣзными дорогами. Каменные мосты болѣе близкой къ намъ эпохи отличаются, какъ разнообразіемъ формъ направляющихъ кривыхъ свода, (віадукъ St. Chamas (рис. 6), мостъ Bressuire (рис. 7)), такъ и значительностью пролетовъ [акведукъ въ Вашингтонѣ (1866 г.) отверстіемъ 69,5 м.=32,68 саж., при высотѣ опоръ въ 19 м.=8,93 саж.], а также и высотою сооруженія [віадукъ въ долинѣ Гёлтшъ въ Саксоніи (рис. 8) (1846 г.) четырехъ-этажный, вышиною

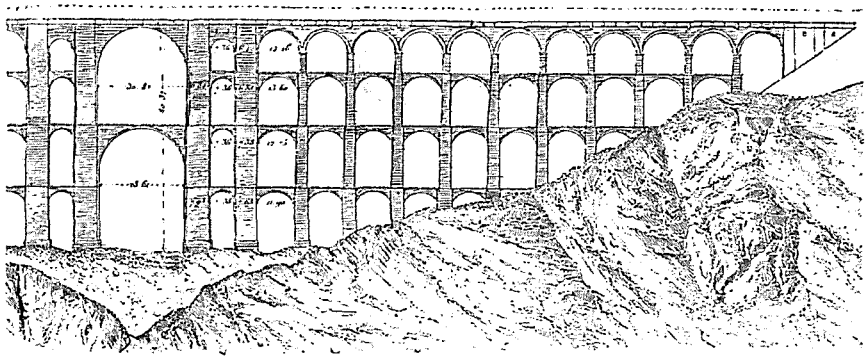


Рис. 8. — Віадукъ въ долинѣ Гёлтшъ.

въ 80,37 м. = 37,77 саж.]. Увеличеніе пролетовъ вызывало вмѣстѣ съ тѣмъ и усовершеиствованіе въ конструкціи кружалъ. Въ этомъ отношеніи можно указать на кружала Нейльисскаго и Іеискаго мостовъ.

Особенностью каменныхъ мостовъ послѣдняго времени является широкое примѣненіе для кладки сводовъ грубо отесанныхъ камней, посаженныхъ на цементномъ растворѣ, взамѣнъ штучныхъ камней чистой тески, поставленныхъ

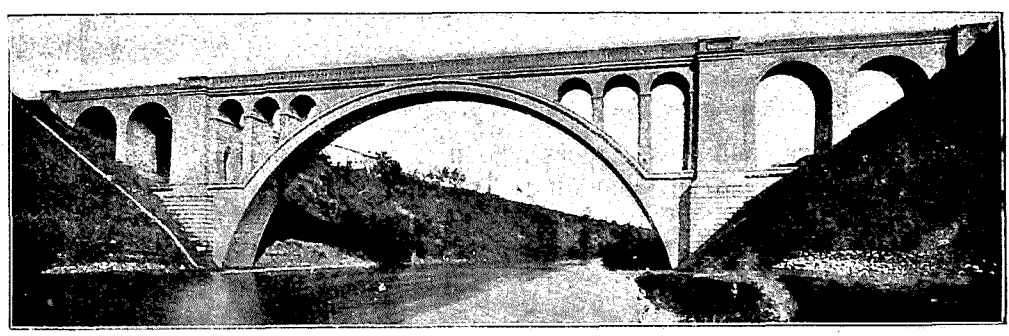


Рис. 9. — Мостъ Lavaur на линіи жел. дороги Montauban-Castres.

почти насухо. Сюда относятся напримѣръ: построенный въ 1882—1884 г. мостъ Lavaur—на жел. дор. Montauban-Castres (рис. 9), при величинѣ пролета въ 61,5 метр.; далѣе віадукъ Gour-Noir на жел. дор. изъ Лиможа въ Бривъ при величинѣ пролета 60 метр., затѣмъ построенный въ 1893 году мостъ черезъ рѣку Прутъ въ Яремпѣ, въ Галиціи (рис. 10), при величинѣ пролета въ 65 метр. Этотъ мостъ вмѣстѣ съ тѣмъ—*наибольшій* по величинѣ пролета *каменный арочный* мостъ *подъ желѣзную дорогу*. Онъ уступаетъ въ отношеніи пролета лишь упомянутому выше акведуку въ Вашингтонѣ (69,5 метр.) (Cabin-John-Aquaduct) (рис. 12).

Также замѣчается стремленіе къ устройству сводовъ изъ утрамбованнаго бетона съ металлическимъ остовомъ и безъ онаго, причемъ нерѣдко своды устраи-

ваются съ двумя и тремя шарнирами. На рис. 11 показанъ такой мостъ черезъ рѣку Дунай близъ Инцигкофена величиною пролета въ 44 метр. при стрѣлѣ

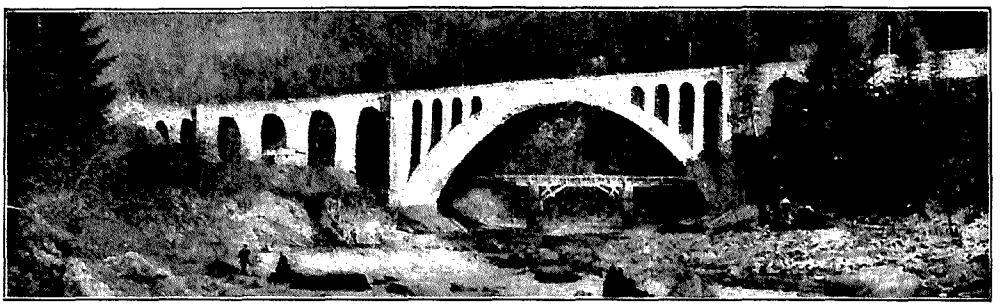


Рис. 10.—Мостъ черезъ р. Прутъ въ Галиціи.

подъема въ $\frac{1}{10}$; на рис. 12 изображенъ бетонный мостъ черезъ рѣку Дунай близъ Мундеркингена пролетомъ въ 50 метр., съ подъемомъ въ $\frac{1}{10}$, представляющій наибольшій пролетъ, перекрытый бетоннымъ сводомъ.

Каменные мосты, по крайней мѣрѣ у насъ и въ Америкѣ, не имѣютъ особенно широкаго примѣненія не только при проведеніи желѣзныхъ дорогъ (Ципскій



Рис. 11. — Бетонный мостъ черезъ р. Дунай близъ Инцигкофена.

віадукъ на Закавказской жел. дорогѣ), но и дорогъ съ экипажнымъ проѣздомъ: за границей же, особенно во Франціи и Германіи, они встрѣчаются очень часто.

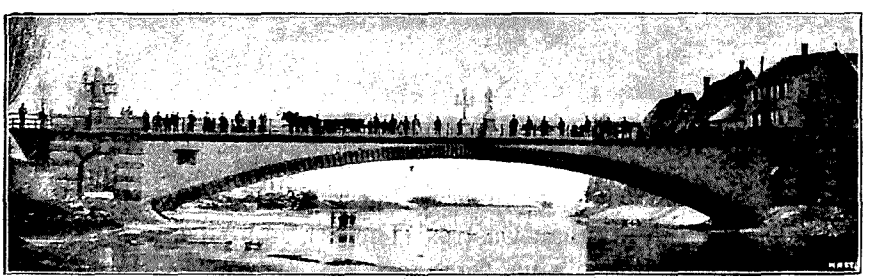


Рис. 12. — Бетонный мостъ черезъ р. Дунай близъ Мундеркингена.

Каменныя трубы подъ насыпями, т. е. съ толстымъ слоемъ сверху лежащей земли, встрѣчаются, напротивъ, довольно часто, какъ на нашихъ желѣзныхъ дорогахъ, такъ и за границею.

Деревянные мосты. Къ числу старѣйшихъ деревянныхъ мостовъ слѣдуетъ отнести мостъ Pons Sublicius (Sublica—свая, опора) черезъ Тибръ, сдѣлавшійся

извѣстнымъ геройской защитой его Горащемъ Коклесомъ противъ нападенія Этрусковъ. Мостъ этотъ былъ построенъ жрецами въ VII в. до Р. Х., во времена Аикъ-Марція; впослѣдствіи онъ былъ замѣненъ каменнымъ мостомъ; въ настоящее время имѣется желѣзный мостъ съ прежнимъ названіемъ Ponte Sublicio.

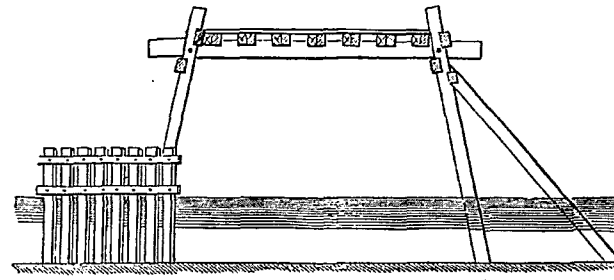


Рис. 13.—Мостъ черезъ р. Рейнъ временъ Юлія Цезаря.

Первымъ большимъ *деревяннымъ постояннымъ мостомъ* считаютъ мостъ, построенный Юліемъ Цезаремъ чрезъ р. Рейнъ (въ первой половинѣ I вѣка до Р. Х.) и состоявшій, — на основаніи сохранившихся описаній, — изъ вертикальныхъ и наклонныхъ свай, поверхъ которыхъ располагались поперечныя насадки, прогоны моста и полотно (рис. 13). Нѣтъ сомнѣнія, что свайныя опоры имѣли довольно широкое примѣненіе, такъ какъ сохранившіеся слѣды свайныхъ построекъ указываютъ, что способы забивки свай были извѣстны еще въ глубокой древности. Съ развитіемъ строительнаго искусства опоры деревянныхъ мостовъ встрѣчаются не только деревянныя, но и каменныя, особенно при необходимости прибѣгать къ большимъ пролетамъ.

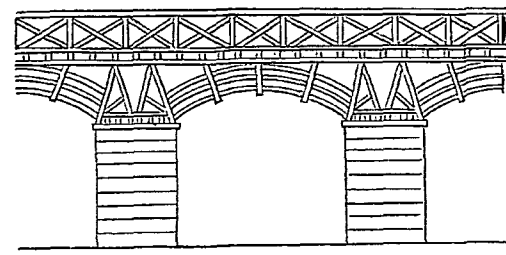


Рис. 14.—Мостъ черезъ р. Дунай временъ Траяна.

Первымъ деревяннымъ *арочнымъ* мостомъ былъ Траяновъ мостъ черезъ р. Дунай, вблизи Желѣзныхъ воротъ, построенный въ 109 г. послѣ Р. Х. Аполлодоромъ; величина пролета 36 метр., опоры заложены были на глубинѣ 6 метр. ниже горизонта воды. Согласно сохранив-

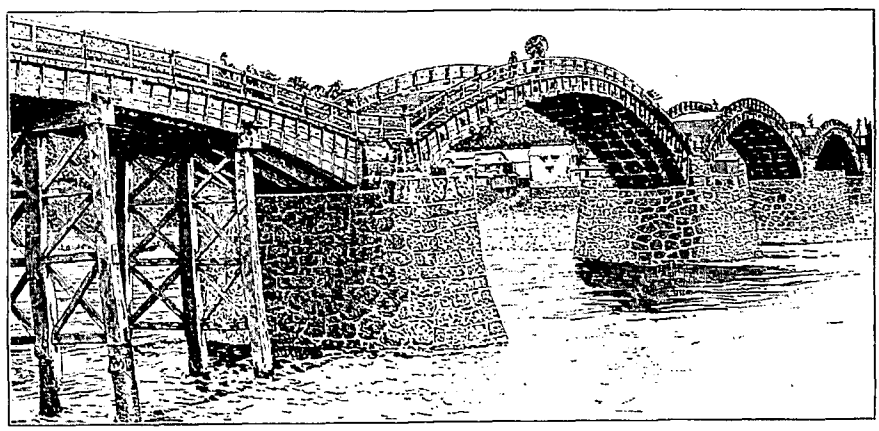


Рис. 15. — Мостъ чрезъ р. Ивакуни въ Японіи.

шемуся изображенію этого моста на барельефахъ Траяновой колонны (рис. 14), опоры моста были каменныя; арка состояла по высотѣ изъ трехъ брусьевъ съ промежутками между ними, при чемъ брусья были стянуты наклонными схватками.

Каменные своды, составленные изъ мелкихъ частей, подали поводъ устраи-

вать деревянныя арки изъ короткихъ элементовъ. Такимъ былъ изображенный на рис. 15 мостъ, построенный въ Японіи чрезъ р. Iwakuni въ началѣ XVII столѣтія. Мостъ имѣлъ пять пролетовъ; арки крайнихъ пролетовъ поддерживались

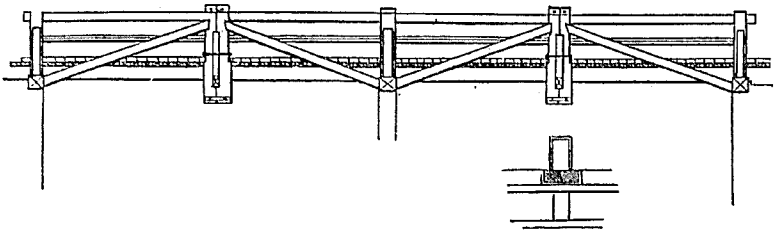


Рис. 16.

деревянными легкими опорами; арки трехъ среднихъ пролетовъ, по 150 фут., не имѣли такихъ промежуточныхъ подпорокъ и состояли изъ нѣсколькихъ тысячъ мелкихъ частей, связанныхъ желѣзомъ. Опоры размѣровъ 18×33 фут. были камеиныя съ примѣненіемъ свинца для взаимной связи камней *).

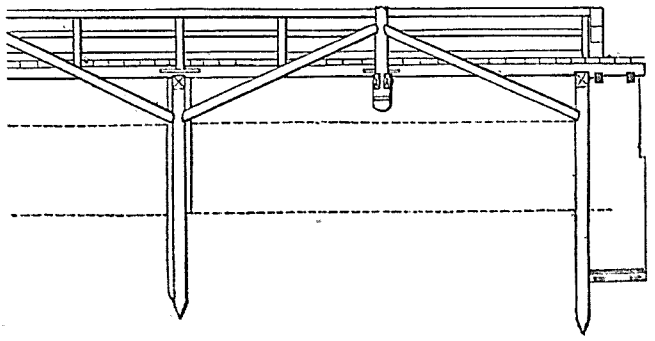


Рис. 17.

Въ періодъ времени до XVI-го столѣтія въ простыхъ балочныхъ деревянныхъ моетахъ замѣчается усовершенствованіе; происходитъ постепенный переходъ къ системѣ балокъ, усиленныхъ подбалкой, къ подвѣсной и подкосной системамъ (рис. 16 и 17) и наконецъ къ сложной системѣ изъ подкосной и подвѣсной (рис. 18 и 19). Дальнѣйшее развитіе этихъ же системъ съ примѣненіемъ ихъ къ большимъ пролетамъ слѣдуетъ отнести къ послѣдней половинѣ прошлаго столѣтія и къ началу

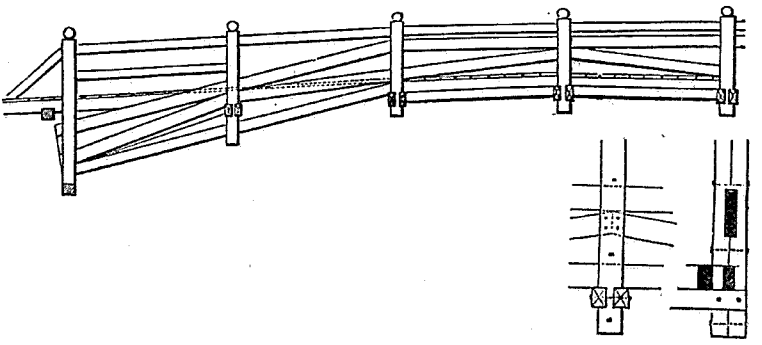


Рис. 18. — Мостъ черезъ р. Неккаръ.

нынѣшняго, при чемъ наиболѣе замѣчательные мосты были построены въ Швейцаріи (братьями Грубенмаинъ), въ Германіи (Фуксъ и Функъ) и во Франціи (Моранъ,

*) Въ настоящее время Японія обладаетъ около 2.500 миль жел. дор. со многими желѣзнодорожными мостами, построенными въ первое время англичанами и американцами, а теперь мѣстными заводами и подъ руководствомъ своихъ же инженеровъ, получающихъ спеціальное образованіе въ высшей технической школѣ, основанной въ 1873 г.

Миньеру и проч.). Величина перекрываемыхъ пролетовъ доходила въ этихъ случаяхъ до 25 саженъ, какъ напримѣръ въ мостѣ черезъ р. Рейнъ, близъ Шафгаузена (1757 г.) (рис. 20), и даже до 48,5 саж. (рис. 21) въ мостѣ черезъ р. Лиммать близъ Внттингена (1778 г.); оба моста нынѣ не существуютъ, сдѣлавшись жертвою огня въ 1799 г. Изъ другихъ мостовъ этой системы замѣчателенъ мостъ въ Галиціи въ 46,4 саж., выстроенный инженеромъ Гроссомъ въ 1808 году; затѣмъ мостъ черезъ р. Сону въ Ліонѣ (рис 22) пролетомъ 24 саж.; мосты системы Перронэ (рис. 23).

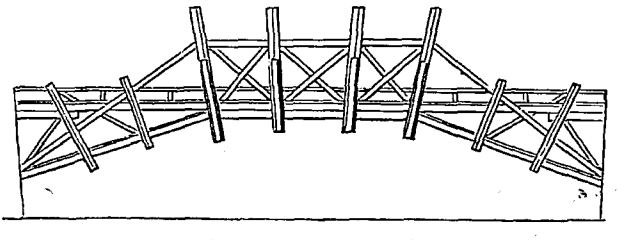


Рис. 19.—Мостъ черезъ р. Дюраксъ.

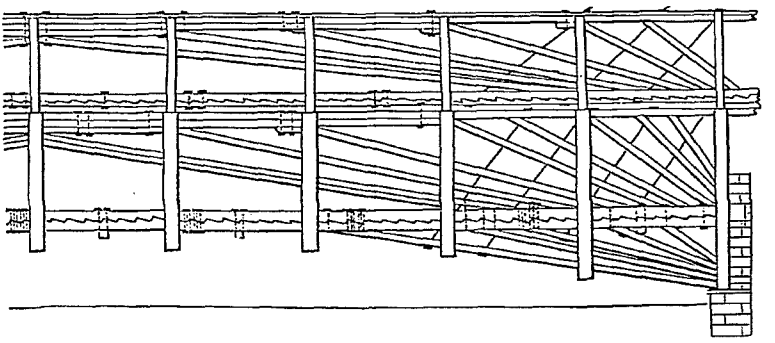


Рис. 20. — Шафгаузенскій мостъ.

Наиболѣе простымъ и дешевымъ способомъ устройства переходовъ чрезъ широкія рѣки представлялось примѣненіе наплавныхъ моетовъ, еще издавна слу-

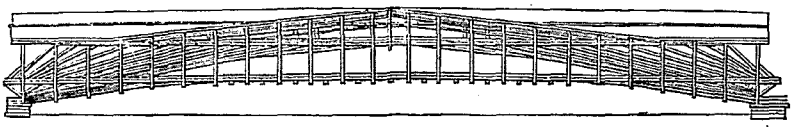


Рис. 21. — Мостъ черезъ р. Лиммать.

жившихъ для этой цѣли. Мосты эти имѣли особенно широкое примѣненіе въ Россіи и употребляются до настоящаго времени.

Замѣтное усовершенствованіе въ конструкціи деревянныхъ мостовъ начинается

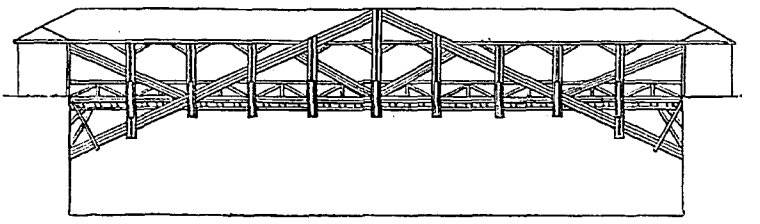


Рис. 22. — Мостъ черезъ р. Сону въ Ліонѣ.

съ тѣхъ поръ, какъ Вибекнигъ впервые сталъ употреблять гнутые брусья для постройки арочныхъ мостовъ. Первый такой мостъ былъ имъ построенъ въ 1807 году черезъ р. Изаръ въ Баваріи отверстіемъ 24,2 саж. (рис. 24). До того деревян-

ныя арки составлялись или изъ кривыхъ брусьевъ, вытесанныхъ изъ прямыхъ брусьевъ, или изъ досокъ, какъ напримѣръ въ пяти-пролетиомъ мосту черезъ р. Делаваръ въ Америкѣ, построеииомъ Бурромъ въ 1807 г. съ наибольшимъ пролетомъ въ 29 саж. (рис. 36). Вибекингомъ, извѣстнымъ въ свое время инженеромъ, построено въ періодъ времени 1807 — 1816 г. двадцать три моста, при чемъ пролеты достигали 69,7 мет. = 33,96 саж. (мостъ въ Бамбергѣ чрезъ рѣку Регницъ, 1809 г.).

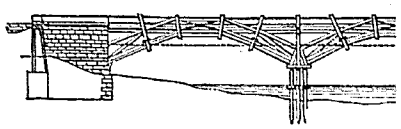


Рис. 23.—Мостъ системы Перронэ.

Вслѣдъ за введеніемъ въ употребленіе гиутыхъ брусьевъ появляется рядъ системъ изъ соединенія арочныхъ съ подвѣсиыми и подкосиыми, изъ которыхъ иаи-

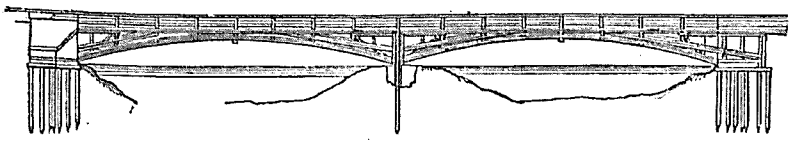


Рис. 24.— Мостъ черезъ р. Изаръ.

болѣе извѣстны системы: Фупка, Вибекиига, Пехмаиа, Полоисо и Laves. Послѣдняя система, состоявшая въ образоваиіи балочиой фермы изъ двухъ криволинейныхъ поясовъ или одного горизоитальнаго и другого криволииейиаго пояса и предложепиая въ первый разъ въ 1834 г., послужила впослѣдствіи осиованіемъ къ созданію обширной группы металлическихъ фермъ съ криволинейными поясами. Составныя системы изъ арочныхъ, балочныхъ и подкосныхъ имѣли въ Австріи болыиое примѣненіе при сооруженіи желѣзиыхъ дорогъ. Такъ, рис. 24 bis представляетъ одинъ изъ пролетовъ моста черезъ р. Дунай на Сѣверной жел. дорогѣ Императора Фердинанда (1837 г.). Этотъ мостъ, при послѣдовательномъ капитальномъ ремонтѣ черезъ каждые 7 лѣтъ, замѣнеиъ мостомъ съ же-

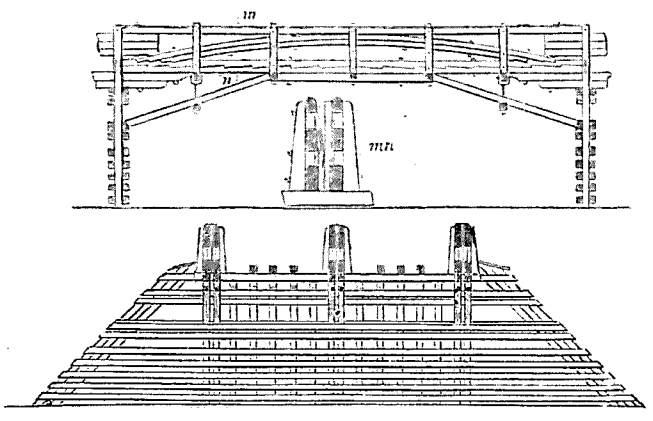


Рис. 24bis.—Мостъ черезъ р. Дунай на Сѣверной Австрійской ж. дор.

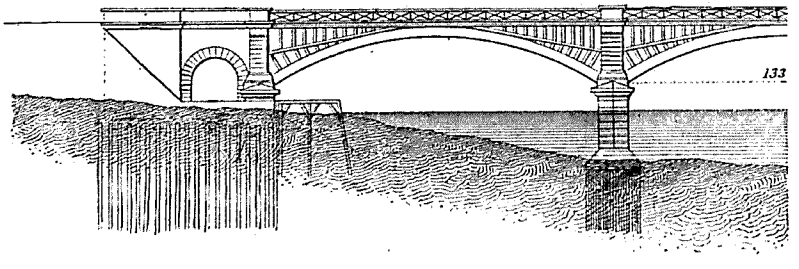


Рис. 25.— Мостъ Опле черезъ р. Сену.

лѣзиыми фермами въ 1872 году. Типы составныхъ системъ сохранились и до нынѣ, какъ напр. въ нѣшеходиомъ мосту въ Люцериѣ. Изъ позднѣйшихъ большихъ мостовъ съ арочными фермами слѣдуеть упомянуть о мостѣ Опле во Франціи

черезъ р. Сену (8 × 19 саж.) (рис. 25), объ Уиллингтонъ-Динскомъ желѣзнодорожномъ путепроводѣ (6 × 17,14 саж.) (рис. 26) и о Сень-Жерменскомъ мостѣ черезъ р. Сену)6 × 19,61 саж.) (рис. 27) съ досчатыми арками.

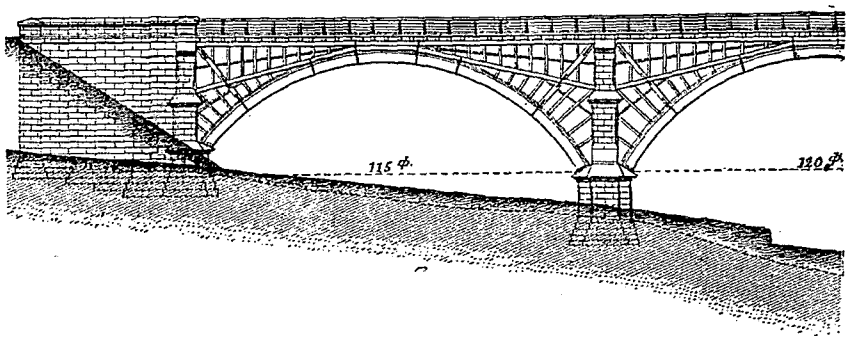


Рис. 26.— Уиллингтонъ-Динскій путепроводъ.

Изъ извѣстныхъ у насъ по величинѣ пролета арочныхъ мостовъ слѣдуетъ указать на мостъ черезъ р. Мшагу на Псково-новгородскомъ шоссе съ пролетомъ

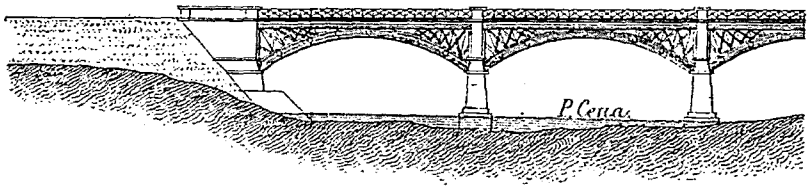


Рис. 27. — С. Жерменскій мостъ черезъ р. Сену.

въ 19 саж., построенный въ 1824 г. и перестроенный въ томъ же видѣ въ 1850 году (рис. 28), и на Вепржскій мостъ, отверстіемъ въ 36 саж. около крѣпости Иванъ-

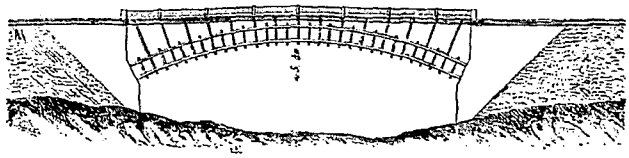


Рис. 28. — Мостъ черезъ р. Мшагу.

Городъ (рис. 29). Въ первомъ изъ упомянутыхъ мостовъ проѣзжая часть расположена поверхъ арки, а въ послѣднемъ — она подвѣшена къ ней. Изъ другихъ

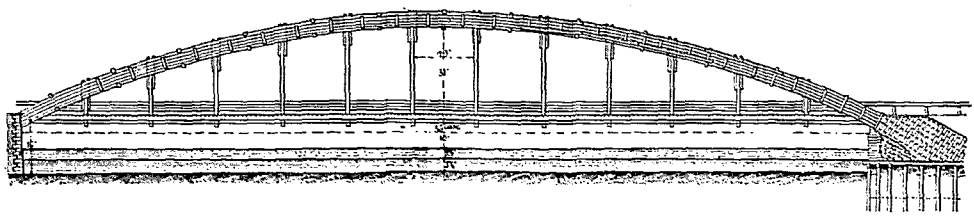


Рис. 29. — Мостъ черезъ р. Вепржъ.

арочныхъ моетовъ съ меньшими пролетами укажемъ на Нарвскій черезъ р. Нарову, 5 пролетовъ по 11,2 саж. (рис. 30), Ждановскій въ Петербургѣ, 3 пролета по 8 саж. и проч.

Съ развитіемъ постройки желѣзныхъ дорогъ, въ Европѣ почти преимущественно остановились на желѣзѣ, какъ на болѣе пригодномъ матеріалѣ для моетовъ. Въ Америкѣ, при обиліи лѣса, продолжали долгое время строить деревянные мосты.

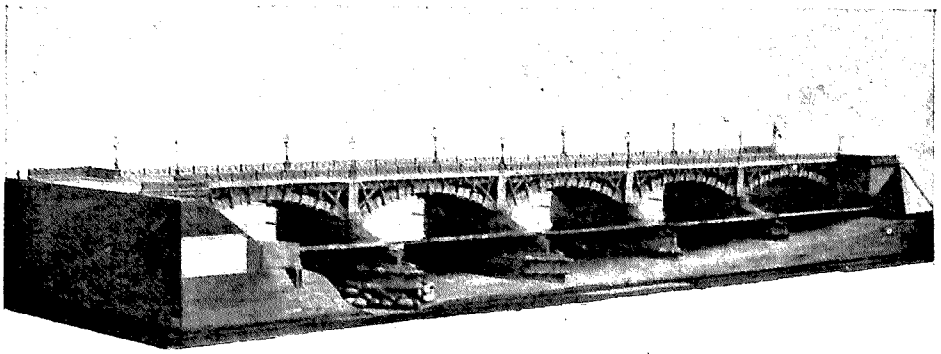


Рис. 30. — Мостъ черезъ р. Нарову.

Типы деревянныхъ мостовъ въ Америкѣ вырабатывались независимо отъ европейскихъ образцовъ; нѣкоторые изъ нихъ, какъ напр. типы Таупа, Лонга, Гау, Бурра — имѣли широкое примѣненіе въ Европѣ и послужили даже, какъ напр.



Рис. 31. — Мостъ черезъ р. Мерримакъ въ Америкѣ.

фермы типа Таупа, къ выработкѣ металлическихъ фермъ съ частой рѣшеткой. Типы эти создавались чисто эмпирическимъ путемъ; каждый строитель держался своего типа; отдѣльныя составныя части были большею частью постояннаго сѣ-

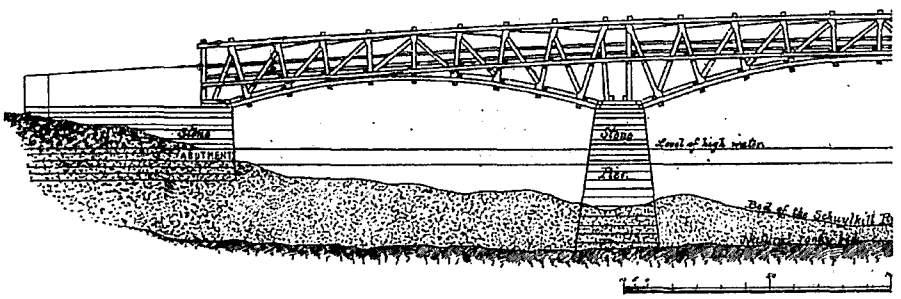


Рис. 32. — Шюйкильскій мостъ.

ченія по всей длинѣ моста, и необходимые размѣры опредѣлялись или изъ опытовъ иадъ моделями, или изъ указаній практики. Сначала пользовались лишь типами балочныхъ и подкосныхъ мостовъ; напр. мостъ, построенный черезъ Charles River близъ Брайтопа (1660 г.); затѣмъ, благодаря изобрѣтательности Пальмера, Вурра, Веривага, Лонга, Таупа, Гау и др., большіе пролеты перекрываются деревянными раскосными фермами съ прямолинейными или криволинейными поясами.

Первымъ такимъ мостомъ слѣдуетъ считать мостъ черезъ р. Мерримакъ, построенный Пальмеромъ въ 1792 г. (рис. 31), съ наибольшимъ пролетомъ въ 160 ф. = 23 саж., съ фермами раскосной системы и съ криволинейными поя-

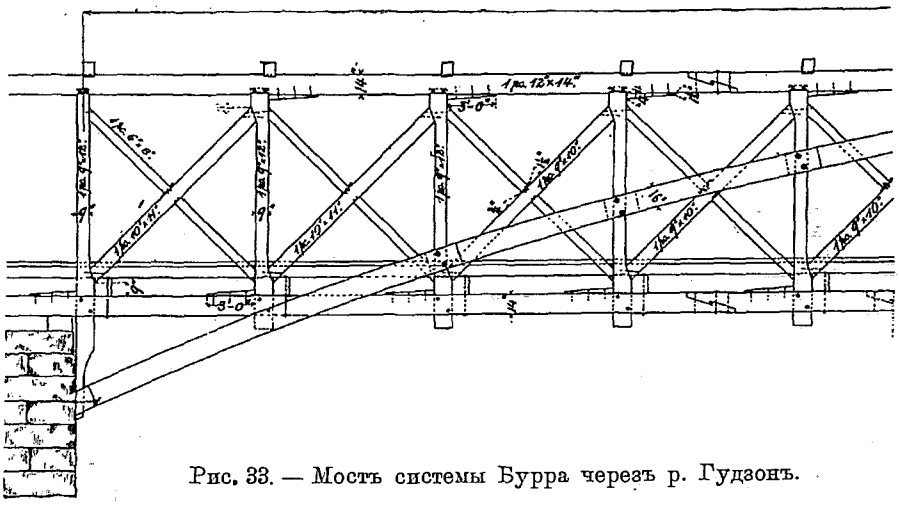


Рис. 33. — Мостъ системы Бурра черезъ р. Гудзонъ.

сами. Затѣмъ по тому же типу построенъ Пальмеромъ въ 1806 г. Шюйкильскій мостъ въ Филадельфіи (рис. 32), два пролета по 150 ф. = 21,5 с. и одинъ въ 195 ф. = 28 с. Мостъ былъ обшить досками, что строитель моста считалъ безусловно необходимымъ для того, чтобъ обыкновенный 10 — 12-лѣтній срокъ существованія деревяннаго моста повысить до 30—40 лѣтъ. Въ 1850 г.—мостъ былъ перестроенъ съ цѣлью приспособленія его подъ желѣзную дорогу. Другой мостъ построенъ тѣмъ же инженеромъ черезъ р. Делаваръ въ 1805 г., въ три пролета по 163 ф. = 23,5 саж.

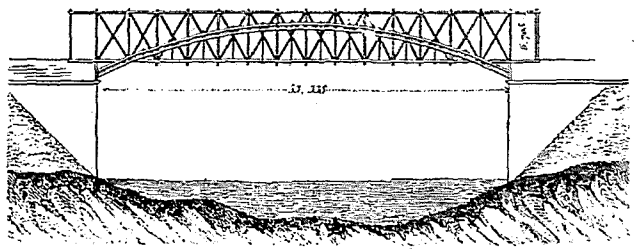


Рис. 34. — Мостъ черезъ р. Коннектикутъ.

Съ цѣлью облегчить работу раскосныхъ фермъ съ деревянными раскосами и

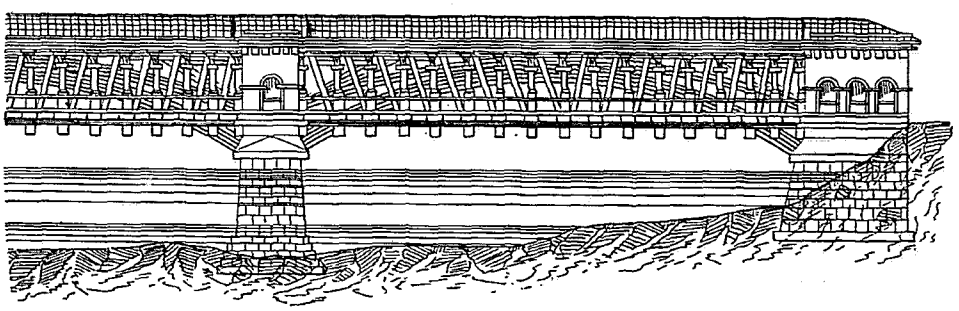


Рис. 35. — Мостъ черезъ р. Мсту въ Яму-Бронницахъ на Московскомъ шоссе.

стяжками—предложена была Бурромъ сложная система, въ которой къ раскосной фермѣ добавлена независимая арочная ферма, такъ что грузъ распредѣлялся между двумя независимыми фермами. Такъ, на рис. 33 изображенъ мостъ черезъ

р. Гудзонъ, построенный въ 1804 г. по этому типу и состоящій изъ четырехъ пролетовъ, причемъ наибольшій достигаетъ 180 ф.=25,7 саж.; фермы раскосной системы, съ деревянными раскосами и стяжками, обжаты аркой. На рис. 34 изображенъ мостъ съ подобной же фермой черезъ р. Коннектикутъ близъ водо-

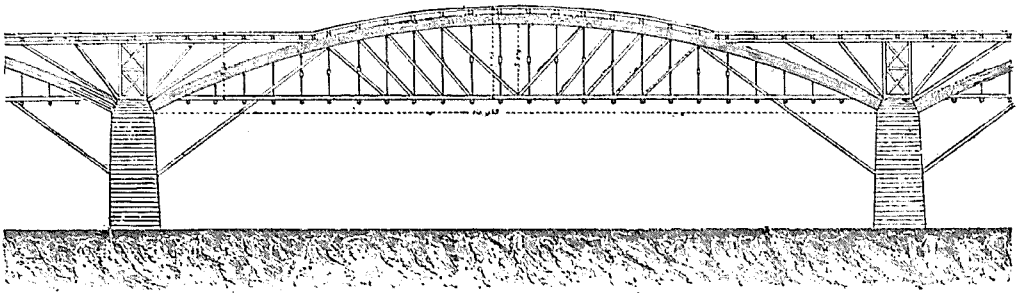


Рис. 36. — Мостъ черезъ рѣку Делаваръ.

пада Bellow. По этой же системѣ былъ построенъ въ 1892 г. мостъ на С.-Петербургскомъ шоссе черезъ р. Мсту въ Яму-Броницахъ (рис. 35). Инженеромъ Бурромъ построены кромѣ того — мосты съ деревянными арочными и висячими фермами. Такъ, на рис. 36 изображенъ построенный въ 1807 году пятипролетный

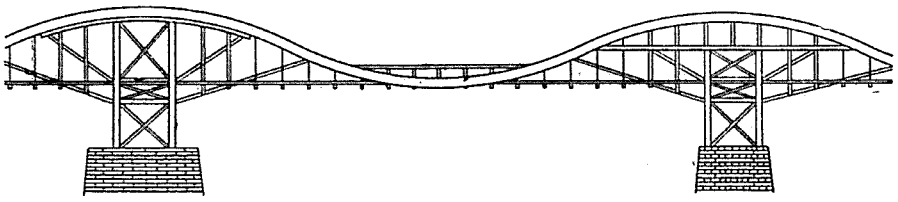


Рис. 37. — Досчатый висячій мостъ (системы Бурра).

мостъ арочной системы черезъ рѣку Делаваръ близъ Трентона, съ наибольшимъ пролетомъ въ 203 фут. = 29 саж. Всего по ширинѣ моста помѣщается 5 досчатыхъ арокъ, къ которымъ подвѣшено на металличеекихъ стяжкахъ мостовое полотно; для увеличенія жесткости помѣщены раскосы. Мостъ просуществовалъ

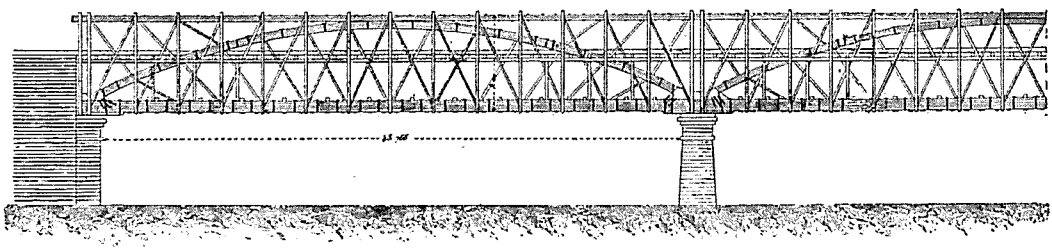


Рис. 38. — Мостъ системы Брауна.

при надлежащемъ ремонтѣ до 1875 г. и въ настоящее время замѣненъ желѣзнымъ мостомъ. На рис. 37 показанъ оригинальный деревянный висячій мостъ, построенный Бурромъ въ 1805 г.; цѣпь состоитъ изъ соединенныхъ нагелями и болтами досокъ сѣченія $14'' \times 4''$. Послѣ 20 лѣтъ службы пришлось подвести добавочныя опоры по серединѣ пролетовъ; въ 1873 г.—былъ замѣненъ желѣзнымъ мостомъ.

Въ отличіе отъ типа Бурра, гдѣ арка работаетъ независимо отъ раскосной фермы, Брауиъ предложилъ располагать арку такимъ образомъ, чтобы она со-

ставляла нераздѣльную часть раскосной фермы съ передачей распора на нижній поясъ; однако, подобная система оказалась неудовлетворительною вслѣдствіе большого напряженія, претерпѣваемаго отъ распора (рис. 38).

Въ 1814 г. Вернвагъ построилъ второй мостъ черезъ р. Шюйкиль въ Филадельфіи (рис. 39), фермы котораго состоятъ изъ двухъ криволинейныхъ поясовъ, связанныхъ двумя системами деревяиныхъ раскосовъ и стоекъ; кромѣ того помѣщены еще желѣзные болтовые раскосы. Около того же времени Вернвагъ по-



Рис. 39. — Мостъ черезъ р. Шюйкиль.

строилъ деревянный мостъ съ уравновѣшенными балками (Cantilever bridge) черезъ р. Нашаммаии; по его же проекту построенъ (1836 г.) раскосный деревянный мостъ черезъ р. Потомакъ (фиг. 65, табл. 8).

Въ 1820 г. появляются балочныя мостовыя фермы системы Тауна (рис. 40), состоящія изъ двухъ досчатыхъ горизонтальныхъ поясовъ, соединенныхъ частой досчатой рѣшеткой. Отсутствіе желѣза въ конструкціи и легкость работы содѣйствовали быстрому распространенію фермъ этого типа при пролетахъ до 220 ф.= 31,5 с., какъ для потребностей желѣзныхъ дорогъ, такъ и обыкновенныхъ дорогъ; въ свое время славился Ричмондскій мостъ черезъ р. James (12×47 мет.) съ фермами системы Тауна. Мость черезъ р. Ящуру на Двинабурго-Витебскомъ шоссе и городской мостъ въ Псковѣ черезъ р. Псковку, построенный въ 1829 г. инженеромъ Краснопольскимъ, принадлежатъ къ этой же системѣ.

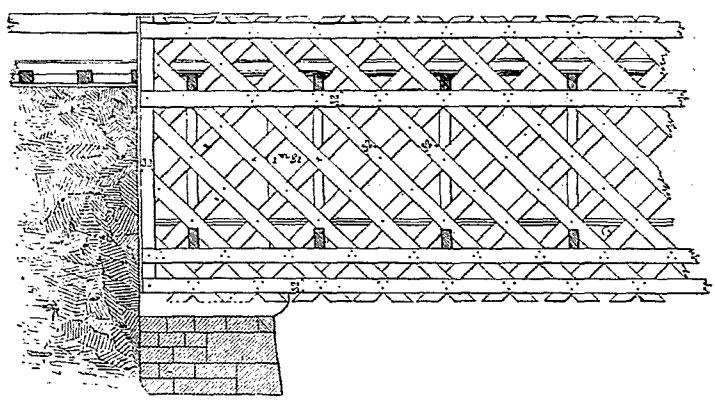


Рис. 40. — Ферма системы Тауна.

Затѣмъ въ 1830 г. Лоигъ предложилъ нѣсколько разновидностей одной и той же системы, отличающихся отъ системы Пальмера только тѣмъ, что оба пояса прямолинейные и раскосы двухъ направленій. Въ нѣкоторыхъ типахъ—пояса, раскосы и стяжки — брусчатые, а въ другихъ—досчатые; въ типахъ съ досчатыми поясами — раскосы двухъ направленій, стойки досчатыя, и всѣ соединенія сдѣлавы помощью нагелей. (Примѣненная въ Петербургѣ для нѣкоторыхъ пѣшеходныхъ мостовъ система инженера Колницыиа представляетъ развитіе досчатой системы Лонга, но только соединенія въ узлахъ сдѣланы при помощи деревяиныхъ накладокъ и гвоздей).

До 1840 г. не было сдѣлано замѣтнаго усовершенствованія въ типахъ мостовыхъ фермъ, пока въ 1840 г. Гау не предложилъ своей системы, сразу завоевавшей прочное положеніе (рис. 41) и получившей большое распространеніе. Ферма этой системы состоитъ изъ двухъ деревянныхъ прямолинейныхъ поясовъ,

связанныхъ металлическими стяжками и раскошенныхъ деревянными раскосами двухъ направленій.

Мосты системы Гау были примѣнены и у насъ на Николаевской желѣзной дорогѣ съ перекрытіемъ пролетовъ до 28 саж., какъ напр. мосты Веребьинскій и Мстинскій (рис. 42), при чемъ Веребьинскій мостъ, проектированный и построенный извѣстнымъ инженеромъ Журавскимъ, представляетъ едва ли не един-

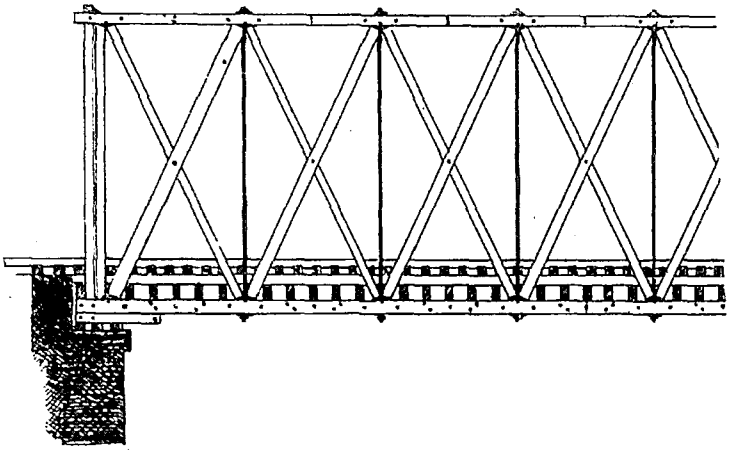


Рис. 41. — Ферма системы Гау.

ственный примѣръ, гдѣ была примѣнена неразрѣзная ферма о девяти пролетахъ; затѣмъ на Московско-Рязанской жел. дорогѣ мостъ черезъ р. Оку съ пролетомъ до 27 саж. (съ желѣзными поясами) и на Рязанскомъ шоссе черезъ р. Коломенку (3×35 саж.). Однимъ изъ послѣднихъ мостовъ этой системы, построенныхъ въ Россіи (1895 г.), слѣдуетъ считать мостъ черезъ р. Лебяжью на Средне-

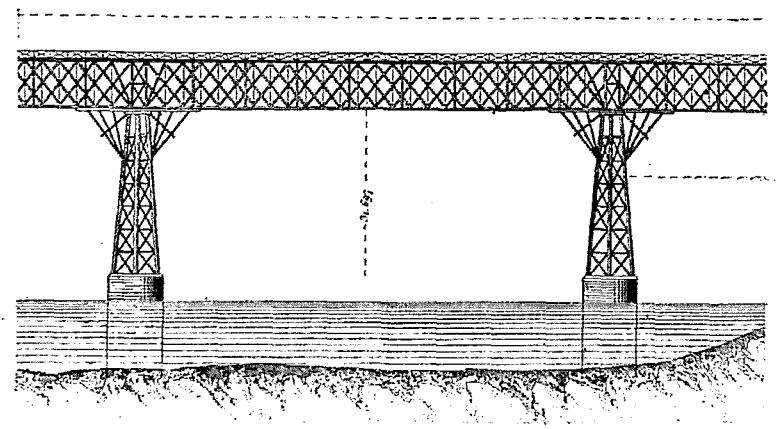


Рис. 42. — Мостъ черезъ р. Мету съ фермами системы Гау.

Сибирской жел. дорогѣ, въ 2 пролета по 15 саж. Въ 1844 г. Праттъ предложилъ систему, отличающуюся отъ системы Гау тѣмъ, что стяжки замѣнены деревянными стойками и деревянные раскосы — металлическими нисходящими раскосами. Система эта не получила, однако, большого распространенія, но тѣмъ не менѣе съ замѣной дерева металломъ — послужила къ развитію цѣлой серіи системъ металлическихъ балочныхъ фермъ.

Браунъ примѣнилъ систему Гау къ арочнымъ фермамъ, какъ напримѣръ, по-

строенный имъ мостъ Cascade-Gleen на Эрійской желѣзной дорогѣ, отверстіемъ въ 300 футъ = 43 саж.; подъемъ арки около 40 футъ = 5,7 саж., причемъ арка составлена изъ двухъ поясовъ съ раскосами и стяжками (рис. 43).

Наконецъ, Каллумъ предложилъ дѣлать въ фермахъ системы Гау верхній поясъ

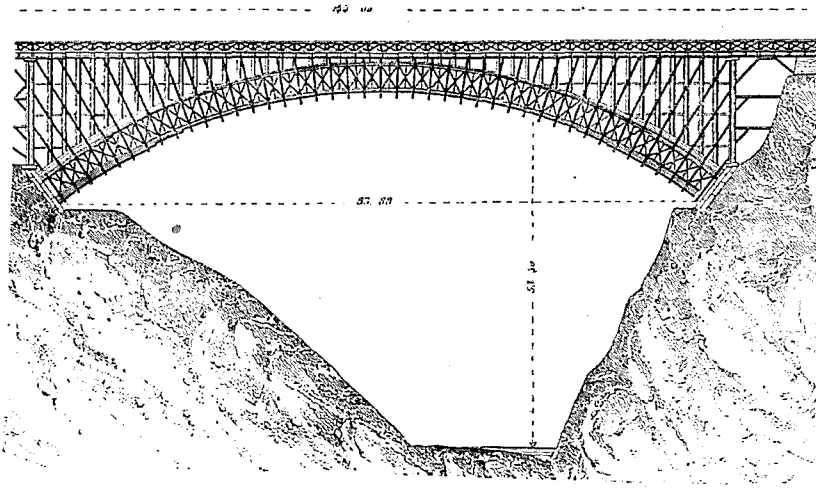


Рис. 43. — Мостъ Cascade-Gleen.

криволинейнымъ, на подобіе металличеекихъ полупараболическихъ фермъ. По такой системѣ построенъ Делаварскій мостъ (отверстіемъ 37,2 саж.) на желѣзной дорогѣ изъ Нью-Іорка въ Эри.

Въ настоящее время имѣется еще нѣсколько видоизмѣненій системы Гау, какъ напр. Гау-Гроидаль и др.

Изъ другихъ системъ, гдѣ одновременно употребляли дерево для сжатыхъ частей, а желѣзо—для частей, подвергающихся вытягиванію, слѣдуетъ упомянуть

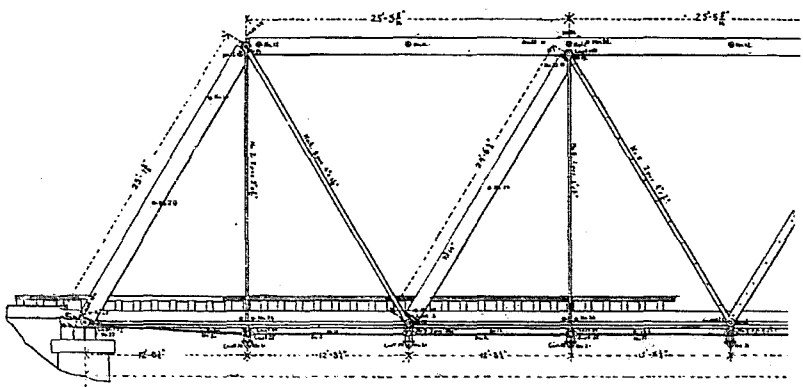


Рис. 44. — Мостъ черезъ р. Голубую съ фермами Варрена.

о системѣ Варрена (рис. 44), Финка, Больмана и проч. Эти же самые типы примѣнялись затѣмъ съ замѣною дерева чугуномъ (рис. 56 и 57), или же съ употребленіемъ исключительно одного желѣза—въ видахъ увеличенія продолжительности ихъ службы.

Въ Америкѣ и въ Швеціи встрѣчаются нерѣдко деревянные віадуки (trestle-works) (рис. 45), состоящіе изъ большого числа малыхъ пролетовъ и замѣняющіе собою высокія насыпи. Высота этихъ віадуковъ доходила до 71,4 метра = 33,5

саж.; такъ напримѣръ, сгорѣвшій въ 1875 г. извѣстный Portage - Viaduct на желѣзной дорогѣ между Нью-Іоркомъ и Буффало былъ длиною 260 метр.

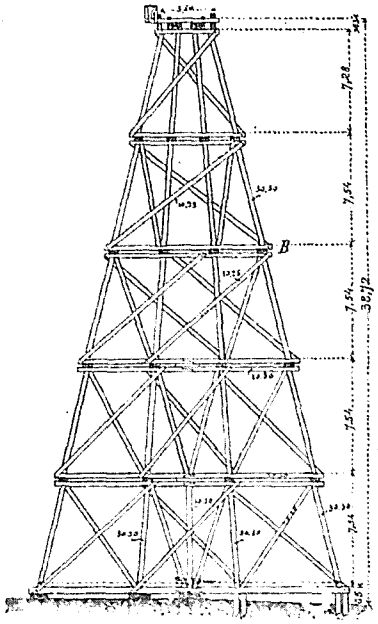


Рис. 45.

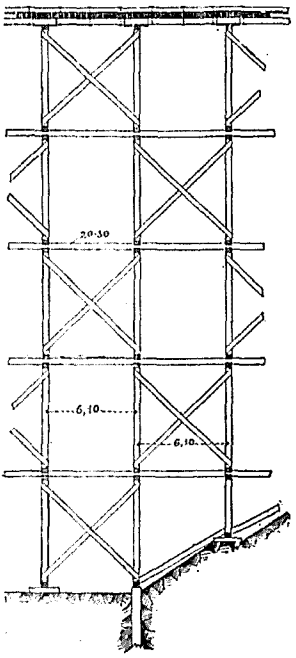


Рис. 45'.

Типъ деревяннаго віадука въ Америкѣ.

Металлическіе мосты, т. е. съ металлическими фермами на каменныхъ или металлическихъ опорахъ.

Идея примѣнить металлъ для постройки мостовъ была предложена итальянцами еще въ XVI столѣтіи; затѣмъ Desaguilliers проектировалъ металлическій мостъ черезъ рѣку Темзу, а Garrin въ 1719 году даже началъ постройку метал-

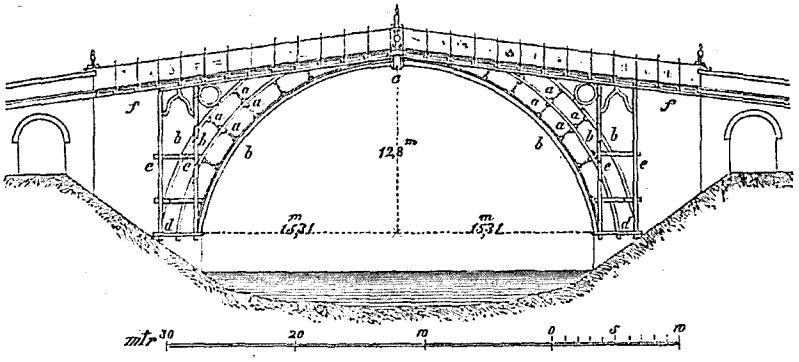


Рис. 46. — Мостъ черезъ р. Севернъ.

лическаго моста черезъ Роиу въ Ліонѣ; но встрѣтившіяся затрудненія и дороговизна заставили отказаться отъ продолженія работы, и мостъ былъ построенъ деревяннымъ. Англичанамъ первымъ удалось осуществить сооруженіе металлическаго моста въ Северпѣ.

а) *Чугунные мосты.* Деревянные арочные и каменные мосты послужили въ отношеніи своей формы типомъ для первыхъ *металлическихъ мостовъ*, которые вначалѣ были почти исключительно чугунные. Первымъ чугуннымъ арочнымъ мо-

стомъ считается мостъ черезъ рѣку Северн въ Англіи (1779 года), отверстіемъ около 95 ф. = 13,6 саж. Арка,—на подобіе деревянной арки,—состоитъ изъ



Рис. 46′. — Мостъ черезъ р. Северн.

трехъ рядовъ концентрическихъ кольцевыхъ частей, соединенныхъ тяжами (рис. 46 и 46′). По этому типу построено было затѣмъ много мостовъ.

Нѣкоторое отличіе отъ этого типа представляетъ первый металлическій мостъ во Франціи, пѣшеходный Луврскій мостъ черезъ р. Сену въ Парижѣ, построенный

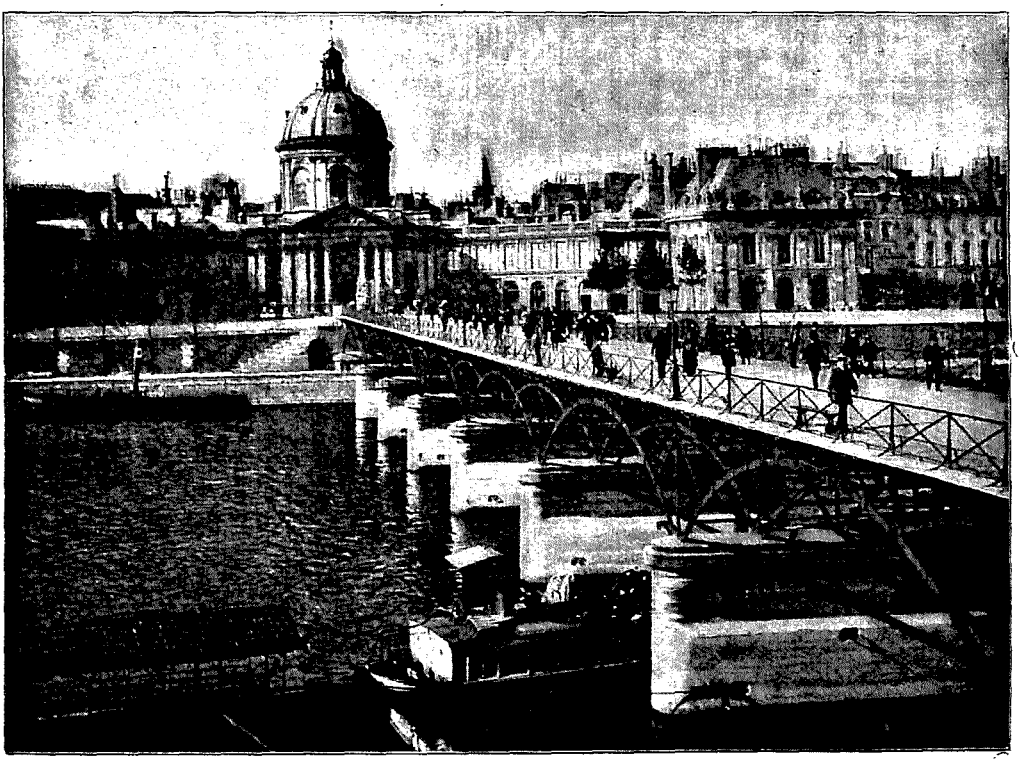


Рис. 47. — Луврскій мостъ черезъ р. Сену въ Парижѣ.

Cessart и Dillon въ 1803 году. Величина пролета 18,52 метр.; подъемъ 3,25 мет.; каждая арка состоитъ по длинѣ изъ нѣсколькихъ частей сплошного прямоугольнаго сѣченія, упирающихся въ ключѣ въ чугунную доску. Для увеличенія жесткости и для поддержанія полотна имѣются криволинейные и прямолинейные элементы въ видѣ сквознаго заполненія (рис. 47).

Затрудненіе въ отливкѣ длинныхъ кривыхъ арокъ побудило составлять арку изъ короткихъ косяковъ, на подобіе клиньевъ каменнаго свода.

Такъ Пайпъ (1788 года) замѣнилъ сплошныя чугунныя арки пустотѣлыми (открытыми снизу) и плоскими чугунными клиньями. Первымъ такимъ мостомъ былъ мостъ черезъ рѣку Виръ въ Сэндерлендѣ, пролетомъ 72 метр., построенный Вильсономъ въ 1793 году (рис. 48); Аустерлицкій мостъ въ Парижѣ, построенный Ламондэ въ 1800 — 1806 г. (5 пролетовъ по 32,36 метр.), имѣетъ арки, составленныя изъ короткихъ же клиньевъ, но плоскихъ и сквозныхъ (черт. 49).

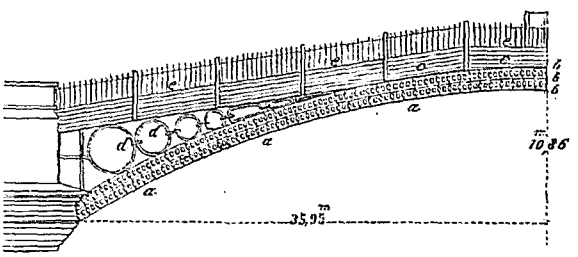


Рис. 48. — Мостъ черезъ р. Виръ.

Затѣмъ въ 1797 году Нашъ взялъ привилегію въ Лондонѣ на составленіе чугунной арки изъ нѣсколькихъ свинченныхъ чугунныхъ косяковъ двутаврового

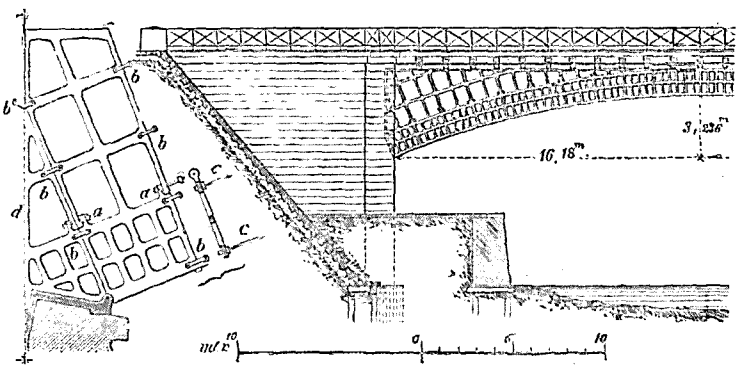


Рис. 49. — Аустерлицкій мостъ черезъ р. Сену въ Парижѣ.

сѣченія, представлявшихъ кольцевыя вырѣзки кругового сектора. Первые мосты этой системы были построены въ Петербургѣ, черезъ р. Мойку (1806—1808 г.). Система эта стала быстро распространяться, и въ 1814 году Rennie примѣнилъ

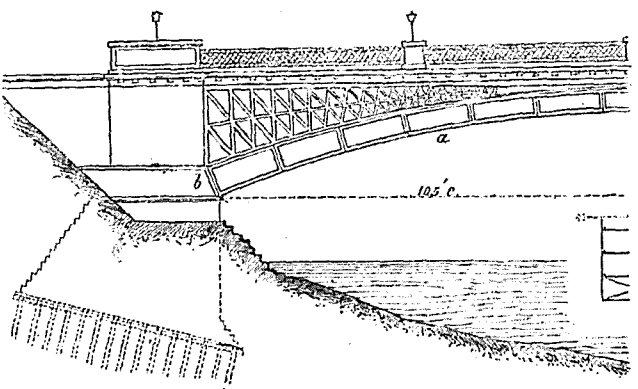


Рис. 50. — Мостъ черезъ р. Темзу (Southwark bridge).

ее для трехпролетнаго моста Southwark черезъ рѣку Темзу въ Лондонѣ, при величинѣ средняго пролета въ 77 метр., что составляетъ наибольшій изъ достигнутыхъ чугунными арочными фермами пролетовъ (рис. 50). По этой же си-

стемѣ построенъ Рочестерскій трехпролетный мостъ съ наибольшимъ пролетомъ въ 43 метра; Вестминстерскій 47 метровъ; Тараскопскій черезъ рѣку Рону (1851 г.) подъ желѣзную дорогу (рис. 51) при величинѣ пролета въ 77 мет. съ подъемомъ въ $\frac{1}{12}$. Въ Петербургѣ имѣется много арочныхъ чугунныхъ мостовъ съ фермами изъ пустотѣлыхъ клиньевъ и изъ сквозныхъ плоскихъ косяковъ. Къ послѣднимъ принадлежитъ и Николаевскій

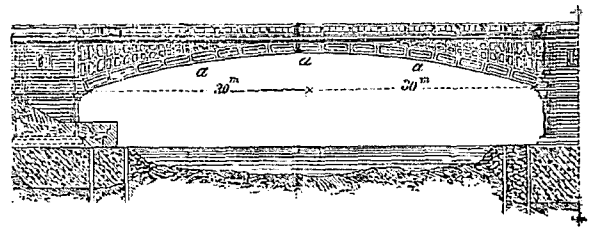


Рис. 51. — Тарасконскій мостъ черезъ Рону.

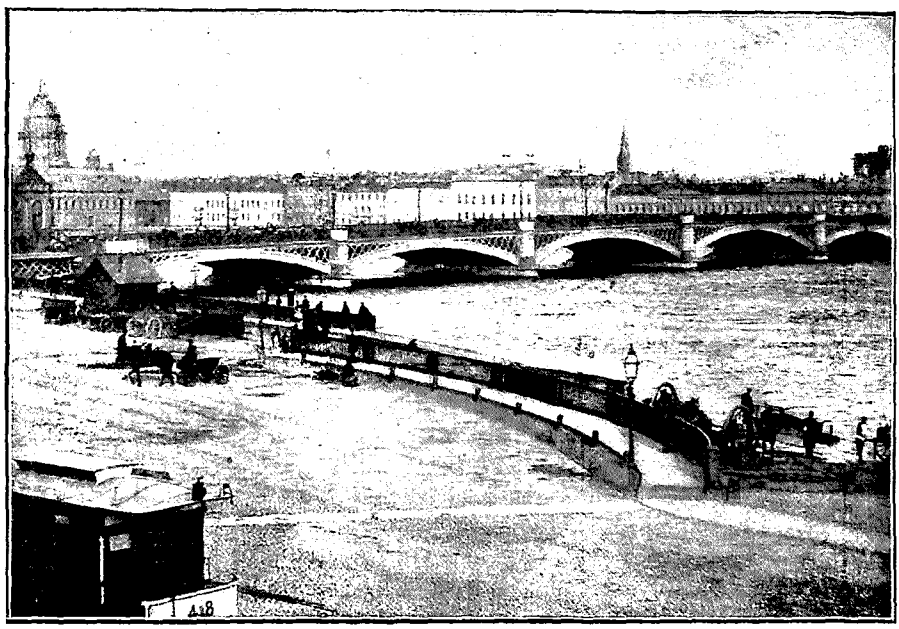


Рис. 52. — Николаевскій мостъ черезъ р. Неву.

мостъ черезъ рѣку Неву въ 7 пролетовъ, не считая разводной части, съ наибольшимъ пролетомъ арки въ 156 ф.=22,3 саж. (рис. 52), проектированный и сооруженный инженеромъ Кербедземъ.

Для увеличенія жесткости арки Рейхенбахомъ предложены въ 1811 г. трубчатыя чугунныя арки; мостъ черезъ рукавъ р. Оккера въ Брауншвейгѣ принадлежитъ къ числу первыхъ мостовъ (1824 г.) построенныхъ по этой системѣ. Сюда же относятся: Карусельскій мостъ въ Парижѣ, построенный Полонсо въ 1834 г., съ полой аркой эллиптическаго сѣченія (рис. 53), и мостъ Радецкаго въ Лайбахѣ (1866 г). Чугунные арочные мосты встрѣчаются и съ

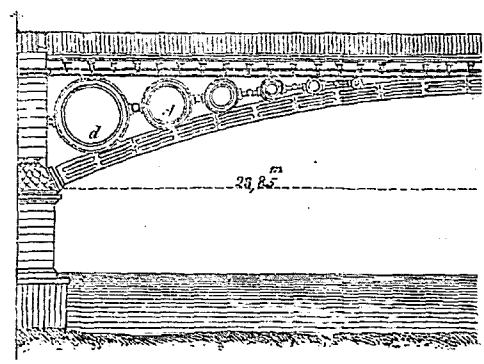


Рис. 53.—Карусельскій мостъ въ Парижѣ.

расположеніемъ проѣзжей части ниже арки (подвѣсной системы), какъ напримѣръ построенный Стефенсономъ шестипролетный по 37,5 метр. двухъярусный мостъ

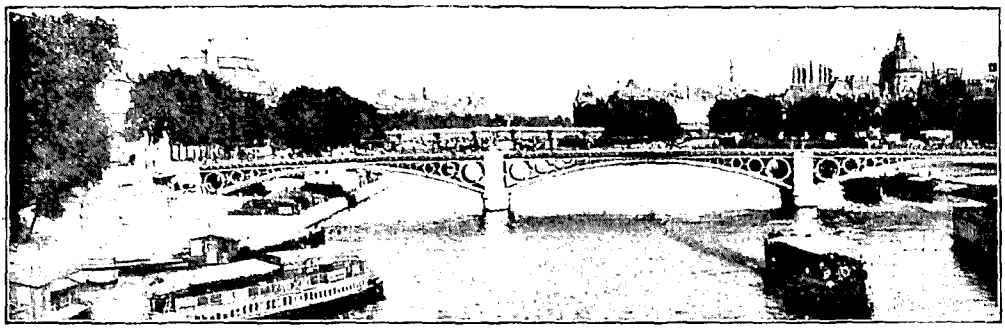


Рис. 53'. — Каруселькій мостъ въ Парижѣ.

черезъ рѣку Тайнъ въ Нью-Кэстлѣ (рис. 54); затѣмъ водопроводный мостъ черезъ р. Кольдеръ близъ Стэнли въ Англіи при величинѣ пролета въ 47,24 метр. (рис. 55), а также бывшій Высокопятницкій мостъ черезъ Обводный каналъ въ Москвѣ (рис. 55'). Въ двухъ послѣднихъ мостахъ подвѣски изъ желѣза, и, слѣдовательно, мосты эти принадлежатъ скорѣе къ смѣшанной, относительно матеріала, системѣ.

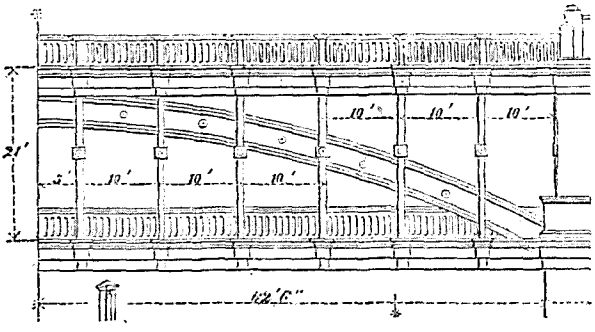


Рис. 54. — Мостъ черезъ р. Тайнъ.

Кромѣ арочныхъ мостовъ чугунъ былъ употребленъ (1824 г.) и для балочныхъ мостовъ небольшого пролета и также для тѣхъ частей фермъ со сквозной стѣнкой, которыя подвергаются сжимающему усилію.

Изъ числа моетовъ, гдѣ одновременно употреблялся чугунъ для сжатыхъ частей и желѣзо для вытянутыхъ, можно указать на системы Финка (1852 г.) (рис. 56 и 57), Больмана (1852 г.) (рис. 56'), а также Джонса, Ридера, Мельвиля и проч.

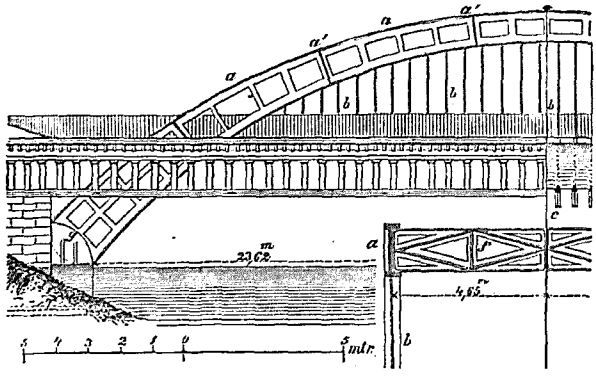


Рис. 55.—Водопроводный мостъ черезъ р. Кольдеръ.

Въ настоящее время, въ виду удешевленія производства желѣза и вслѣдствіе незначительнаго сопротивленія чугуна сотрясеніямъ, чугунъ вообще избѣгаютъ употреблять для моетовъ, а въ особенности для желѣзнодорожныхъ.

б) *Желѣзные моеты* (сварочнаго и литого металла). Благодаря высокимъ качествамъ этого матеріала, способнаго одинаково хорошо сопротивляться, какъ вытягивающимъ, такъ и сжимающимъ усиліямъ, примѣненіе его встрѣчается въ

сферахъ висячей, балочной и арочной системъ. Старѣйшіе желѣзные мосты (1667 г.) находятся въ Китаѣ и принадлежатъ къ системѣ висячихъ мостовъ. Вообще полагаютъ, что висячіе мосты впервые появились въ Китаѣ около 200 лѣтъ послѣ

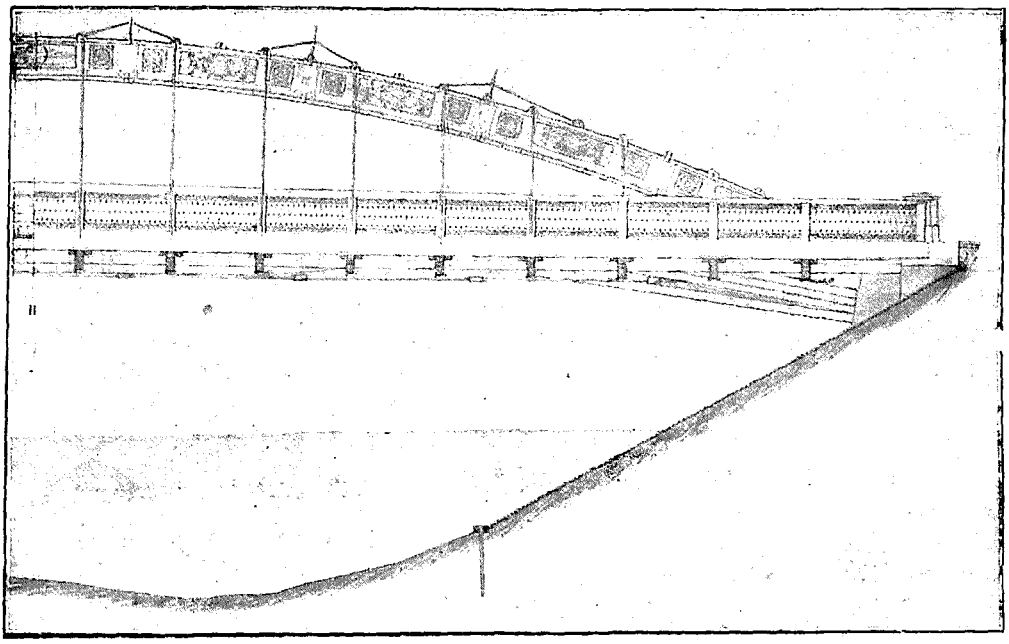


Рис. 55′. — Высокопятницкій мостъ въ Москвѣ.

Р. Хр., при чемъ матеріаломъ для постройки служили корни и вѣтви растеній.

На рис. 58 изображенъ одинъ изъ пѣшеходныхъ висячихъ первобытныхъ мостовъ на Кавказѣ, пролетомъ 24 метр. Канатомъ служитъ виноградная лоза (трой-

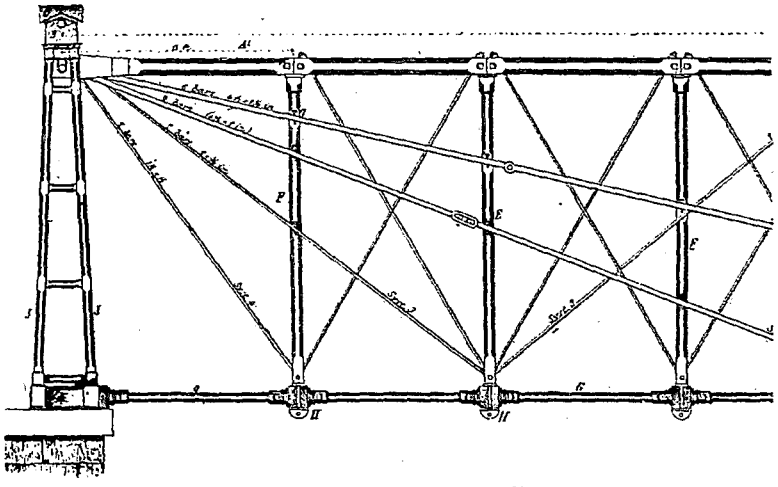


Рис. 56. — Фермы системы Финка.

пая), къ которой подвѣшены помощью лозы бревна, служащія вмѣстѣ съ тѣмъ и мостовымъ полотномъ. Мостъ этотъ по идеѣ напоминаетъ составную ферму изъ балочной и висячей системъ.

Первымъ желѣзнымъ висячимъ мостомъ въ Европѣ считается пѣшеходный

мостъ черезъ рѣку Тизъ въ Англіи (1741 г.). Вслѣдъ затѣмъ былъ построенъ цѣлый рядъ висячихъ мостовъ, начиная съ 1796 года по настоящее время, какъ въ Америкѣ, такъ и въ Европѣ. Такъ напримѣръ, построенный Финлеемъ (1796 г.)

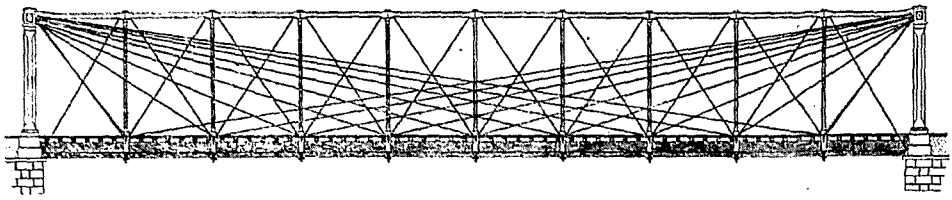


Рис. 56'. — Мостъ съ фермами системы Больмана.

висячій мостъ пролетомъ 21 метр. въ Америкѣ; затѣмъ Меринакскій мостъ въ Массачузеттѣ (1809 г.) отверетіемъ 74,37 метр. = 34,95 саж.; Твидскій мостъ въ Англіи (1819 г.) отверстіемъ 136,15 метр. = 63,99 саж.; Менэйскій мостъ въ Англіи (1826 г.) отверстіемъ 176,6 метр: = 83 саж., построенный Тельфор-

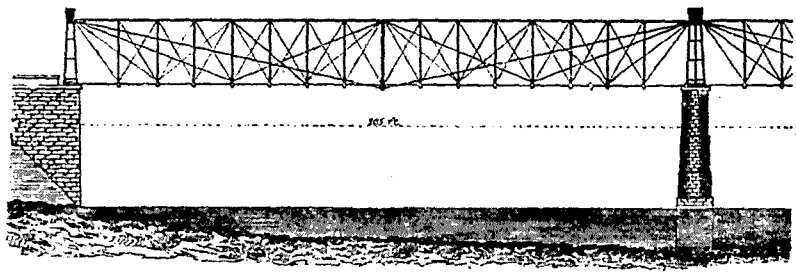


Рис. 57.—Мостъ съ фермами системы Финка черезъ р. Monongahela на жел. дорогѣ Балтпра-Огіо.

домъ (рис. 59); Пантелеймоискій мостъ черезъ рѣку Фонтанку въ Петербургѣ (1824 г.) (по проекту Третгэра) (рис. 60) и другіе висячіе мосты въ Петербургѣ, какъ Египетскій и проч.; Пештскій мостъ чрезъ рѣку Дунай, построенный Сlагk'омъ въ 1830 — 1845 г., средній пролетъ въ 202,99 метр. и два край-

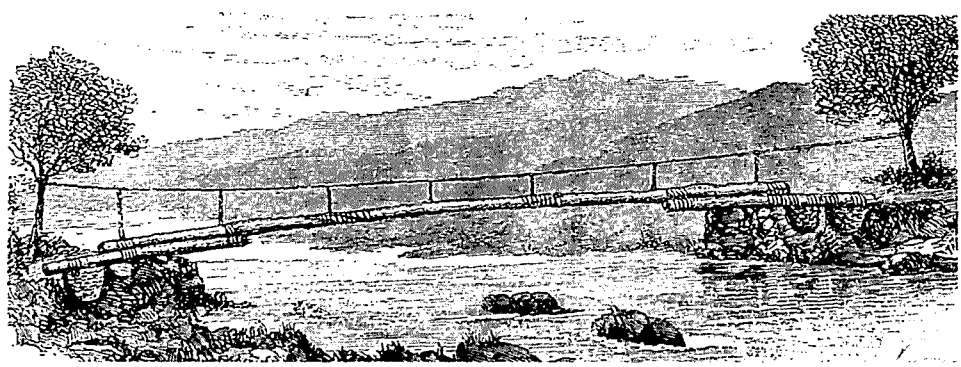


Рис. 58. — Пѣшеходный мостъ на Кавказѣ.

нихъ по 90,83 метр.; Кіевскій мостъ (1853 г.) черезъ рѣку Диѣпръ, построенный Виньолемъ (четыре полныхъ пролета въ 440 ф. = 63 саж. и два полупролета въ 220 ф. = 31,5 саж.) (рис. 61 и фиг. 86 табл. 9); мостъ въ г. Островѣ, построенный въ 1853 году инженеромъ Краспопольскимъ (два отдѣльныхъ пролета въ 306 ф. = 44 саж.) (рис. 62).

Изъ числа другихъ цѣпныхъ мостовъ слѣдуетъ упомянуть о слѣдующихъ: мостъ Hammersmith черезъ рѣку Темзу близъ Лондона, построенный Clark'омъ въ 1823 — 1827 г.; три пролета — средній въ 44,47 метр. и два крайнихъ по 21,8 метр.; мостъ Charing-Cross въ Лондонѣ — сооруженный Брюнелемъ въ 1845 году,—пятипролетный, три среднихъ пролета по 206,2 метр., и два край-

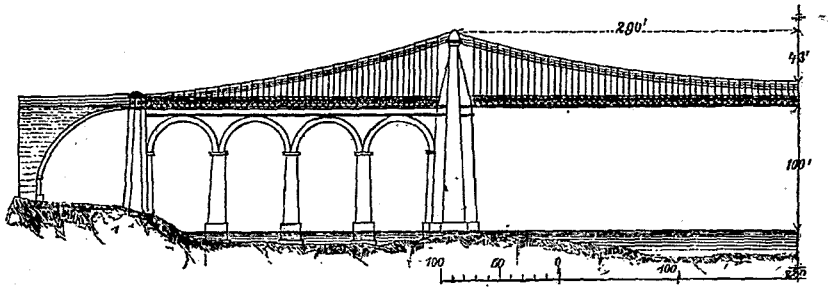


Рис. 59. — Висячій мостъ черезъ Менэйскій проливъ.

нихъ пролета по 103,48 метр. Мостъ этотъ въ настоящее время уже не существуетъ; онъ разобранъ въ 1865 году; цѣпи моста были употреблены на окончаніе моста Clifton черезъ рѣку Аронъ близъ Бристоля. Послѣдній мостъ начатъ еще Брюнелемъ въ 1840 г. и былъ оконченъ Hawkshaw—спустя четверть столѣтія;

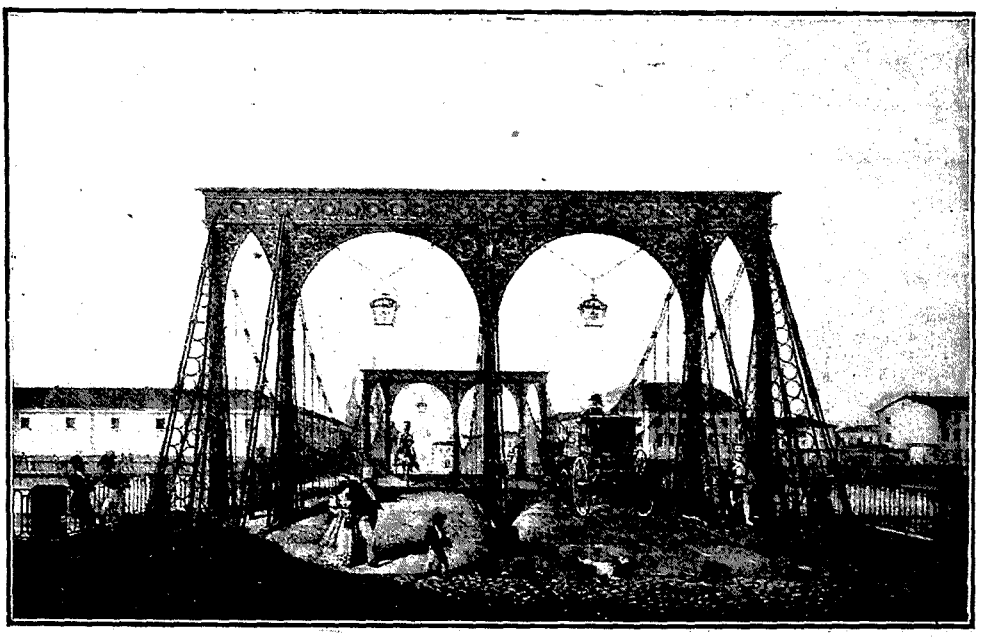


Рис. 60. — Пантелеймоновскій мостъ чрезъ р. Фонтанку въ С.-Петербургѣ.

пролетъ этого моста 214 метр., что составляетъ наибольшій предѣлъ, достигнутый въ настоящее время цѣпными мостами. Кромѣ того, Лангонскій мостъ черезъ р. Гароину (80 м. + 2×60 метр.); однопролетный мостъ черезъ р. Маасъ близъ Seraing, построенный въ 1842—1843 г.— обществомъ Коккерилъ при величинѣ пролета въ 105 метр.; мостъ черезъ р. Молдаву въ Прагѣ состоитъ изъ двухъ полиыхъ пролетовъ по 132,75 метр. и четырехъ пролетовъ по 33,68 метр.; два средніе пролета имѣютъ общій закрѣпный устой; мостъ черезъ рѣку Муръ въ

Градѣ при величинѣ пролета въ 63,8 метр.; второй мостъ черезъ рѣку Молдаву въ Прагѣ, мостъ Франца-Іосифа, оригинальной системы Ordisch-Lefeuvre (рис. 63),

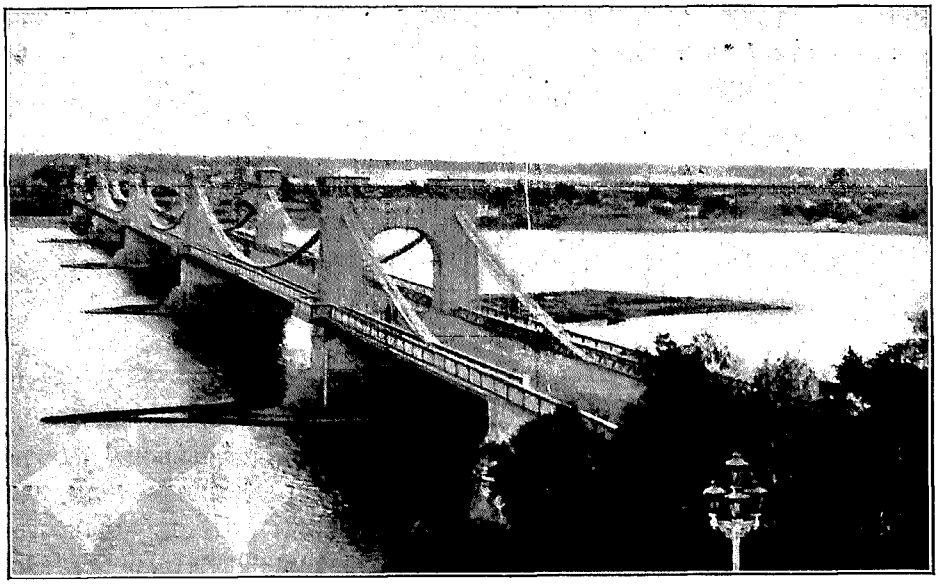


Рис. 61. — Мостъ чрезъ р. Днѣпръ въ Кіевѣ.

средній пролетъ 146,62 метр. и два полупролета по 47,7 метр.; мостовое полотно поддерживается двумя фермами, подвѣшенными въ трехъ мѣстахъ по-

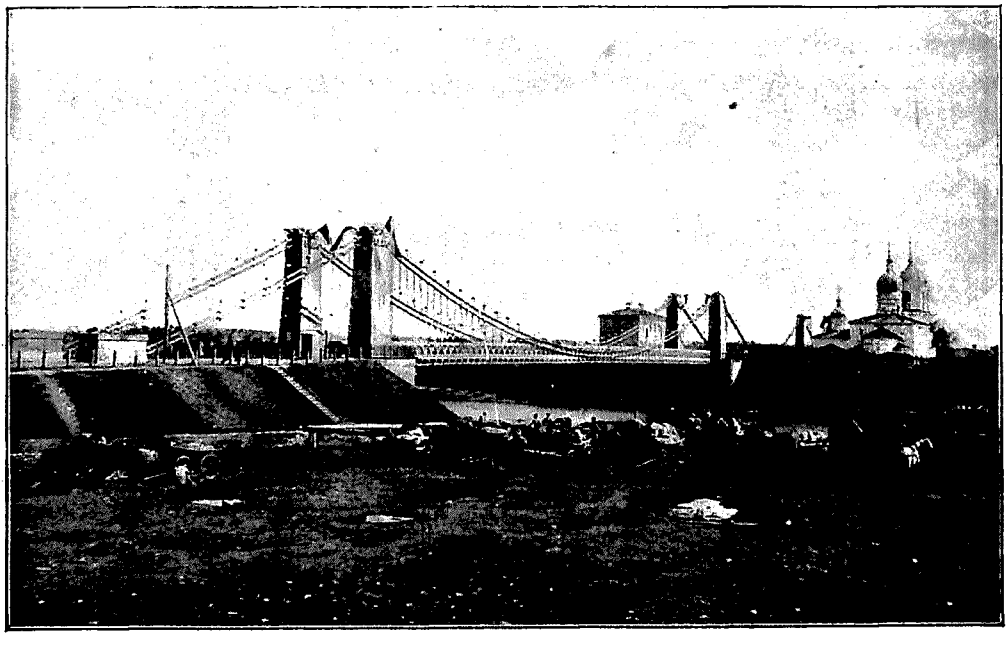


Рис. 62. — Мостъ чрезъ р. Великую въ Островѣ

мощью наклонныхъ тягъ къ цѣпи, что сдѣлано ради увеличенія жесткости моста.

Для достиженія послѣдней цѣли было предложено и осуществлено нѣсколько приспособленій. Такъ, въ мостѣ черезъ рѣку Неккаръ въ Мангеймѣ—между цѣ-

пями помѣщена треугольная связь. Принципъ этотъ былъ затѣмъ примѣненъ Schnirch'омъ въ 1860 г. для двухъ цѣпныхъ мостовъ черезъ каналъ р. Дуная въ Вѣнѣ, одного подъ желѣзную дорогу (рис. 64 и 65), пролетомъ 83,42 метр., дру-

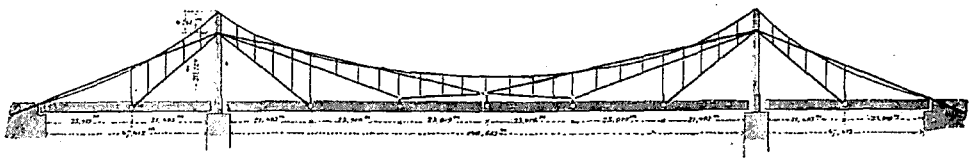


Рис. 63. — Мостъ черезъ р. Молдаву въ Прагѣ, система Ордиша.

гого подъ экипажный проѣздъ (Aspern Brücke),въ которыхъ расположенныя одна подъ другою цѣпи связаны раскосами; въ настоящее время первый мостъ замѣненъ арочнымъ мостомъ; въ Америкѣ по этой же системѣ съ незначительнымъ измѣненіемъ построенъ въ 1889 году мостъ въ С. Луи (Great Avenue-bridge). Во вто-

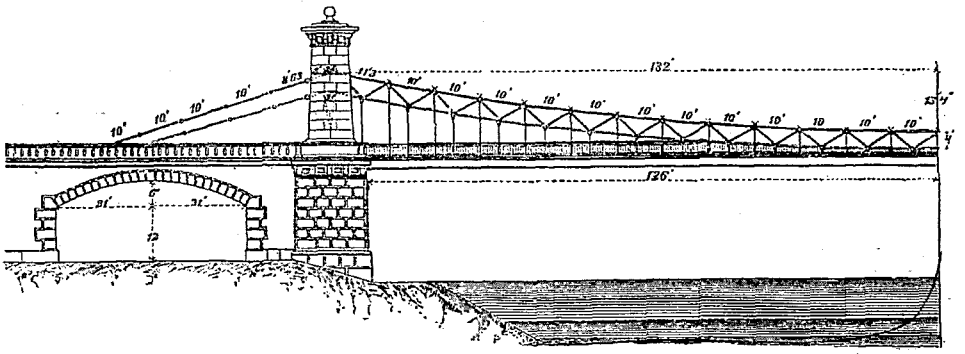


Рис. 64.—Желѣзнодорожный висячій мостъ черезъ каналъ р. Дуная въ Вѣнѣ, системы Шнирха.

ромъ мостѣ черезъ рѣку Mononghela въ Питсбургѣ, въ Америкѣ, пролетомъ 244 метра, построенномъ въ 1877 г., цѣпь соединена съ жесткими поясами, направленными по двумъ хордамъ, пересѣкающимъ цѣпь надъ опорами и по серединѣ (рис. 66); по длинѣ хорды связаны съ цѣпью—стойками и раскосами. По

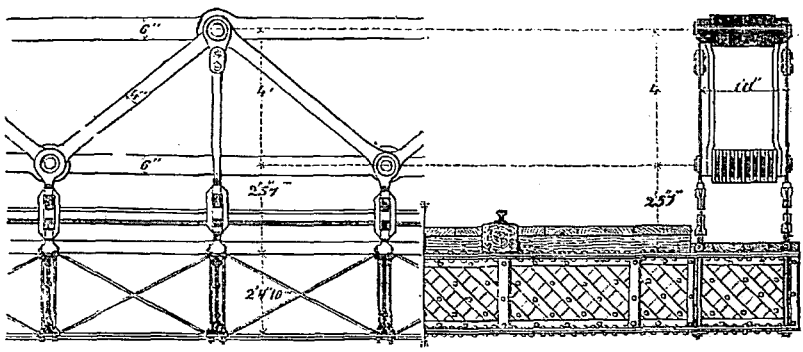


Рис. 65. — Детали моста черезъ каналъ р. Дуная.

такой же почти системѣ построенъ въ 1889 г. мостъ черезъ рѣку Тибръ въ Римѣ и въ 1895 г. мостъ черезъ рѣку Темзу въ Лондонѣ (Towerbridge) (рис. 130).

Стремленіе сдѣлать висячія фермы абсолютно жесткими вызвало появленіе трехшарнирныхъ жесткихъ клепанныхъ висячихъ фермъ, представляющихъ въ сущности обращенную арочную ферму. Примѣромъ служитъ пѣшеходный мостъ во Франкфуртѣ на Майнѣ (рис. 67 и фиг. 87 табл. 9) черезъ рѣку Майнъ, построен-

ный Schmick'омъ въ 1869 году, гдѣ повидимому впервые былъ примѣненъ шарниръ по серединѣ жесткой фермы. Идея примѣненія средняго шарнира для висячихъ и арочныхъ мостовъ была предложена Körcke въ 1858—1860 г. Въ недавнее время (1892—1893 г.) построенъ жесткій клепанный мостъ черезъ рѣку Эльбу

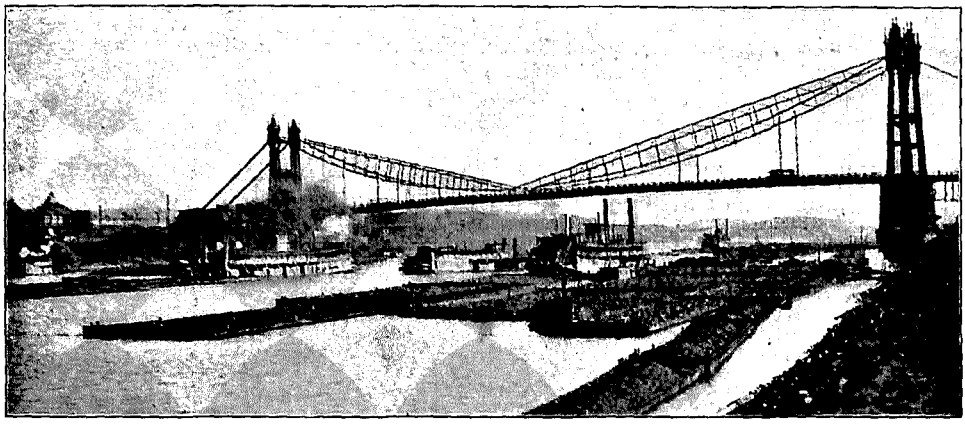


Рис. 66. — Мостъ черезъ р. Monongahela въ Питсбургѣ.

близъ Дрездена (рис. 68) по проекту Körcke, величина пролета 147 метр.; между верхнимъ и нижнимъ поясами помѣщены двѣ системы раскосовъ; верхній поясъ очерченъ по гиперболѣ.

Преимущество, представляемое проволокой по сравненію съ брусковымъ желѣзомъ въ смыслѣ сопротивленія разрыву, давно обратило уже вниманіе инженеровъ на пользу замѣны цѣпи въ висячихъ мостахъ проволочнымъ канатомъ, желѣзнымъ и

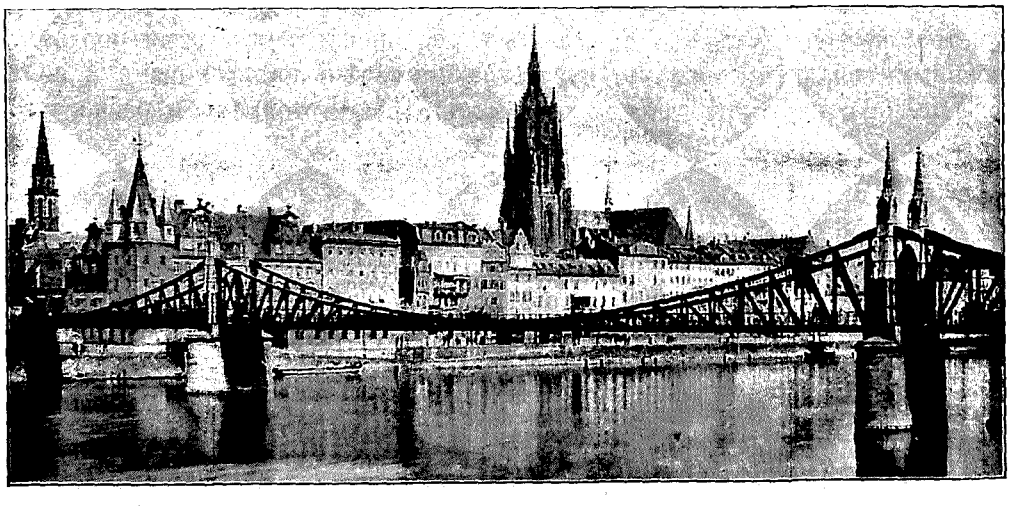


Рис. 67. — Мостъ черезъ р. Майнъ въ Франкфуртѣ.

стальнымъ. Мосты этой системы получили особенное развитіе въ Америкѣ и кромѣ того встрѣчаются во Франціи, Португаліи, Швейцаріи, Австріи, Англіи и въ Россіи.

Первымъ такимъ мостомъ считаютъ Шюйкильскій мостъ близъ Филадельфіи (1815 г.) съ пролетомъ въ 124,36 метра=58,45 саж.; канатъ состоитъ изъ 6 проволокъ діаметромъ $^3/_8$ дм. Въ 1845 году сооруженъ мостъ черезъ рѣку Monangahela въ Питсбургѣ при величинѣ пролета въ 57,3 метр.; а въ началѣ тридцатыхъ

годовъ мостъ черезъ рѣку Огіо близъ Wheeling'а пролетомъ 307,85 метр. черезъ р. Ніагару построено было четыре висячихъ моста: первый пролетомъ 231,65 метр. для пѣшеходовъ и для легкихъ экипажей; второй мостъ—сооруженъ

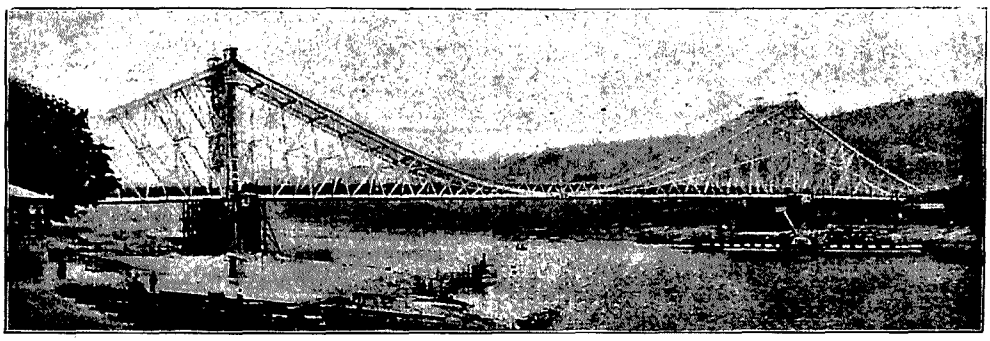


Рис. 68. — Мостъ черезъ р. Эльбу близъ Дрездена.

въ 50 годахъ Serrel'емъ — пролетомъ 316,99 метр. и наконецъ въ 1851 г. построенъ Röbling'омъ отцомъ двухъярусный мостъ черезъ Ніагару, приспособленный и подъ желѣзную дорогу (рис. 69 и 70), пролетомъ 270 мет.; здѣсь въ первый

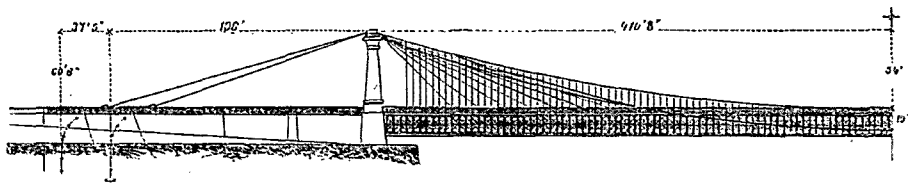


Рис. 69. — Ніагарскій двухъярусный висячій мостъ.

разъ были примѣнены наклонные ванты, высокія фермы жесткости для увеличенія жесткости въ вертикальномъ направленіи и расположеніе привѣсныхъ прутьевъ въ косой плоскости — для приданія мосту бо́льшей жесткости относительно горизонтальныхъ качаній; въ настоящее время мостъ разобранъ и замѣненъ арочнымъ мостомъ для пропуска желѣзнодорожныхъ поѣздовъ (рис. 71). Четвертый мостъ вблизи водопада, оконченный Röbling'омъ въ 1869 году, имѣетъ пролетъ въ 385,27 метр. По проекту Röbling'а отца построенъ и проволочный висячій мостъ черезъ р. Огіо близъ Цинцинати, также съ наклонными вантами, при величинѣ пролета въ 322 метр. Наконецъ, проектированный Röbling'омъ отцомъ, но оконченный за его смертью сыномъ его, мостъ черезъ East-River (рукавъ р. Гудзона) (1870 — 1876 г.) представляетъ наибольшій изъ пролетовъ, достигнутыхъ нынѣ висячими проволочными мостами; средній пролетъ въ 486 м., два крайнихъ полупролета длиною по 283,46 м. Въ этомъ мосту впервые примѣнены стальныя проволоки; по мосту совершается движеніе желѣзнодорожныхъ поѣздовъ безъ паровозовъ, при помощи постоянныхъ паровыхъ машинъ, установленныхъ на берегу (рис. 72).

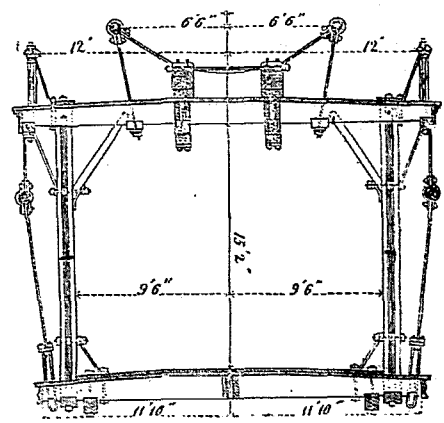


Рис. 70.—Разрѣзъ Ніагарскаго моста.

Въ настоящее время составленъ Lindenthal'емъ проектъ висячаго моста черезъ сѣверный рукавъ рѣки Гудзона, состоящаго изъ средняго пролета и двухъ

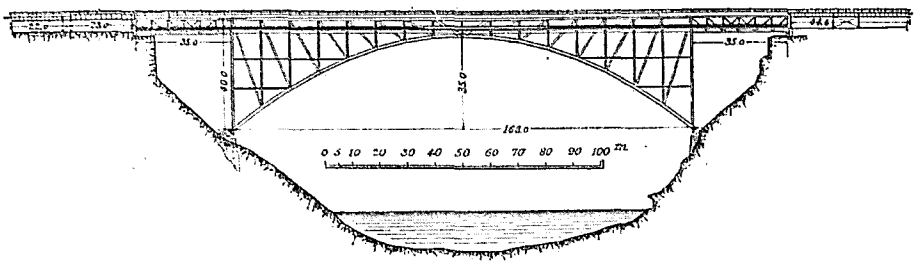


Рис. 71. — Арочный мостъ, построенный вмѣсто Ніагарскаго висячаго моста.

полупролетовъ; средній пролетъ проектированъ отверстіемъ 945 м. двухъярусный, па которомъ предполагается уложить 14 желѣзнодорожныхъ путей (рис. 73).

Въ Европѣ имѣется также достаточное число проволочно-канатныхъ висячихъ моетовъ, какъ напримѣръ Фрейбургскій мостъ въ Швейцаріи съ пролетомъ въ 273

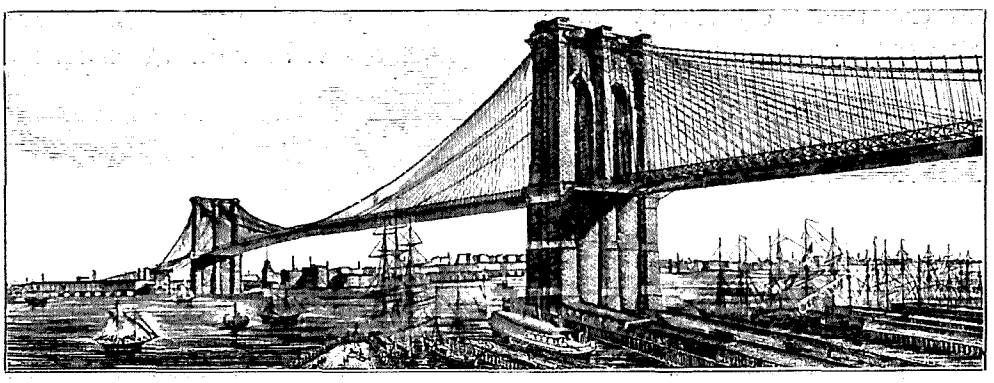


Рис. 72. — Мостъ черезъ рукавъ East-River р. Гудзона въ Нью-Іоркѣ.

метр. (1834 г.), Опортскій мостъ черезъ р. Дуэро въ 170 метр.; Ламбетскій мостъ въ Лондонѣ (1862 г.), три пролета по 85,34 метр.; въ этомъ мосту для увеличенія жесткости помѣщены кресты между смежными подвѣсками; мостъ черезъ р. Вилэнъ близъ Roche-Bernard пролетомъ 192,16 метр.; пятипролетный мостъ черезъ рѣку

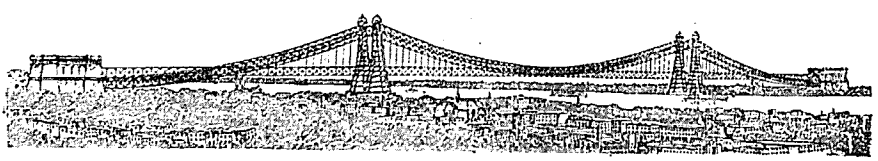


Рис. 73. — Проектъ висячаго моста черезъ р. Гудзонъ.

Дордонь близъ Кюбзака (1839 г.) при величинѣ каждаго пролета въ 109 метр.

Въ Россіи имѣется проволочно-капатный мостъ пролетомъ въ 41,7 саж., построенный въ 1836 году въ крѣпости Брестъ-Литовскѣ черезъ р. Зап. Бугъ. Другой такой же мостъ былъ построенъ въ Ново-Георгіевскѣ черезъ рѣку Нарову, но снесенъ высокой водой въ 1889 году.

Изъ проволочно-канатныхъ мостовъ, сооруженныхъ въ Европѣ за послѣднее время, слѣдуетъ упомянуть о мостѣ черезъ лощину Шеранъ въ Савойѣ при ве-

личинѣ пролета въ 73 метр., построенномъ въ 1888 году, и о мостѣ черезъ Сону въ Ліонѣ, сооруженномъ въ то же время (рис. 74); въ этомъ послѣднемъ для увеличенія жесткости примѣнено приспособленіе, рекомендуемое американцами, т. е. ванты, которыя, однако, въ отличіе отъ американскихъ образцовъ, полностью передаютъ опорамъ часть вѣса моста и нагрузки, такъ какъ въ той части моста, гдѣ они помѣщены, подвѣсокъ не имѣется. Въ настоящее время строится въ Буда-Пештѣ висячій цѣпной мостъ черезъ рѣку Дунай, съ пролетомъ въ 316 метр. (фиг. 88 табл. 10); ферма моста представляетъ соединеніе двухъ системъ—висячей и балочной. [Проектъ былъ составленъ въ видѣ висячаго канатнаго моста, но за невозможностью получить на мѣстныхъ заводахъ проволоку высокаго качества—канатъ замѣненъ цѣпью].

Отсутствіе достаточной жесткости въ висячихъ мостахъ заставляетъ вообще избѣгать пользованія ими для мостовъ подъ желѣзную дорогу, хотя въ Австріи

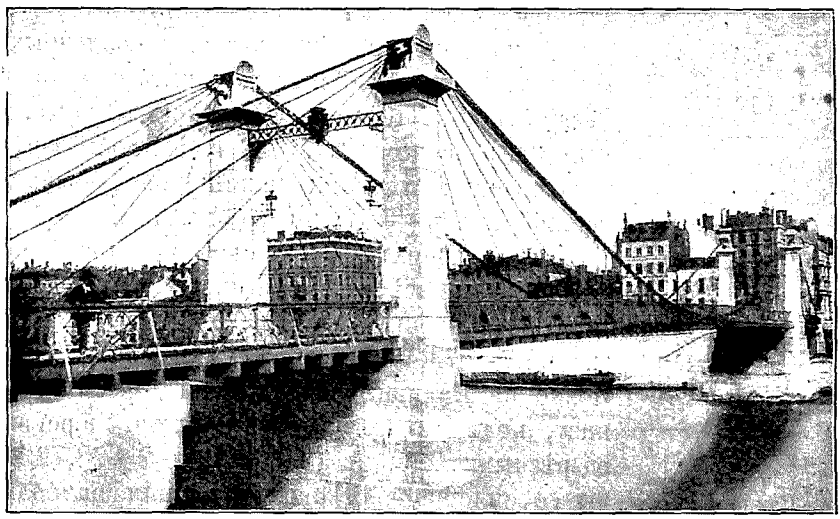


Рис. 74. — Мостъ черезъ р. Сону въ Ліонѣ.

и въ Америкѣ сдѣлано было нѣсколько попытокъ увеличить жесткость этихъ мостовъ. Такъ, напримѣръ, въ Америкѣ прогоны мостового полотна поддерживаются сверхъ того проволочными вантами, прикрѣпленными къ опорнымъ подушкамъ (мосты Ніагарскій и черезъ рѣку Огіо), или каждая изъ половинъ цѣпи пролета соединяется неразрывно съ жесткимъ поясомъ (мостъ черезъ р. Моноигаэла близъ Питсбурга). Вмѣсто одной цѣпи располагаютъ двѣ, одну надъ другою, и соединяютъ ихъ рѣшеткой (мостъ въ Вѣнѣ, черезъ каналъ рѣки Дуная, нынѣ разобранный, 88,45 метр.), или цѣпь дѣлаютъ не гибкою, склепывая ее съ раскосами и стойками на подобіе желѣзныхъ арочныхъ мостовъ (Майнскій и Дрезденскій мосты), или же, наконецъ, примѣняютъ составную ферму изъ висячей и балочной (Буда-Пештскій мостъ).

Наибольшее примѣненіе желѣза встрѣчается въ мостахъ такъ-называемой *балочной системы*, не производящей, въ отличіе отъ арочныхъ и висячихъ мостовъ, горизонтальнаго распора на опоры.

Желѣзные балочные мосты встрѣчаются: а) со сплошной стѣнкой, б) со сквозной стѣнкой и в) съ прямыми параллельными или криволинейными поясами.

Послѣ того, какъ чугунныя балки, вслѣдствіе недостаточнаго сопротивленія уда-

рамъ и изгибу, оказались непригодными для желѣзнодорожныхъ мостовъ, въ концѣ двадцатыхъ годовъ XIX вѣка стали переходить къ желѣзнымъ прокатнымъ сплошнымъ балкамъ двутавроваго сѣченія, предложеннаго Тредгольдомъ (1824 г.), и къ составнымъ, изъ сплошнаго вертикальнаго листа, склепаннаго по верхнему и нижнему ребру при помощи угловаго желѣза съ плоскими или выпуклыми листами.

Произведенные Ферберномъ и Годжкинсономъ (1845 г.) опыты надъ сопротивленіемъ балки двутавроваго и трубчатаго сѣченія показали, что послѣднія лучше сопротивляются боковымъ выпучиваніямъ, но при этомъ представляютъ бо́льшее затрудненіе при сборкѣ и менѣе доступны для осмотра. Недостаточное сопротивленіе боковому выпучиванію фермъ двутавроваго сѣченія было отчасти устранено приклепываніемъ жесткихъ стоекъ по высотѣ сплошной стѣнки. Развитіе каждой изъ этихъ системъ происходило почти одновременно; приверженцами трубчатаго сѣченія были Стефенсонъ и Фербернъ; напротивъ, Брюнель въ своихъ постройкахъ преимущественно пользовался двутавровымъ сѣченіемъ.

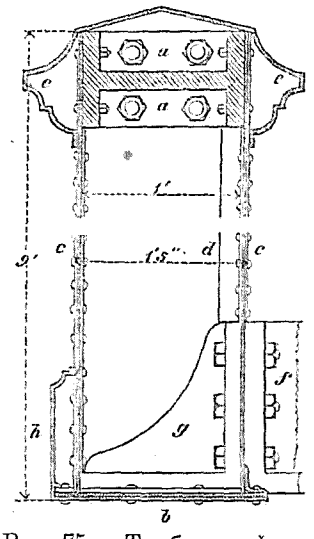


Рис. 75. — Трубчатая ферма віадука близъ Кэмдена съ чугуннымъ верхнимъ поясомъ.

Одинмъ изъ первыхъ желѣзныхъ балочныхъ мостовъ слѣдуетъ считать віадукъ черезъ желѣзную дорогу (North-Western) близъ Кэмдена, пролетомъ 18 метр., сооруженный Стефенсономъ въ 1846 г. Каждая ферма трубчатаго сѣченія; стѣнки и нижній поясъ — изъ желѣза, а верхній поясъ — чугунный (рис. 75).

Изъ большихъ мостовъ съ фермами съ одной сплошной стѣнкой извѣстны: Лангопскій трехпролетный мостъ черезъ р. Гаропну (1855 г.) съ неразрѣзными фермами ($2\times68{,}7+74{,}4$ мет.) и мостъ черезъ р. Нѣманъ близъ Ковно на Варшавской желѣзной дорогѣ съ ѣздою понизу, подъ два пути, въ 4 пролета, перекрытыхъ неразрѣзными фермами ($2\times70{,}52+2\times78{,}72$ мет.). Фермы со сплошной стѣнкой получили наибольшее примѣненіе въ желѣзнодорожныхъ мостахъ Франціи, Ганновера и Вюртемберга. Въ настоящее время, какъ главныя фермы, онѣ употребляются только для небольшихъ пролетовъ; въ мостахъ же значительныхъ пролетовъ балка со сплошной стѣнкой примѣняется лишь въ проѣзжей части моста.

Трубчатые мосты встрѣчаются двоякаго рода: 1) поперечное сѣченіе всего моста представляетъ полый прямоугольникъ или же 2) только каждая изъ фермъ моста имѣетъ форму трубы. Мостовъ первой категоріи немного, а именно: Конвэйскій (1848 г.), Менэйскій (мостъ «Британія») (1850 г.)—мосты на желѣзной дорогѣ изъ Честера въ Голигэдъ, и мостъ Викторія черезъ р. Св. Лаврентія въ Канадѣ (1859 г.). Наибольшій пролетъ четырехпролетнаго Менэйскаго моста $460'=65{,}7$ саж.; Конвэйскаго одиопролетнаго — $400'=57{,}1$ саж. и двадцатипятипролетнаго моста Викторія—$350'=47{,}1$ саж.; вся длина трубы перваго моста $1524'=217{,}7$ саж., второго—$424'=60{,}6$ саж., а третьяго—$9108'=1301{,}1$ саж. Въ проектированіи и постройкѣ двухъ первыхъ мостовъ принимали участіе: Робертъ Стефенсонъ (сынъ извѣстнаго Георга Стефенсона), Ферберпъ, Годжкинсонъ и Кларкъ. При постройкѣ желѣзной дороги изъ Честера въ Голигэдъ, англійское адмиралтейство поставило условіемъ, чтобы при пересѣченіи Менэйскаго пролива для прохода судовъ былъ оставленъ свободный промежутокъ въ $450'=64{,}3$ саж., при высотѣ моста надъ горизонтомъ высокихъ водъ въ 105 футъ $=15$ саж.

Первоначально Стефенсонъ полагалъ устроить чугунный арочный мостъ въ два пролета по 360′ = 51,4 саж. каждый, затѣмъ — трубчатую ферму, поддерживаемую въ нѣсколькихъ мѣстахъ кабелями, перекинутыми черезъ высокія опоры; окончательно же остановился онъ на трубѣ, свободно лежащей на онорахъ. Для опредѣленія наивыгоднѣйшей формы поперечнаго сѣченія Годжкинсонъ предпринялъ длинный рядъ опытовъ (стоившихъ обществу желѣзной дороги 6.530 фунтовъ

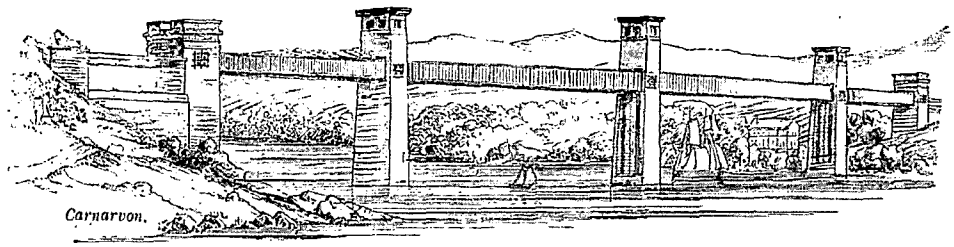


Рис. 76. — Общій видъ моста „Британія“.

стерлинговъ = 65.300 рублей). Изъ опытовъ выяснилось: а) что относительное сопротивленіе прямоугольнаго, эллиптическаго и круглаго сѣченій представляется числами: 7 : 5 : 4, и б) что верхній желѣзный поясъ долженъ имѣть бо́льшее сѣченіе сравнительно съ нижнимъ иоясомъ. Послѣ этого, когда остановились на прямоугольномъ сѣченіи, сдѣлана была модель въ $^1/_6$ настоящей длины, и опытнымъ иутемъ опредѣлеиы сѣченія верхняго и нижняго поясовъ (верхній поясъ имѣлъ однообразное сѣченіе, а нижній — постепенно увеличивающееся къ средниѣ пролета). При установкѣ моста вполнѣ

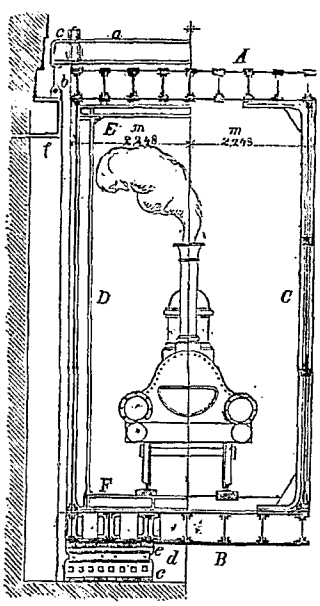


Рис. 77.— Поперечное сѣченіе фермъ моста „Британія“.

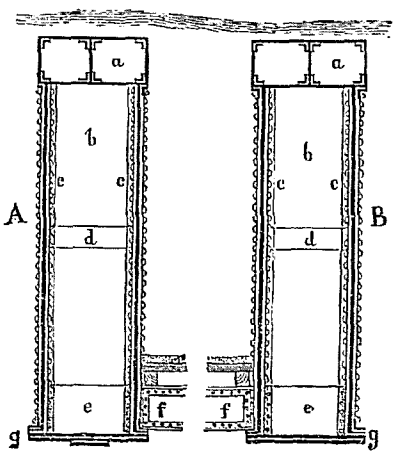


Рис. 77′.—Трубчатая ферма моста черезъ р. Трентъ съ желѣзнымъ верхнимъ поясомъ.

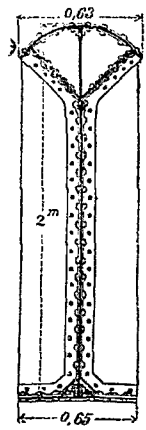


Рис. 78.—Ферма типа Брюнеля.

склепанныя фермы вѣсомъ 2300 тон. были подняты гидравлическими прессами на высоту 40 метр. Проектъ моста Викторія составленъ былъ Morton'омъ и Ross'омъ; для оцѣнки проекта Стефенсонъ былъ спеціально вызванъ въ Америку (1853 г.). На (рис. 76) изображенъ общій видъ моста Британія и на рис. 77— поперечное сѣченіе этого моста.

Отдѣльныя фермы трубчатаго сѣчснія встрѣчаются въ мостахъ меньшаго пролета. Въ мостахъ, построенныхъ по этой системѣ Стефенсономъ, верхніе пояса почти

исключительно чугунные, какъ напр. вышеуказанный мостъ близъ Кэмдена (рис. 75) на желѣзной дорогѣ North-Western, пролетомъ 18 метр.=8,46 саж. и желѣзнодорожный мостъ въ Нью-Кэстлѣ, пролетомъ 27 метровъ = 12,69 саж. Производившіеся въ то время опыты по поводу постройки моста «Британія» доказали

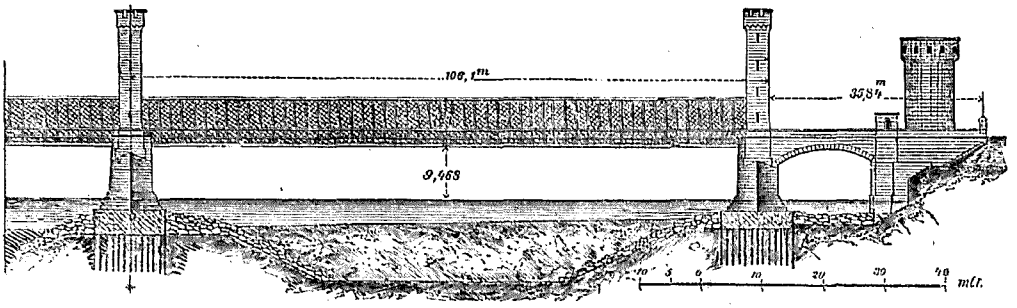


Рис. 79. — Старый мостъ черезъ р. Ногатъ близъ Маріенбурга.

непригодность чугуна для мостовъ и достаточное сопротивленіе желѣза сжатію, при приданіи сжимаемымъ частямъ жесткаго сѣченія. Это побудило Ферберна предложить употребленіе желѣза и для верхнихъ поясовъ, при чемъ они должны быть составлены въ видѣ трубчатаго сѣченія, какъ напр. мостъ черезъ р. Трентъ на желѣзной дорогѣ Манчестеръ-Шеффильдъ, пролетомъ 39,62 метр. = 18,62 саж. (рис. 77′), и городской мостъ въ Мельбурнѣ, пролетомъ 200 фут. = 28,57 саж. Въ настоящее время мосты съ трубчатыми фермами почти ие строятся; къ числу недавно построенныхъ мостовъ съ фермами этой системы принадлежитъ мостъ черезъ рѣку Книппельброо въ Даніи (1867 г.), пролетъ 100,5 фут. = 14,36 саж. (фиг. 26 *a*, таб. 4).

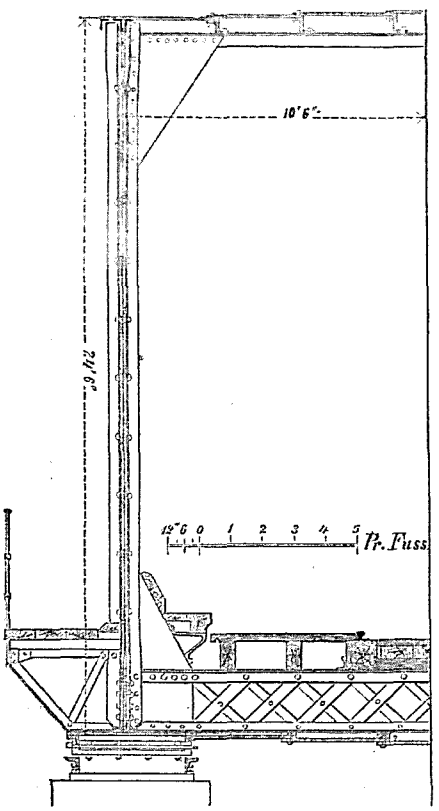


Рис. 80.—Сѣченіе стараго моста черезъ р. Ногатъ въ Маріенбургѣ.

Какъ указано было выше, Брюиель примѣнялъ обыкновенно для мостовыхъ фермъ сплошное двутавровое сѣченіе, причемъ нерѣдко верхній поясъ дѣлалъ не плоскимъ, а выпуклымъ, или придавалъ ему треугольное сѣченіе. По этому же типу построилъ Флаше въ 1851 г. косой мостъ иа Западной жел. дорогѣ (рис. 78) при пересѣчеиіи шоссе изъ Парижа въ Аржеитейль.

Заимствованные изъ Америки деревянные рѣшетчатые мосты (Тауна) послужили образцомъ для постройки по той же системѣ желѣзныхъ мостовъ. Виачалѣ устраивались желѣзные рѣшетчатые мосты съ плоскими взаимно пересѣкающимися раскосами одипаковаго сѣченія [мостъ черезъ каналъ «Royal» на желѣзной дорогѣ изъ Дублина въ Дрогеду, съ наибольшимъ пролетомъ въ 42,67 метр. = 20,06 саж. (1845 г.)]; затѣмъ раскосамъ, оставляя ихъ плоскими, придавали неодинаковое сѣченіе, бо́льшее къ опорамъ, съ помѣщеніемъ добавочныхъ стоекъ для жесткости, напр. старый Диршаускій мостъ черезъ р. Вислу, шесть пролетовъ по 121,13 метр., Ма-

ріенбургскій черезъ р. Ногатъ, два пролета по 87,9 метр., замѣчательный еще тѣмъ, что верхнія и нижнія связи состоятъ изъ сплошного перекрытія (рис. 79 и 80) *); Кельнскій мостъ; большинство мостовъ Варшавской желѣзной дороги — черезъ р. Нѣманъ у Гродно (2 × 58,41 + 69,00 метр.); Западный Бугъ (2 × 52,01 + + 3 × 59,16 метр.); Нарову (2 × 52,52 + 63,59 метр.); Западную Двину

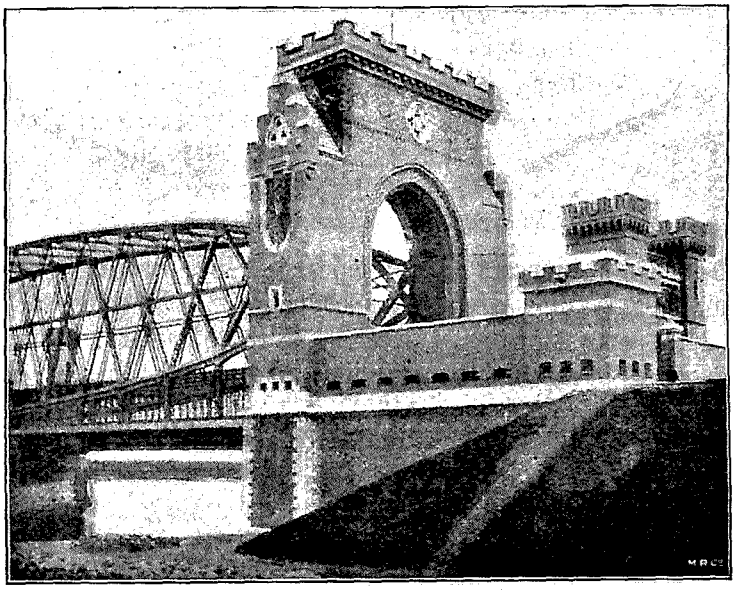


Рис. 81. — Новый мостъ черезъ р. Ногатъ въ Маріенбургѣ.

(3 × 85,24 метр.); р. Великую (86,17 метр.). Что же касается моста на той же дорогѣ черезъ р. Лугу (2×55,2 метр.), проектированнаго инженеромъ Кербедземъ, то въ немъ одна система раскосовъ плоская, а другая—жесткая (рис. 82).

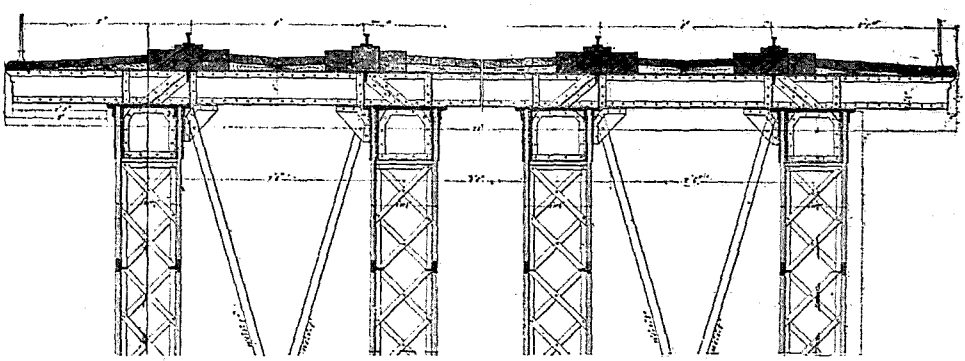


Рис. 82. — Мостъ черезъ р. Лугу на Варшавской жел. дорогѣ.

Впослѣдствіи одну изъ системъ раскосовъ стали дѣлать жесткою, а другую — плоскою, (Фрейбургскій мостъ 1857—1862 г.г., наибольшій пролетъ 48,8 метра = = 22,93 саж., Гранскій мостъ въ Венгріи 1858 г., наибольшій пролетъ 50,56 метра = 23,76 саж.; Волжскій мостъ на Рыбинско-Бологовской желѣзной дорогѣ

*) Рядомъ съ этими мостами построены въ 1889—1892 гг. вторые мосты съ двумя криволинейными поясами при величинѣ отдѣльныхъ пролетовъ въ 129 метр. (рис. 81). Въ этихъ мостахъ проѣзжая часть подвѣшена къ узламъ фермъ помощью жесткихъ подвѣсокъ.

1869 — 1871 г.г. (2 × 14,60 + 2 × 40,00 + 2 × 49,50 саж.); второй мостъ черезъ р. Вислу въ Варшавѣ, наибольшій пролетъ 220 футъ = 31,43 саж. (1876 г.); Кременчугскій мостъ черезъ р. Днѣпръ, длиною 451 саж., 11 пролетовъ по 41 саж.

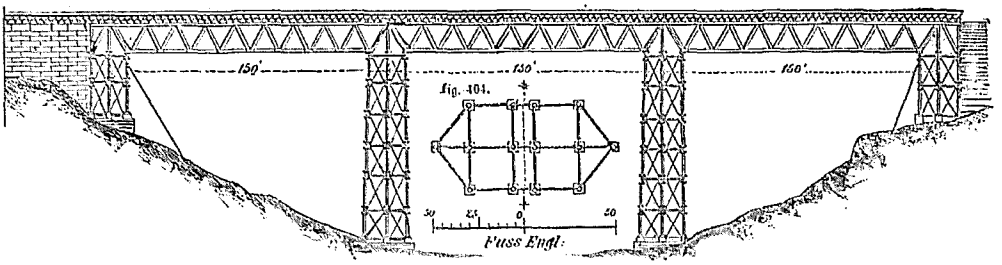


Рис. 83. — Крумлинскій віадукъ.

каждый (1870—1871); Кіевскій мостъ черезъ р. Днѣпръ (12 × 40 саж.); Мстинскій мостъ (по проекту инженера Бѣлелюбскаго) въ 4 пролета, изъ нихъ два крайнихъ по 34,5 саж. и два среднихъ по 35 саж. каждый (1881 г.); или, наконецъ, объ системы раскосовъ проектировали жесткими (віадукъ Иглава въ Мо-

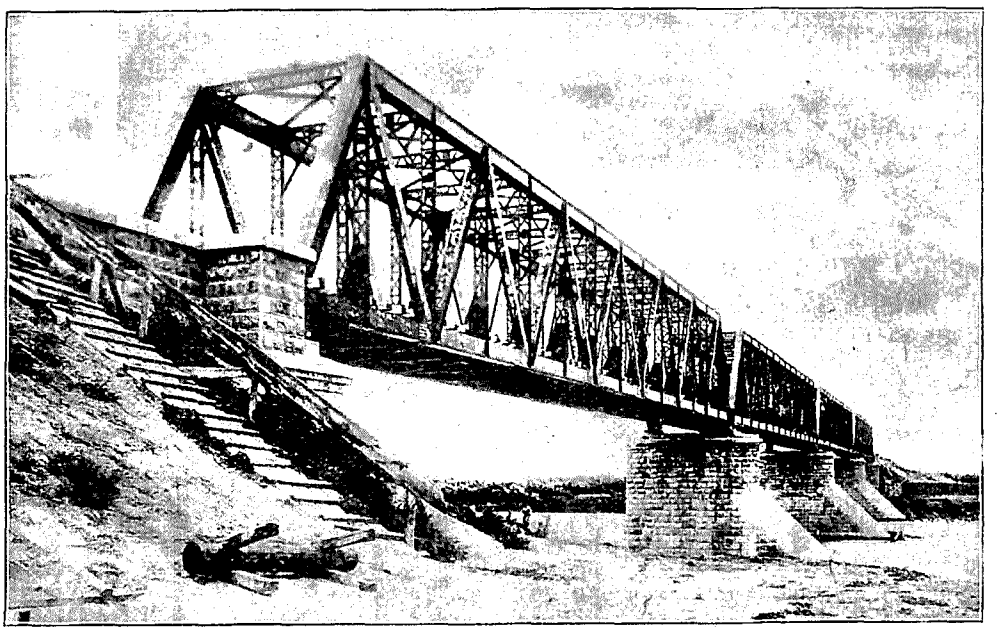


Рис. 84. — Мостъ черезъ р. Кію на Средне-Сибирской жел. дорогѣ.

равіи); мостъ черезъ р. Допъ на Ростово-Владикавказской жел. дорогѣ (1873—1874 г.г.), проектированный и сооруженный инженеромъ Зубовымъ, 4 пролета по 27 саж. и одинъ пролетъ въ 28 саж.

Къ группѣ мостовъ съ двумя системами наклонныхъ раскосовъ безъ стоекъ относится треугольная система Невилля (1846 г.), улучшенная впослѣдствіи Варреномъ (1849 г.); сюда ирипадлежатъ: Треитскій мостъ на большой Сѣверіой жел. дорогѣ (Great-Northern-Railway) въ Англіи (1851 г.), пролетомъ 73,3 метра=34,45 саж.; Крумлинскій віадукъ въ южномъ Валлисѣ (1853 г.), съ наибольшимъ пролетомъ 45,72 мет. = 21,48 саж. (рис. 83). По системѣ Варрена съ промежуточными стойками и стяжками и безъ нихъ—построено въ послѣдиее время въ Россіи много

моетовъ на Средне-Сибирской и Бологое-Псковской, Рязанско-Уральской и Кіево-Воронежской дорогахъ съ пролетами до 25 саж. На рис. 84 изображенъ мостъ черезъ р. Кію на Средне-Сибирской жел. дорогѣ, близъ города Маріинска, 4 пролета по 30 саж.

Замѣна одной изъ системъ наклонныхъ раскосовъ вертикальными стойками, предложенная въ первый разъ Моніэ (1858 г.), получила очень большое развитіе въ началѣ 60-хъ годовъ послѣ постройки моста Юмиа въ Индіи (1861 г.)— 14 пролетовъ по 62,48 метра = 29,36 саж. По этой системѣ съ параллельными поясами построенъ мостъ черезъ р. Изаръ близъ Мюнхена съ наибольшимъ пролетомъ въ 50,208 метра = 23,6 саж.; мостъ черезъ р. Дунай близъ Ингольштадта, наибольшій пролетъ 52,56 метра = 24,7 саж.; Волжскій мостъ на Оренбургской желѣзной дорогѣ, по проекту инженера Бѣлелюбскаго, 13 пролетовъ по 50 саж.; мосты черезъ р. Днѣпръ въ Екатеринославѣ, 15 пролетовъ по 49 саж. и черезъ р. Вислу на Ивангородо-Домбровской желѣзной дорогѣ, 5 пролетовъ по 40 саж. (Большинство желѣзнодорожныхъ мостовъ, построенныхъ въ Россіи, принадлежитъ къ этой системѣ).

Кромѣ фермъ съ горизонтальными параллельными

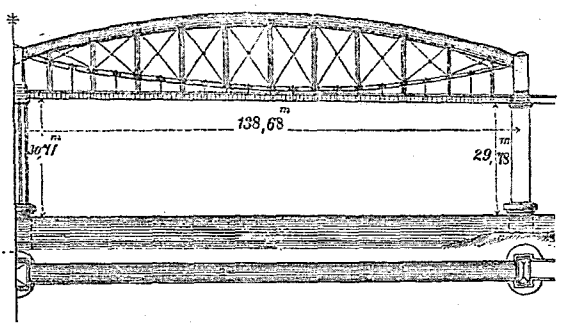


Рис. 85. — Фасадъ моста черезъ р. Tamar близъ Saltash.

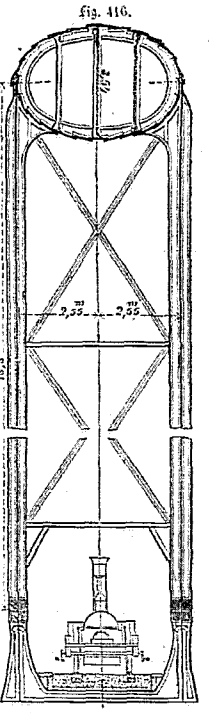


Рис. 86.—Поперечное сѣченіе моста черезъ р. Tamar.

поясами встрѣчаются фермы съ поясами, расположенными по кривой, при чемъ оба пояса нерѣдко сходятся на опорѣ въ одной точкѣ. Сюда относится цѣлая группа фермъ: параболическихъ, гиперболическихъ, полупараболическихъ, Паули, Лозе и проч.

Первые мосты съ параболическими фермами были повидимому построены въ Англіи—Брюнелемъ, а именно: Виндзорскій мостъ черезъ р. Темзу (1849 г.) пролетомъ въ 60,96 метр. Около того же времени (1857—1859 г.г.) былъ построенъ Брюнелемъ параболическій мостъ черезъ р. Tamar близъ Saltash'a, недалеко отъ Плимута (2 × 138,68 метр.) (рис. 85 и 86). Къ особенностямъ этого моста относится то, что верхній поясъ — общій для обѣихъ фермъ и имѣетъ форму эллипса; нижній поясъ состоитъ изъ звеньевъ; къ узламъ фермъ подвѣшена вдоль всего моста балочная со сплошной стѣнкой ферма—двутавроваго сѣченія съ выпуклымъ верхнимъ поясомъ. Въ Россіи имѣется также достаточное число мостовъ съ параболическими фермами, какъ напр. мостъ черезъ р. Днѣпръ по Лунинецъ-Гомельской жел. дорогѣ (рис. 87) (4 × 35 саж.); мостъ черезъ р. Великую на Псково-Рижской жел. дорогѣ (3 × 30 саж.); мосты черезъ р. Припять (35 саж.)

и черезъ р. Днѣстръ у Могилева (3×35 саж.) на Юго-Западныхъ ж. дорогахъ; нѣсколько моетовъ на Средне-Сибирской, Рязанско-Уральской и на Карсской жел. дорогахъ (рис. 88) и проч. На послѣдиемъ рисуикѣ показана ферма, поставленная на платформы для перевозки на мѣсто установки.

Гиперболическія фермы, извѣстныя болѣе подъ именемъ фермъ системы Шведлера, были въ первый разъ примѣнены (1863 г.) для моста черезъ р. Везеръ близъ

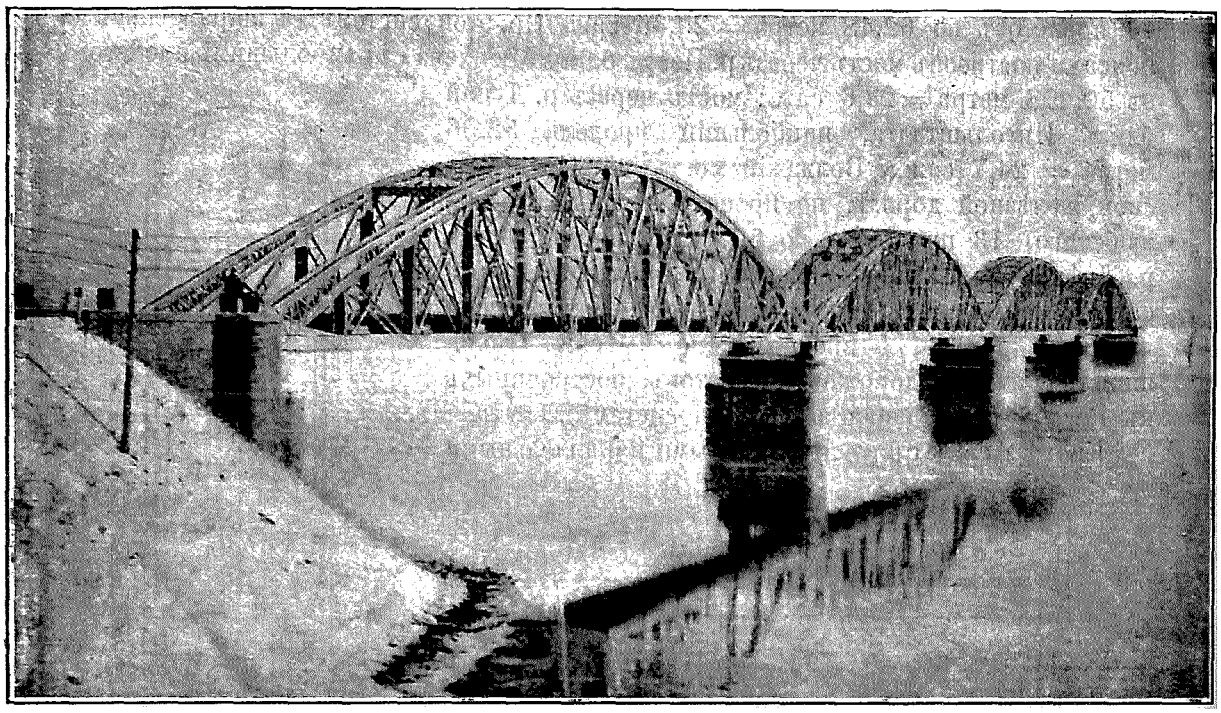


Рис. 87.—Мостъ черезъ р. Днѣпръ на Лунинецъ-Гомельской ж. д. съ параболическими фермами.

Корвэй (4×56,48 метр.) (рис. 89). Формы эти получили распространеніе и у насъ въ Россіи — на Харьково-Николаевской, Московско-Ярославской и Московско-Брестской желѣзныхъ дорогахъ. Такъ, на первой дорогѣ, гдѣ эта система впервые

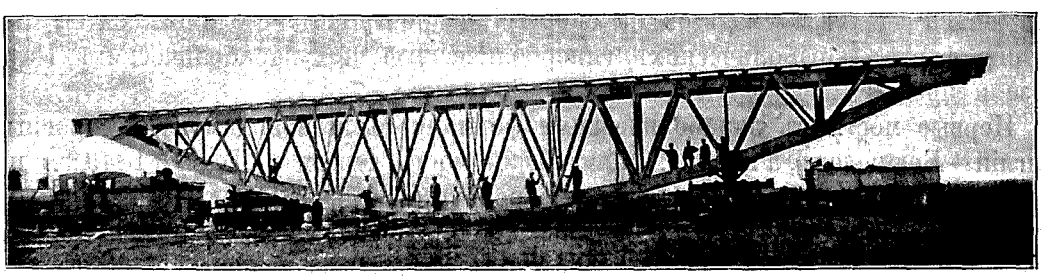


Рис. 88. — Параболическая ферма одного изъ мостовъ на Карской жел. дорогѣ.

примѣнена въ Россіи, имѣются: путепроводъ въ Харьковѣ (1×15 сак.) (1871 г.), мостъ черезъ р. Уду (1×20 саж.) (1871 г.) и черезъ р. Коломакъ (2×15,3 саж.) (1870 г.); на второй дорогѣ: мосты черезъ р. Устье и Которосль по одному пролету въ 30 саж., и на Московско-Брестской ж. дорогѣ мосты черезъ р. Березину (3 × 25 саж.) 1871 г., черезъ р. Нѣманъ (2 × 22,50 сак.) 1874 г., черезъ

р. Ясельду (1 × 22,50 саж.) 1874 г. Въ 1898 году построенъ, по проекту инженера Проскурякова, мостъ черезъ рѣку Енисей (рис. 90 и 91) на Средне-Сибирской жел. дорогѣ (6 × 65 саж.) съ фермами этой системы, но съ примѣненіемъ дополнительныхъ подвѣсокъ; замѣтимъ, что 65 саж. представляетъ наибольшій про-

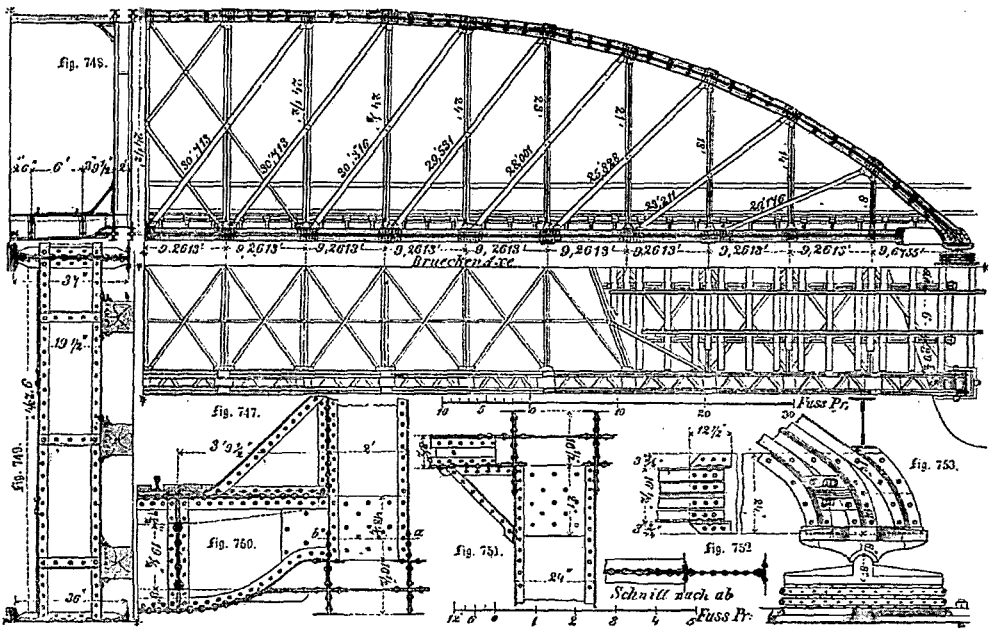


Рис. 89. — Мостъ черезъ р. Везеръ съ фермами системы Шведлера.

лстъ въ мостахъ балочной системы, построенныхъ въ Россіи. Въ настоящее время строится по этой же системѣ мостъ черезъ р. Оку на Павелецъ-Московской жел. дорогѣ, 4 пролета по 58,43 саж.

Полупараболическія металлическія фермы появились впервые въ Голландіи, въ концѣ 60-хъ годовъ, хотя сходные съ этимъ типы встрѣчались еще ранѣе въ



Рис. 90. — Мостъ черезъ р. Енисей на Средне-Сибирской жел. дорогѣ.

деревянныхъ мостахъ, какъ напр. въ мостѣ черезъ р. Делаваръ системы Макъ-Каллума, а также въ построенномъ Брюнелемъ въ 1861 г. мосту, подъ два пути, черезъ р. Wye близъ Чепстоу (Chepstow-bridge) (рис. 92 и 93), съ однимъ пролетомъ въ 91,44 мет. и тремя пролетами по 30,48 мет. Большой пролетъ перекрывается фермами полупараболической системы оригинальнаго устройства. Нижній поясъ состоитъ изъ трехъ фермъ двутавроваго сѣченія, а верхній — только изъ

двухъ криволинейныхъ трубъ круглаго сѣченія. Этотъ мостъ, въ отношеніи устройства одного общаго верхняго пояса при двухъ отдѣльныхъ нижнихъ поясахъ, напоминаетъ мостъ черезъ р. Tamar (рис. 76), построенный двумя годами раньше, хотя во всемъ остальномъ не имѣетъ съ нимъ ничего общаго. Какъ на одинъ изъ

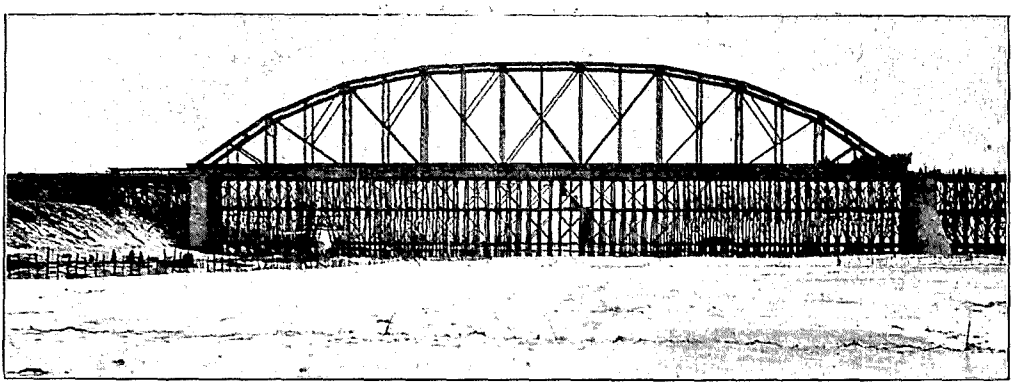


Рис. 91. — Мостъ черезъ р. Енисей (фермы Шведлера).

первыхъ (1863—1868 г.) полупараболическихъ моетовъ, слѣдуетъ указать на мостъ черезъ р. Лекъ у Квилеибурга въ Голландіи (фиг. 54, таб. 7) съ наибольшимъ пролетомъ въ 150 метр. = 70,5 саж., что представляетъ въ Европѣ едва ли не наибольшій изъ пролетовъ, перекрытыхъ балкой на двухъ опорахъ. Одновременно съ

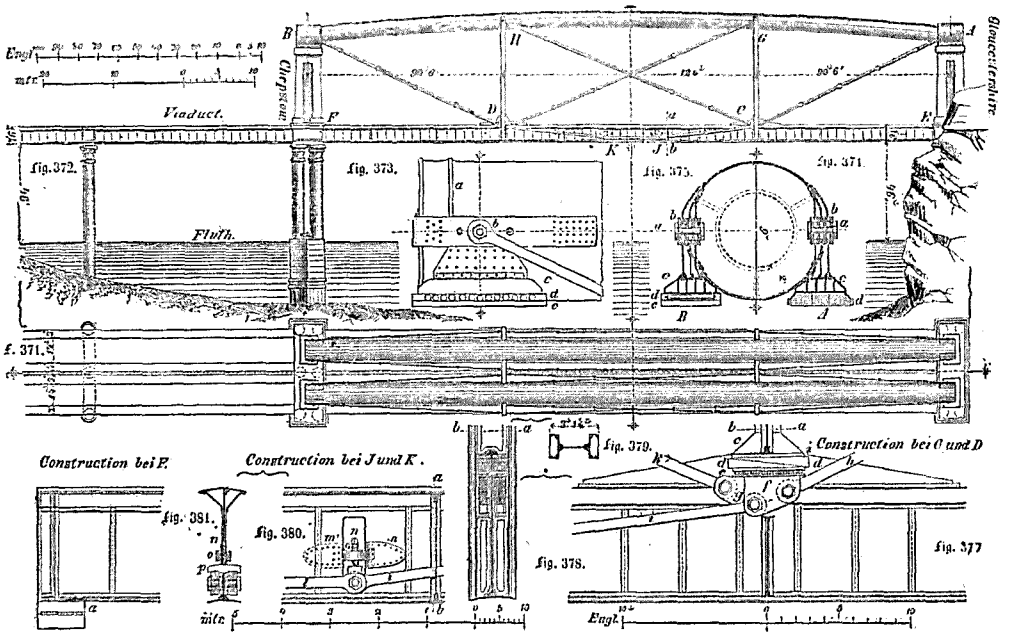


Рис. 92. — Мостъ черезъ р. Wye близъ Chepstow.

этимъ мостомъ былъ построенъ въ Голландіи же мостъ черезъ р. Ваалъ близъ Бомеля, 3 пролета по 120 метр. и восемь пролетовъ по 57 метр., перекрытыхъ фермами съ параллельными поясами. Вслѣдъ за симъ система эта получила большое распространеніе за границей, особенно въ Германіи; сюда относится построенный въ недавнее время мостъ черезъ рѣку Вислу близъ Фордоиа (1893 г.) (4×100+

+ 13×62 метр.). Въ Россіи эта система получила примѣненіе съ сквознымъ заполненіемъ, какъ раскосной, такъ и рѣшетчатой системъ. Сюда относятся: мостъ черезъ рѣку Псёлъ на Харьково-Николаевской жел. дорогѣ (4×21 саж.)— три пролета въ 1870 году и четвертый въ 1884 году; одинъ изъ пяти пролетовъ моста черезъ рѣку Иигулецъ на Екатерининской желѣзной дорогѣ при величинѣ пролета 45 саженъ (1883 г.), остальные четыре пролета по 25 саженъ—перекрыты рѣшетчатыми фермами; мостъ черезъ р. Уводь на Шуйско-Ивановской жел. дорогѣ съ пролетомъ въ 50 саж.; мостъ черезъ р. Волгу на Ржево-Вяземской ж. д. (50 саж.); мосты на Юго-Западныхъ жел. дорогахъ черезъ р. Муховецъ (45 саж.), р. Быкъ (45 саж.), р. Бугъ (2×40 саж.); мосты на Самаро-Златоустовской ж. д. черезъ р.р. Бѣлую (6×50 саж.), Уфу (3×50 саж.), по проектамъ инженера Вѣлелюбскаго, и Юрезань (40 саж.); на Сибирской жел. дорогѣ черезъ р.р. Тоболъ (4×50 саж.), Ишимъ (2×50 саж.), Иртышъ (6×50 саж.), Обь (3×69,5 + 4×41 саж.) (рис. 94), Томь (6×40 саж.) (рис. 95), Ію (2×40 саж.), Бирюссу (4×40 саж.), Уду (2×40 + 2×50 саж.), Оку (3×40 + + 2×50 саж.); на Уссурійской ж. д. черезъ р. Уссури (3×40 с.) 1895 г. и проч.

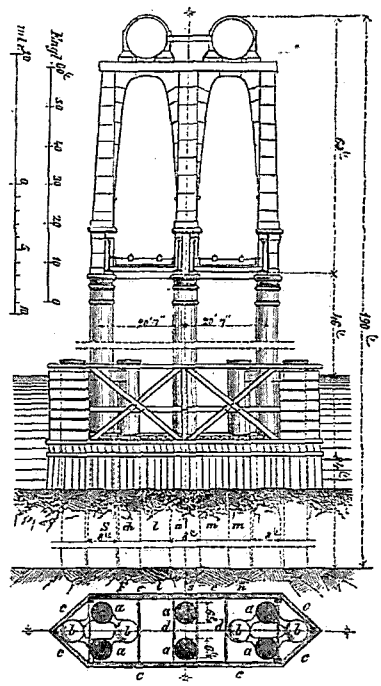


Рис. 93.— Опоры моста черезъ р. Wye.

Мостовъ съ фермами Паули, или усовершенствованной системы Laves—сравнительно не много. Фермы этого типа были предложены въ 1856 г. и въ первый разъ примѣнены въ 1857 г. для моста черезъ р. Изаръ (2×26,56 + 2×52,57 метр.); наиболѣе

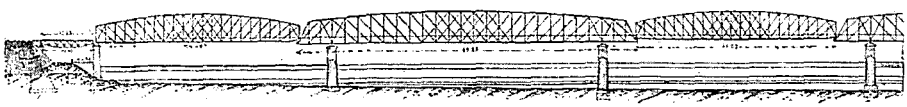


Рис. 94.— Мостъ черезъ р. Обь на Западно-Сибирской жел. дорогѣ.

извѣстенъ мостъ черезъ рѣку Рейнъ близъ Майнца (4×101,29 м. + 6×35,5 м. + 13×15 м. + 2×25 м. + 7×15 м.).

Мосты съ фермами Лозе (рис. 95) встрѣчаются лишь въ двухъ случаяхъ, а именно мосты черезъ р. Эльбу близъ Гамбурга (3×99,16 метр.) и близъ Гарбурга.

Послѣ грандіознаго примѣра неразрѣзныхъ фермъ трубчатаго сѣченія (мостъ «Британія»), неразрѣзныя балочныя фермы, представляющія нѣкоторое сбереженіе въ матеріалѣ и удобство установки, путемъ накатки, получили большое распространеніе, при чемъ идея неразрѣзной балки примѣнялась не только къ фермамъ трубчатаго сѣченія (мостъ «Викторія»), но и къ фермамъ со сплошной стѣнкой (Лангоискій и Ковенскій мосты) а также къ фермамъ со сквозной стѣнкой и преимущественно съ параллельными поясами. Напр., Кёльнскій мостъ черезъ р. Рейнъ (4×98,22 метр.), при чемъ каждые два смежные пролета перекрыты

неразрѣзной фермой; Волжскій мостъ на Рыбинско-Бологовской ж. д. съ неразрѣзными фермами о четырехъ пролетахъ; большинство мостовъ на Варшавской ж. д. и т. д. Присущій этимъ фермамъ недостатокъ, въ смыслѣ крайней чувствительности къ измѣненію относительнаго положенія высоты опоръ, вызвалъ появленіе особаго типа фермъ (Gerber'a), обладающихъ преимуществомъ неразрѣзныхъ фермъ,

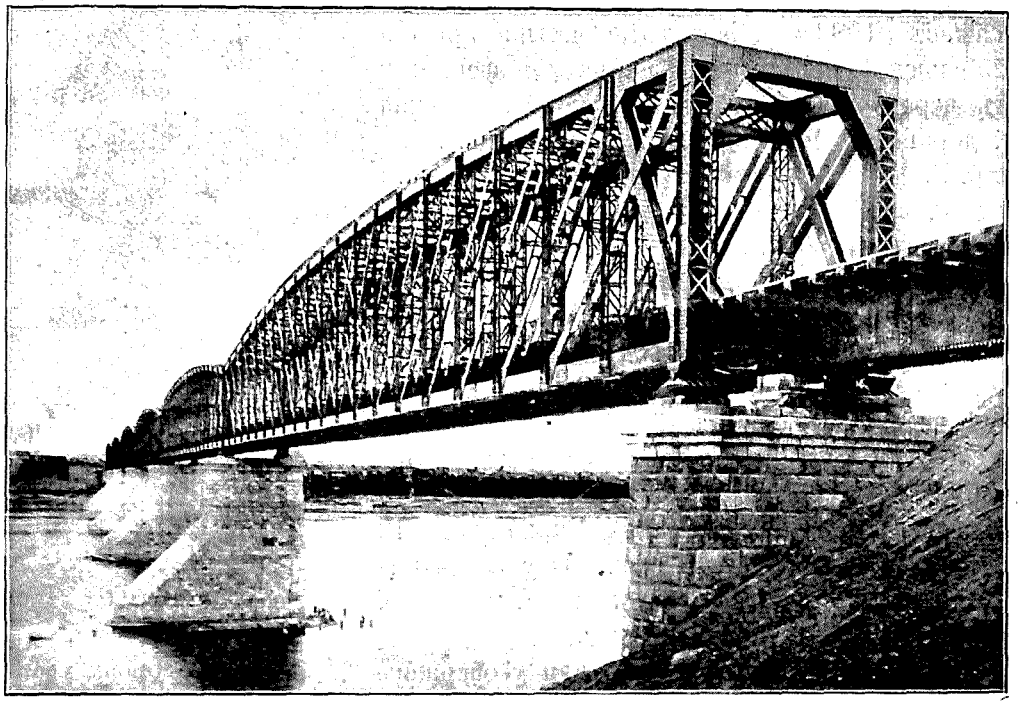


Рис. 95. — Мостъ черезъ р. Томь на Средне-Сибирской желѣзной дорогѣ съ фермами полупараболической системы.

относительно сбереженія матеріала, но не имѣющихъ ихъ недостатковъ и позволяющихъ перекрывать весьма значительные пролеты.

Въ 1860 г. Ritter разсматривалъ съ теоретической стороны возможность помѣщенія шариировъ въ нѣкоторыхъ сѣченіяхъ неразрѣзной балки. Затѣмъ, нѣ-

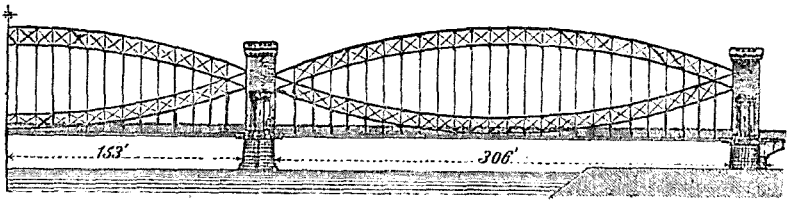


Рис. 96. — Мостъ черезъ р. Эльбу съ фермами системы Лозе.

сколько позже Gerber (1866 г.) и инженеръ Семиколѣповъ (1871 г.) предложили особый типъ балочныхъ фермъ, въ которыхъ часть пролетовъ перекрывается фермами со свѣсами, служащими въ свою очередь опорами для поддержанія свободно опирающихся на нихъ фермъ. Пользованіе свѣсами какъ опорами, позволяющими перекрывать пролетъ балками меньшей длины, чѣмъ пролетъ,—явленіе обычное, наблюдавшееся, какъ въ первобытныхъ переходахъ черезъ овраги, устраивавшихся напр. горцами на Кавказѣ, индѣйцами въ Америкѣ (рис. 97), такъ и въ деревянныхъ балочныхъ мостахъ простѣйшаго типа (подбалки, не подпертыя под-

косами, на которыя опираются прогоны), а также въ каменныхъ постройкахъ (перекрытіе напускомъ). Наиболѣе древнимъ мостомъ, гдѣ примѣненъ этотъ принципъ, считаютъ деревянный мостъ въ Тибетѣ, длиною 112 ф., описаніе котораго составлено было въ 1783 г. лейтенантомъ Дэвисомъ. Въ отношеніи металлическихъ фермъ, иоиятіе о «свѣсахъ», не въ смыслѣ примѣненія, но какъ объясненіе работы матеріала въ неразрѣзныхъ фермахъ, встрѣчается въ первый разъ въ составленномъ Clark'омъ описаніи (1850 г.) трубчатаго моста «Британія». Для объясненія распредѣленія усилія въ неразрѣзной фермѣ онъ предиолагалъ средніе пролеты моста какъ бы разрѣзанными и состоящими изъ трехъ частей: изъ средней балки

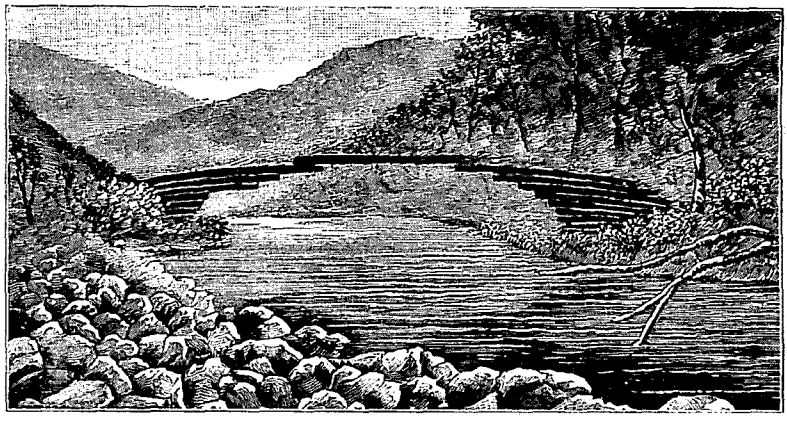


Рис. 97. — Мостъ въ Перу.

и двухъ свѣсовъ (cantilever), на которые она опирается. Названіе «Cantilever», присвоенное въ архитектурѣ выступающему изъ-за стѣны зданія концу бруса, поддерживающаго стропила, заимствовано съ итальянскаго и передѣлано въ свою очередь изъ латинскаго слова: «Cantilabrum», озиачающаго коиецъ бревна.

Первымъ мостомъ съ уравновѣшенными фермами, или съ фермами со свѣсами, съ консолями, или, какъ ихъ обыкновенно называютъ, съ фермами Гербера, слѣ-

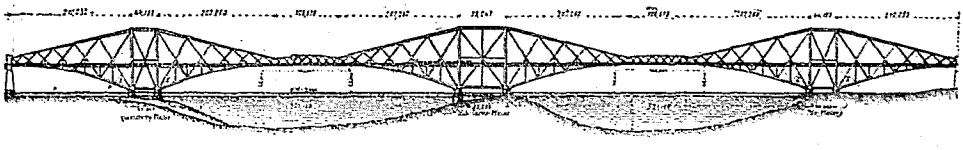


Рис. 98. — Фортскій мостъ.

дуетъ считать мостъ черезъ р. Дунай близъ Vilshof'а въ Баваріи (1872 г.), затѣмъ мостъ черезъ рѣку Майнъ у Гасфурта, мостъ черезъ рѣку Варту (1875 г.). Наиболѣе грандіознымъ мостомъ этой системы представляется мостъ черезъ рѣку Firth of Forth въ Шотландіи (рис. 98), сооруженный въ 1883—1890 г. Fowler'омъ и Backer'омъ, съ двумя средними пролетами по 521 метр.—величина, которая до сихъ поръ еще иигдѣ не превзойдена. Изъ мостовъ этой системы, построенныхъ въ послѣднее время, упомянемъ о слѣдующихъ: мостъ черезъ р. Дунай близъ Черноводъ въ Румыніи (1895 г.), съ среднимъ пролетомъ въ 190 метр. и съ боковыми пролетами въ 140 метр. (рис. 99); мостъ Франца-Іосифа черезъ р. Дунай въ Буда-Пештѣ (1896 г.), съ среднимъ пролетомъ въ 175 метр. (рис. 100). (По этому типу строится теперь мостъ черезъ р. Волгу въ Твери). Въ Россіи эта си-

стема также примѣнена въ нѣсколькихъ случаяхъ, напр. мостъ черезъ р. Днѣстръ у Рыбницы на Юго-Западныхъ жел. дорогахъ, средній пролетъ 48 саж. и два крайніе по 43,5 саж.; мостъ черезъ р. Обь на Западно-Сибирской ж. д. (рис. 94) $3\times69{,}5+4\times41$ саж., причемъ пролеты въ 69,5 саж. перекрыты двумя консолями и соединительной фермой; мостъ черезъ р. Ловать на Бологое-Псковской ж. дорогѣ (3×35 саж.) (рис. 101) и проч. Затѣмъ, иногда свѣсы (консоли) ие со-

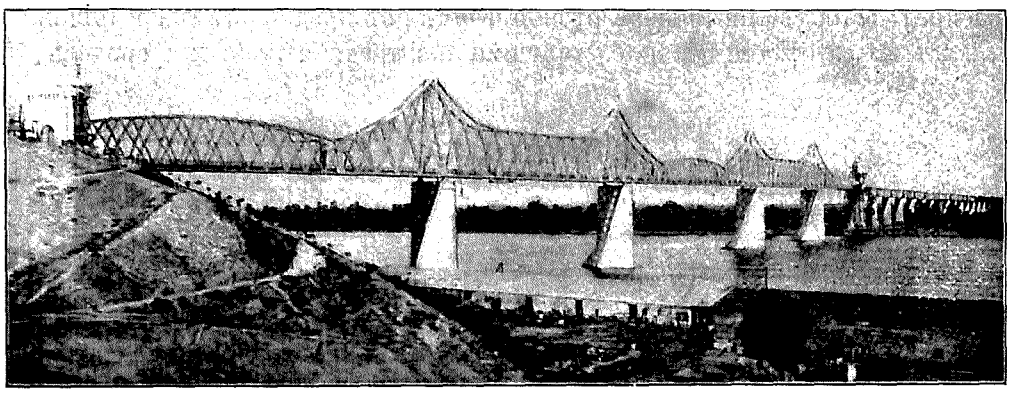


Рис. 99. — Мостъ черезъ р. Дунай близъ Чернаводъ.

ставляютъ одного цѣлаго съ сосѣдней фермой, а, имѣя точку вращенія на опорѣ, прикрѣплены къ ней помощью тяги, перекинутой черезъ высокія опорныя стойки, какъ это напр. принято въ Мангеймскомъ мосту черезъ Неккаръ (рис. 102). (По этому типу строится теперь мостъ черезъ р. Волховъ въ Новгородѣ).

Такимъ образомъ въ Европѣ, какъ мы видѣли, уже въ сороковыхъ годахъ вопросъ о выборѣ чугуна или желѣза для фермъ балочной системы былъ рѣшенъ въ пользу желѣза. Введенная въ двадцатыхъ годахъ балка со сплошною

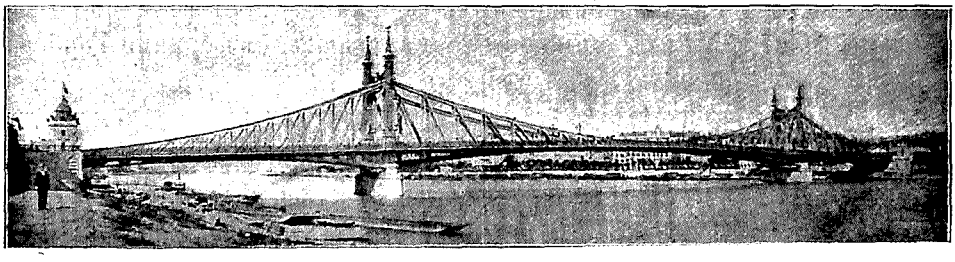


Рис. 100. — Мостъ Франца-Іосифа черезъ р. Дунай въ Буда-Пештѣ.

стѣнкой была постепенно вытѣснена желѣзными балками со сквозной стѣнкой различныхъ системъ, при чемъ всѣ отдѣльныя части фермы соединялись между собою помощью заклепокъ.

Въ Америкѣ же довольно долго сохранялось одновременное употребленіе дерева и желѣза (рис. 44), чугуна и желѣза, что явилось слѣдствіемъ нѣсколькихъ причинъ: а) лучшаго качества американскаго строеваго лѣса, чугуна и б) необходимости быстрой и легкой сборки мостовъ.

Характерную черту американскихъ типовъ фермъ составляетъ широкое примѣненіе болтовыхъ соединеній. Такъ, системы Джоиса, Ридера, Виипля, Линвилля, Поста, измѣиенная система Варрена, Пети отличаются главнымъ образомъ тѣмъ,

что заклепки употреблены въ очень ограниченномъ количествѣ и замѣнены болтами; части, подвергающіяся сжатію, сдѣланы изъ чугуна, а вытягиваемыя части—изъ полосоваго желѣза. Большинство американскихъ типовъ моетовыхъ фермъ, носящихъ названіе лицъ, предложившихъ эти системы, представляютъ не что иное, какъ видоизмѣненіе одного и того же типа и большею частью типа фермъ съ двумя системами наклонныхъ раскосовъ, или же раскосовъ и стоекъ или стяжекъ. Сначала встрѣчаются фермы исключительно изъ дерева (напр. Лонга); затѣмъ



Рис. 101. — Мостъ черезъ р. Ловать на Бологое-Псковской жел. дорогѣ.

изъ дерева и желѣза (наиримѣръ Гау, Фипка, Больмана); изъ чугуна и желѣза (Джонса, Ридера, Финка, Больмана) и, наконецъ, въ настоящее время исключительно изъ желѣза.

Замѣна дерева или чугуна желѣзомъ, помѣщеніе добавочныхъ раскосовъ или стяжекъ служили уже поводомъ дать системѣ особое названіе. Такъ напр., система Джонса—это типъ фермъ Гау, въ которыхъ верхній поясъ и раскосы—изъ чугуна, а стяжки и нижній поясъ—изъ полосоваго желѣза. Въ системѣ Ридера верхній поясъ и стойки—чугунные; нижній поясъ и обѣ системы раскосовъ—изъ звеньевъ изъ полосоваго желѣза; у Випиля обыкновенная раскосная система Пратта, но съ наклонными опорными стойками; въ системѣ Линвилля только пояса чугун-

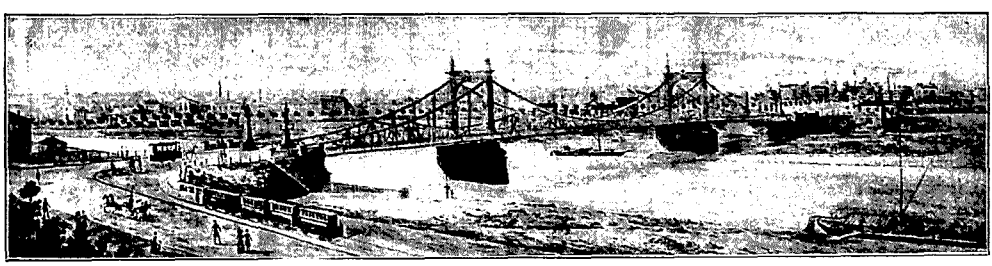


Рис. 102. — Мостъ черезъ р. Неккаръ въ Мангеймѣ.

ные; въ системѣ Поста (фиг. 68, табл. 8 и рис. 103) стойки имѣютъ наклонное направленіе; система Финка—обыкновенная система Варрена съ второстепенными стойками, стяжками и раскосами (фиг. 62, табл. 7) и т. д.

Необходимость быстрой и легкой сборки мостовъ, благодаря необычайному развитію постройки желѣзныхъ дорогъ по мѣстностямъ почти пустыннымъ, удаленнымъ на значительное разстояніе отъ центровъ заводской промышленности, требовало еще болѣе простой конструкціи мостовъ. Такимъ образомъ явились системы Больмана (фиг. 47, табл. 6 и рис. 56) и Финка (фиг. 45, табл. 6 и рис. 57), состоящія изъ горизонтальнаго деревяннаго, чугуннаго или желѣзнаго пояса, поддерживаемаго чугунными стойками, нижніе концы которыхъ соединены

желѣзными тяжами съ поясомъ надъ опорами (Больмана), или же соединяются съ поясомъ въ мѣстахъ прикрѣпленія извѣстныхъ промежуточныхъ стоекъ (Фиика). Первый мостъ по системѣ Больмана сооруженъ въ 1852 году на желѣзной дорогѣ изъ Балтиморы въ Огіо, отверстіемъ 124 ф.=17,7 саж. Достоинство этихъ системъ состоитъ въ быстротѣ сборки. Такъ, по заявленіе Понтцена и Глейма, мостъ черезъ р. Аниоматоккъ (21 пролетъ по 34 метра = 15,98 саж.) былъ спроек-

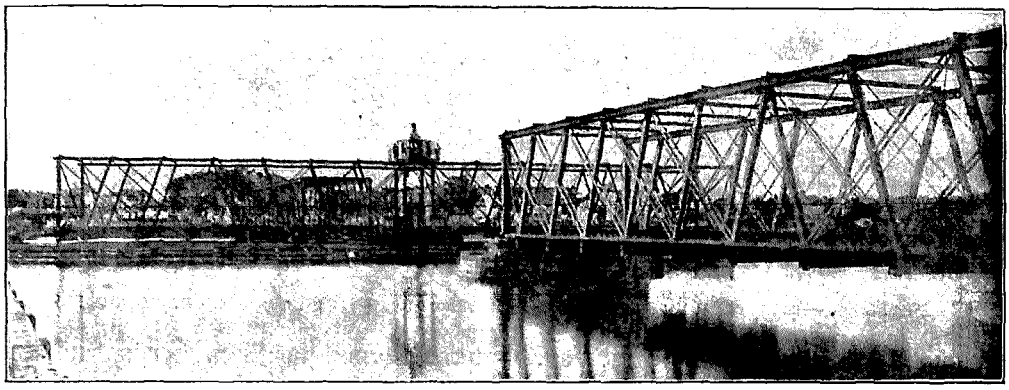


Рис. 103. — Мостъ съ фермами системы Поста.

тированъ, изготовленъ, собранъ и окрашенъ въ теченіе 4-хъ мѣсяцевъ; другой мостъ, пролетомъ въ 45 метровъ = 21,15 саж., собранъ въ теченіе $8^1/_4$ часовъ при заранѣе приготовленныхъ подмостяхъ.

Мосты балочной системы, построенные въ Америкѣ въ послѣднее время, отличаются значительностью пролетовъ—около 170 метровъ, высотой фермъ, доходящей до $^1/_6$ пролета, очертаніемъ верхняго пояса, непрерывнаго, по выпук-

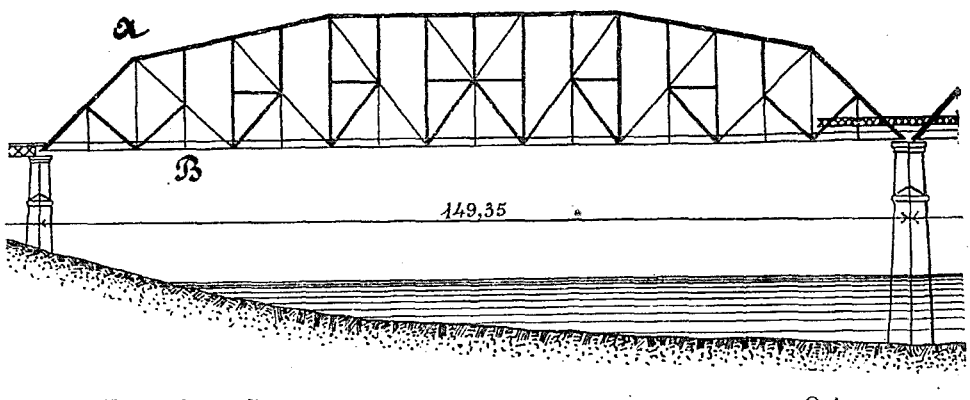


Рис. 104. — Фасадъ одного изъ пролетовъ моста черезъ р. Огіо.

лому многоугольнику, съ устройствомъ его изъ желѣза, а также бо́льшимъ примѣненіемъ заклепочныхъ соединеній, жесткимъ соединеніемъ проѣзжей части съ фермою и возможнымъ умеиьшеніемъ числа системъ раскосовъ, что вынуждаетъ прибѣгать къ большимъ паиелямъ, а въ крайиемъ случаѣ помѣщать второстепенныя стяжки или стойки (фиг. 68 и 69, табл. 8). То же приспособленіе примѣнено (рис. 104) въ трехпролетиомъ мосту черезъ р. Огіо (1897 г.) при величииѣ пролетовъ: $2 \times 149{,}4 + 167{,}6$ метр. Особенное вниманіе обращено на приданіе фермамъ бо́льшей жесткости; съ этой же цѣлью не только оставлеиъ прежній

типъ подвѣски иоперечныхъ балокъ къ узламъ и обыкновенный типъ приклепыванія иоперечныхъ балокъ къ узламъ фермъ, но даже измѣнена конструкція проѣзжей части въ томъ смыслѣ, что она представляетъ сплошной металлическій полъ составного желобчатаго сѣченія, на которомъ располагаются шпалы иа особыхъ подклад-

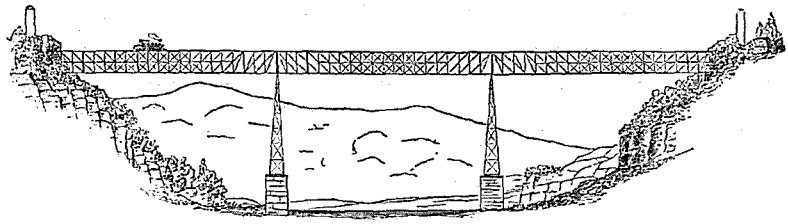


Рис. 105. — Віадукъ черезъ р. Кентукки на Южной Цинцинатской жел. дорогѣ.

кахъ, или зарытыя въ балластный слой. Типъ этотъ предложеиъ былъ Thomson'омъ и примѣняется очень широко. У насъ недавно (1897 г.) построеиъ по этому типу віадукъ надъ станціонными путями на Московско-Ярославской желѣзной дорогѣ.

Весьма широкое примѣненіе въ Америкѣ имѣютъ фермы системы Гербера, помощью которыхъ достигнуто перекрытіе пролетовъ до 240 метр. Въ первый разъ

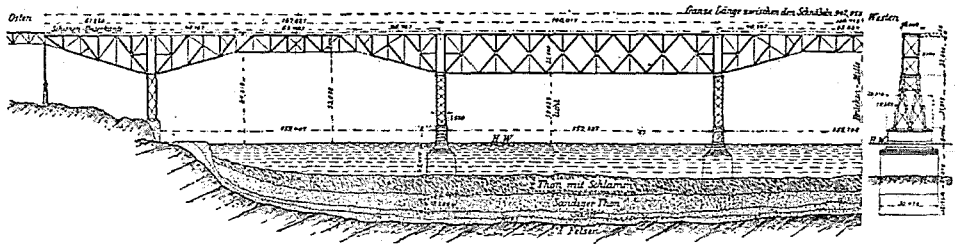


Рис. 106. — Мостъ черезъ р. Гудзонъ, близъ Пугкипси.

этотъ типъ фермъ былъ примѣненъ Smith'омъ для віадука Кентукки на Южной-Цинцинатской желѣзиой дорогѣ (рис. 105) (3×14,3 метр.) со свѣсомъ длиною по 22,9 метр.; мостъ черезъ рѣку Гудзонъ близъ Пугкипси (рис. 106) съ наибольшимъ пролетомъ въ 167 метр.; вся же длина моста съ подходнымъ віадукомъ 2062 метр. Мостъ начатъ постройкой въ 1873 году, при чемъ предполагалось примѣнить разрѣзныя фермы длиною до 160 метровъ; затѣмъ работы пріостановились, проектъ измѣненъ, и мостъ оконченъ съ фермами типа Гербера въ 1887 году. Къ этой же группѣ относятся: мостъ черезъ рѣку Frazer на Тихоокеанской желѣзной дорогѣ (рис. 107) съ наибольшимъ пролетомъ въ 192 метра; мостъ черезъ рѣку Ніагару (1883 года) (рис. 108) съ наибольшимъ пролетомъ въ 143 метра, крайніе свѣсы по 60 метр., внутреннie по 53,5 метра, соединительная ферма — 36 метр.; мостъ черезъ рѣку Kanowha (рис. 109) съ наибольшимъ пролетомъ въ 146,36 метр. (ферма съ свободными консолями); мостъ черезъ р. St. John (фиг. 74,

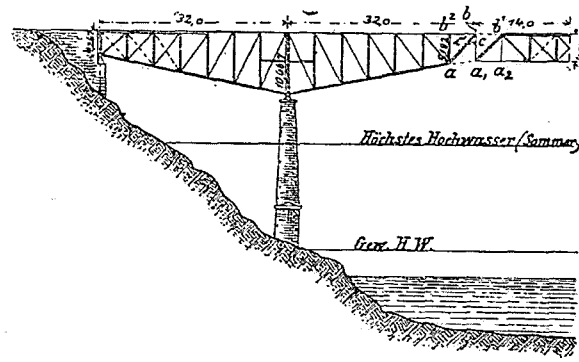


Рис. 107. — Мостъ черезъ р. Frazer на Тихоокеанской жел. дорогѣ.

табл. 8) съ наибольшимъ пролетомъ въ 145,69 метр.; мостъ черезъ р. Orio (Kentucky and Indian bridge) (фиг. 75, табл. 8) съ наибольшимъ пролетомъ 147,21 метр.; Memphis bridge (фиг. 76, табл. 8) съ наибольшимъ пролетомъ въ 770 фут. = = 240 метр., въ томъ числѣ длина каждаго изъ свѣсовъ по 169 фут. = 51,5 метр., а длина свободной фермы 451,67 фут. = 137 метр.

Говоря о мостахъ съ балочными фермами, построенныхъ въ Европѣ и въ другихъ частяхъ свѣта, слѣдуетъ упомянуть о віадукахъ съ металлическими опо-

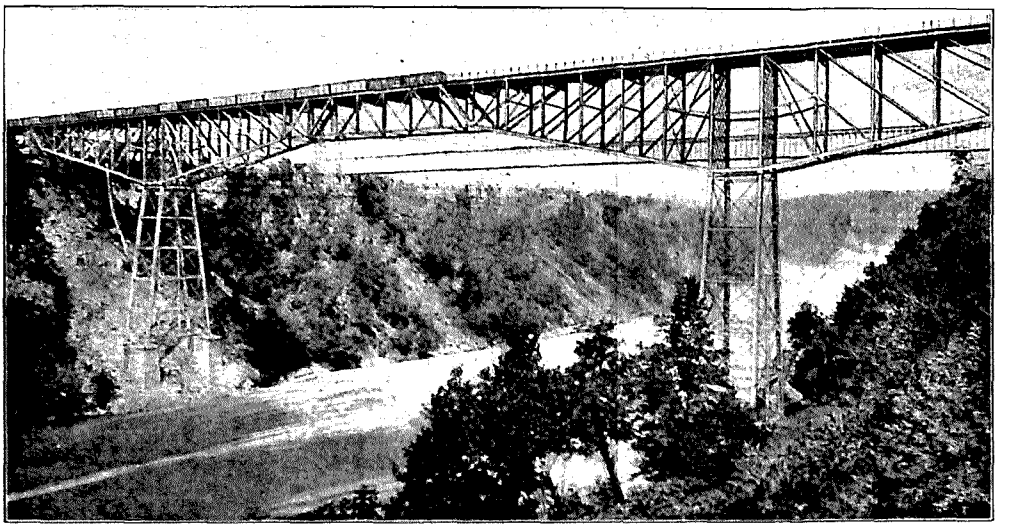


Рис. 108. — Мостъ черезъ р. Ніагару.

рами. При переходахъ глубокихъ и широкихъ овраговъ, долинъ — нерѣдко взамѣнъ каменныхъ опоръ примѣнялись пирамидальныя или плоскія металлическія опоры — чугунныя или желѣзныя. Примѣромъ для подобныхъ опоръ послужили металлическія опоры цѣпныхъ моетовъ. Въ первый разъ металлическія опоры были примѣнены Brown'омъ (1822 г.) для цѣпного моста въ Брайтонѣ; затѣмъ въ 1824 г. —

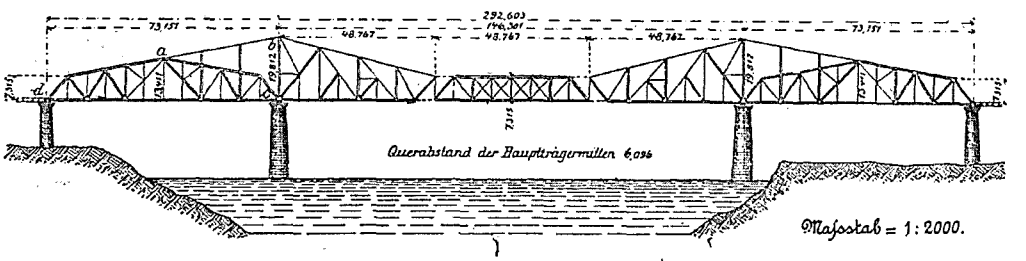


Рис. 109. — Мостъ черезъ р. Kanowha.

для опоръ Паителеймонскаго моста въ Петербургѣ; въ 1812 г. — для опоръ цѣпнаго моста черезъ р. Маасъ въ Seraing и т. д. Въ мостахъ съ фермами балочной системы металлическія опоры встрѣчаются въ первый разъ въ Крумлинскомъ віадукѣ (рис. 83) высотою 53,67 м. Изъ наиболѣе извѣстныхъ віадуковъ на металлическихъ опорахъ упомяніемъ о Фрейбургскомъ віадукѣ черезъ р. Саану высотою 62,43 м., віадукахъ Bouble и Sioule высотою 55,8 м. и 97,5 м., Sitter высотою 62 м., Cère—высотою 53 м., Bussau—высотою 54 м., и о віадукахъ Beelah и Deepdale въ Индіи—высотою 51,72 м. 45,72 метр. Въ Россіи извѣстны слѣдующіе віадуки на желѣзныхъ пирамидальныхъ опорахъ: Варгольскій на Орлово-Грязской жел.

дорогѣ высотою 19,95 саж., Камышловскій и Графскій віадуки на Лозово-Севастопольской ж. дорогѣ высотою 13,77 саж и 16,47 саж. (послѣдній, въ виду обнаружившагося движенія въ устоѣ, — замѣненъ нынѣ насыпью, съ незначительнымъ измѣненіемъ направленія линіи).

Въ Норвегіи, въ Германіи и особенно въ Америкѣ встрѣчаются качающіяся плоскія металлическія опоры, какъ напр. віадукъ Lysethal въ Норвегіи—высотою до 30 метр. и тамъ же віадукъ черезъ долину Solberg высотою въ 30 метр.; въ Саксоніи—віадукъ черезъ долину Oshütz высотою 30 метр. при величинѣ отдѣльныхъ пролетовъ въ 36 метр.

На подобіе деревянныхъ trestle-works въ Америкѣ въ большомъ ходу — металлическія подобныя же сооруженія. На рис. 110 изображенъ сооруженный

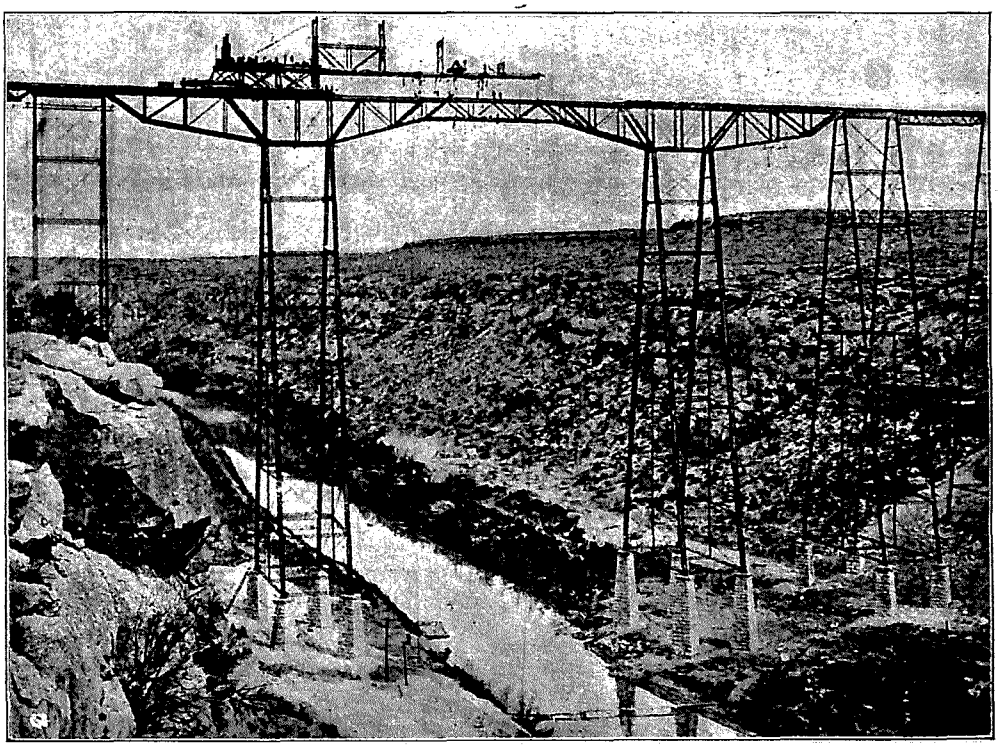


Рис. 110. — Віадукъ Pecos въ Техасѣ.

въ 1894 году віадукъ Pecos въ Техасѣ, на Южно-Тихоокеанской желѣзной дорогѣ; длина віадука 662 метр.; наибольшая высота—96 метр.; средніе пролеты величиною 56 метр. перекрываются фермами со свѣсами.

Остается еще упомянуть о мостахъ, въ которыхъ примѣнены *желѣзныя арочныя* фермы. Какъ уже сказано было, чугунные арочные мосты имѣютъ тотъ недостатокъ, что не представляютъ достаточнаго сопротивленія сотрясеніямъ при дѣйствіи подвижной нагрузки. Это обстоятельство, а также значительный вѣсъ чугунныхъ фермъ, побудили и для арочныхъ фермъ употреблять жѣлезо.

Первый желѣзный арочный мостъ былъ построенъ Bruyèr'омъ въ 1808 г. (рис. 111) черезъ рѣку Сгоих близъ С. Деии, пролетомъ въ 12 метр. Затѣмъ до 50-хъ годовъ желѣзо не примѣнялось для арочныхъ моетовъ; въ 1854 году по проекту Oudry построенъ въ Парижѣ Аркольскій мостъ (рис. 112) пролетомъ 80 метр. сплошного двутавроваго сѣченія, съ задѣланными пятами, и

около того же времени (1853 г.) сооруженъ въ Швойцаріи по проекту Этцеля желѣзнодорожный трехпролетный мостъ съ арочными фермами черезъ р. Ааръ (3 × 31,5 метр.) тоже съ задѣланными пятами. Типъ фермъ съ задѣланными

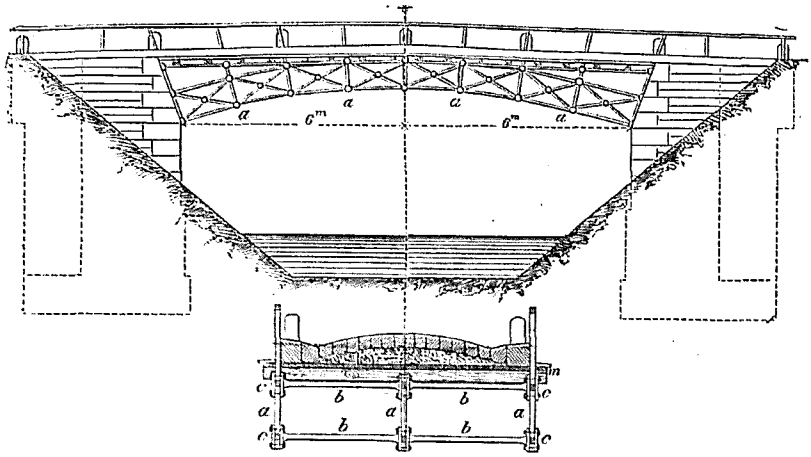


Рис. 111. — Мостъ черезъ р. Croux, близъ С. Дени, первый желѣзный арочный мостъ.

пятами нашелъ себѣ примѣненіе въ моетахъ черезъ рѣку Тиссу въ Венгріи (8×43,34 метр.) въ 1857 г., черезъ рѣку Рейнъ въ Констанцѣ (3 × 40 метр.), черезъ рѣку Дунай въ Пештѣ (73,5 метр. + 82,7 метр. + 87,9 метр.) въ 1876 г.

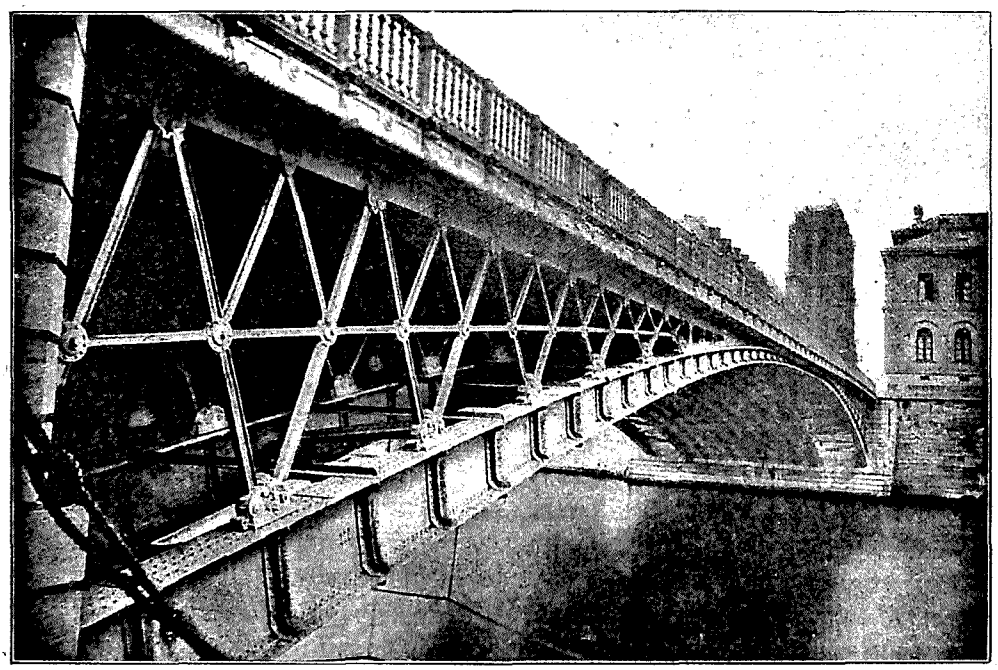


Рис. 112. — Аркольскій мостъ въ Парижѣ.

Въ 1858 году примѣняются впервые шарниры въ пятахъ, а именно въ желѣзиодорожномъ мостѣ черезъ каналъ С. Дени на линіи Парижъ-Крейль. Затѣмъ строится рядъ мостовъ съ двумя шарнирами, изъ которыхъ наиболѣе извѣстенъ мостъ черезъ р. Рейнъ близъ Кобленца (1861—1864 г.), сооруженный подъ руководствомъ Гартвига; проектъ же составленъ профессоромъ Штерибергомъ (3 × 96,65 метр.) (рис. 113); третій мостъ черезъ р. Рейнъ выше Кобленца

(2×106 метр.); мостъ черезъ р. Рейнъ у Рейнгаузена (4 × 96,65) того же типа, какъ и мостъ у Кобленца; мостъ черезъ Обводный каналъ въ Петербургѣ пролетомъ 10,5 саж.; мостъ Императора Александра II въ Петербургѣ, построенный инженеромъ Струве (2 × 25 саж.+ 2 × 30,5 саж.+ 35 саж. и сверхъ того развод-

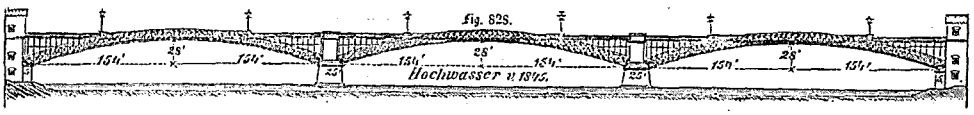


Рис. 113. — Мостъ черезъ р. Рейнъ, близъ Кобленца.

ный пролетъ въ 10 саж.), мостъ черезъ р. Руръ въ Мюльгеймѣ (3 × 36,08 метр.).

Трехшарнирныя арочныя фермы въ первый разъ (1865 г.) примѣнены для моста черезъ рѣку Шпрее въ Верлинѣ (3×16,39 метр.); около того же времени построенъ

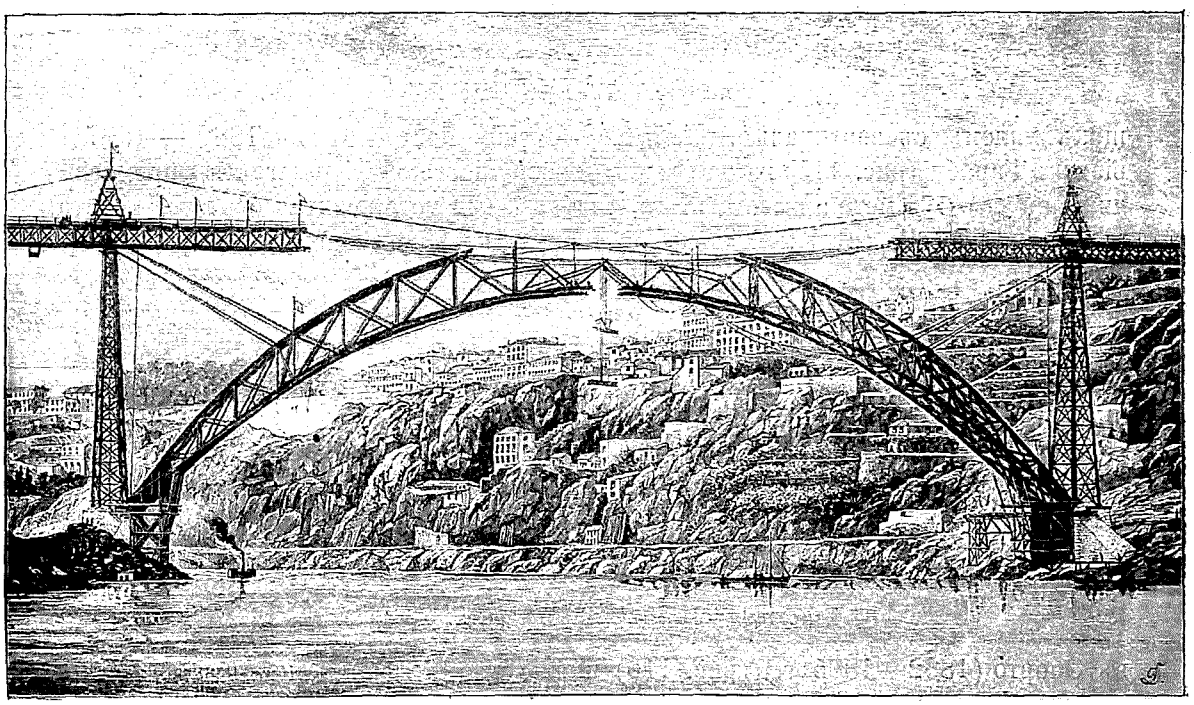


Рис. 114. — Мостъ черезъ р. Дуэро близъ Опорто. (Сборка безъ подмостей).

трехшарнирный арочный мостъ черезъ р. Вѣну въ Вѣнѣ и нѣсколько другихъ мостовъ иезначительныхъ пролетовъ. Необходимо однако замѣтить, что еще въ 1861 г. бельгійскій инженеръ Dallot примѣнилъ шарниръ для соединенія обѣихъ половинъ верхняго пояса параболической фермы моста черезъ р. Шельду близъ Онденанде.

Начиная съ 1874 года, арочные металлическіе мосты примѣняются для перекрытія большихъ пролетовъ, при чемъ предпочтеніе отдается или аркамъ съ задѣланными пятами, или аркѣ съ двумя шарнирами. Такъ, въ 1874 году сооруженъ мостъ черезъ рѣку Миссисипи у С.-Луи въ три пролета (2 × 153,01 + + 158,5 метр.), двухъярусный мостъ подъ обыкновенную и желѣзную дорогу; арка изъ хромистой стали состоитъ изъ двухъ поясовъ кольцеваго сѣченія, соединенныхъ системой раскосовъ; каждый изъ поясовъ имѣетъ самостоятельную опорную подушку, такъ что арка—какъ бы съ задѣланными пятами. Мостъ черезъ рѣку Дуэро въ Опорто (рис. 114) имѣетъ арку съ двумя шарнирами, съ пролетомъ

въ 160 метр. и съ подъемомъ въ 37,5 метр.; на арку серповиднаго очертанія и со сквознымъ заполненіемъ опирается нѣсколько металлическихъ опоръ, поддерживающихъ балочную ферму, которая на дальнѣйшемъ протяженіи опирается на рядъ металлическихъ опоръ; фермы арки лежатъ въ плоскостяхъ, составляю-

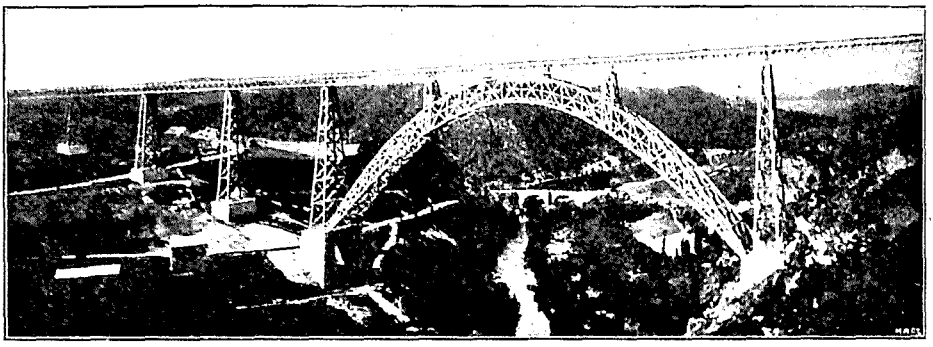


Рис. 115. — Віадукъ Garabit.

щихъ уклонъ съ вертикалью. По тому же типу построенъ въ 1880 — 1887 г. віадукъ Гараби (рис. 115) на желѣзной дорогѣ Marvejols-Neussargues—при величинѣ пролета 165 метр.; высота этого віадука— 122 метр., считая отъ ложа оврага; это—наивысшее въ свѣтѣ металлическое сооруженіе. Мостъ Luiz I черезъ рѣку Дуэро

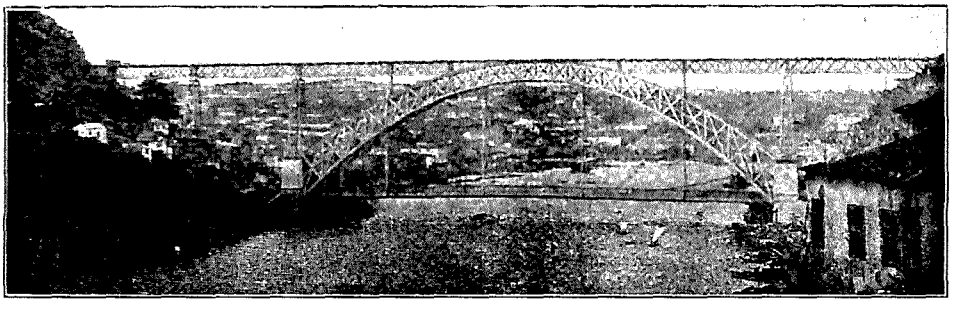


Рис. 116. — Мостъ Luiz I черезъ р. Дуэро.

въ Опорто (1882—1885 г.) (рис. 116) пролетомъ 172 метра, но съ задѣланными пятами; Вашингтонскій мостъ черезъ рѣку Гарлэмъ въ Нью-Іоркѣ (1889 г.) съ двумя пролетами по 155,23 метр. (рис. 117), арка сплошнаго сѣченія высотою 3,96 метр.; на нее опирается рядъ стоекъ, связанныхъ по высотѣ двумя рядами

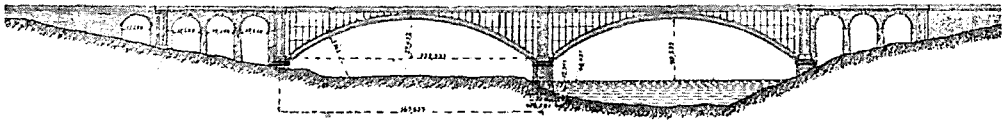


Рис. 117. — Вашингтонскій мостъ черезъ р. Гарлэмъ въ Нью-Іоркѣ.

горизонтальныхъ распорокъ; это единственный въ свѣтѣ мостъ, гдѣ арка сплошного сѣченія примѣнена для такого значительнаго пролета. Другой подобнаго же типа мостъ построенъ (въ 1888 г.) въ Mineapolis'ѣ для пролета въ 79 метр.; всего по ширинѣ моста 6 фермъ,—три съ тремя и три съ двумя шарнирами; послѣднее сдѣлано было для увеличенія жесткости моста. Віадукъ Адда близъ Падерно съ пролетомъ въ 150 метр. 1888 — 89 г. и віадукъ близъ Мюнгстепа на линіи

Solingen-Remscheid (1897 г.) (рис. 118) пролетомъ въ 170 метр., при вышинѣ надъ ложемъ оврага въ 107 метр. (съ задѣланными пятами). Къ этому же типу относятся и городскіе мосты въ Бернѣ Kirchenfeldbrücke (1883 г.) (рис. 119 и фиг. 85а, табл. 9), общая длина 229 м. и Kornhausbrücke (1898 г.) (рис. 120)

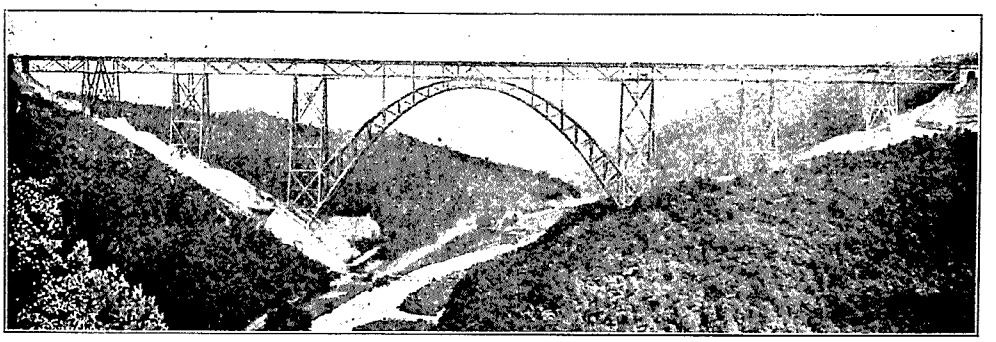


Рис. 118. — Віадукъ близъ Мюнгстена.

съ пролетомъ средней арки въ 115 метр.; фермы арки составляютъ уклонъ съ вертикалью въ $\frac{1}{12,5}$.

Въ 1898 году окончены два большихъ моста черезъ р. Рейнъ—арочные подвѣсиой системы: первый близъ Дюссельдорфа (рис. 121), два пролета по 180 ме-

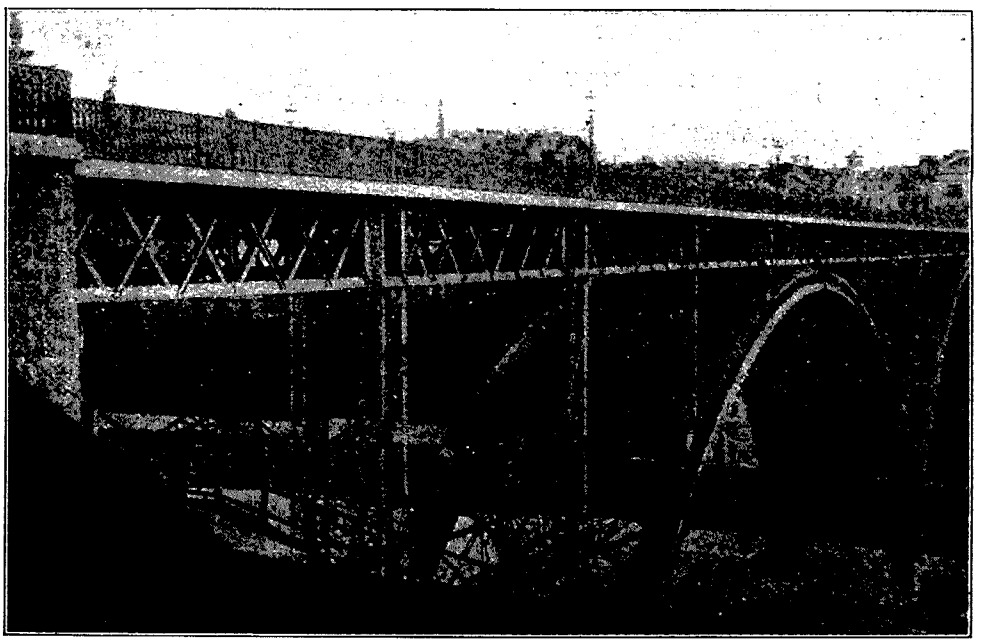


Рис. 119. — Мостъ въ Бернѣ (Kirchenfeldbrücke).

тровъ, и второй близъ Бонна (рис. 122) съ среднимъ пролетомъ въ 187 метровъ и съ двумя боковыми меньшими пролетами. Это, кажется, наибольшіе пролеты, достигнутые арочными металлическими мостами на материкѣ Европы, если не считать сооружаемаго нынѣ віадука черезъ р. Viaur, при величинѣ пролета въ 220 метр. Пролеты эти однако же меиѣе, нежели въ строющемся нынѣ мостѣ черезъ рѣку Ніагару близъ Clifton'a, гдѣ они доходятъ до 260 метровъ (рис. 123).

Въ послѣднее время примѣняются различныя приспособленія для того, чтобы уменьшить дѣйствіе распора арки на опоры. Такъ напримѣръ, арки устраиваются со свѣсами (на подобіе фермъ Гербера), на которые опираются соединительныя фермы. Въ первый разъ эта идея была примѣнена для двухшарнирныхъ фермъ въ городскомъ мосту въ Нью-Іоркѣ (рис. 124); величина пролета 109,72 метра. Для трехшарнирныхъ арочныхъ фермъ приспособленіе это предложено фирмою



Рис. 120. — Мостъ въ Бернѣ (Kornhausbrücke).

Batignolles (рис. 85, табл. 9) и примѣнено въ строющихся нынѣ віадукѣ Viaur во Франціи (рис. 235′) при величинѣ средняго пролета въ 250 метр. и въ Троицкомъ мосту черезъ рѣку Неву; въ этомъ послѣднемъ средній пролетъ величиною 99,29 метр. перекрытъ арочными фермами съ двумя свѣсами длиною по 27,97

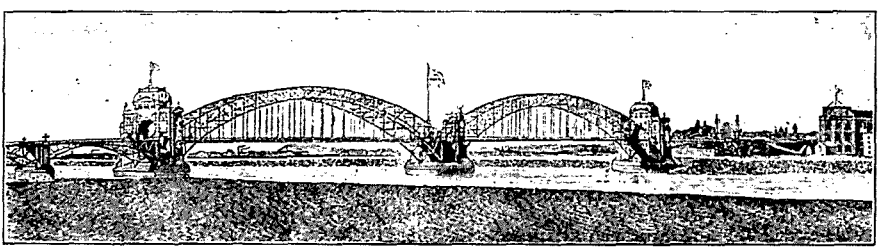


Рис. 121. — Мостъ черезъ р. Рейнъ близъ Дюссельдорфа.

метр., на которые опираются соединительныя фермы, длиною 33,26 метр.; крайніе пролеты перекрываются балочными фермами длиною 56,67 метр. съ однимъ свѣсомъ въ 22,68 метр. Кромѣ того имѣется еще два пролета по 25,53 метр. въ свѣту, съ двухрукавнымъ поворотнымъ мостомъ.

По тому же типу, но нѣсколько измѣненному (концы свѣсовъ прикрѣплены на опорахъ), построенъ въ недавнее время мостъ Мирабо въ Парижѣ (рис. 125, 125′ и 125″).

Чтобы освободить вполнѣ опоры отъ вліянія распора арки,—начали устраивать въ недавнее время арочныя фермы съ двумя и тремя шарнирами съ затяж-

кой, въ уровнѣ которой помѣщаютъ иногда и проѣзжую часть; въ нѣкоторыхъ случаяхъ затяжка помѣщается выше проѣзжей части. Такъ, помимо нѣсколькихъ мостовъ небольшихъ пролетовъ, какъ напримѣръ віадука черезъ стаиціонные пути ст. Мюнхеиъ, моста черезъ рѣку Лекъ близъ Hochzoll'я при величинѣ пролета въ 81,6 метра, моста въ Бамбергѣ, съ пролетомъ 75,9 м. и проч.,—система эта

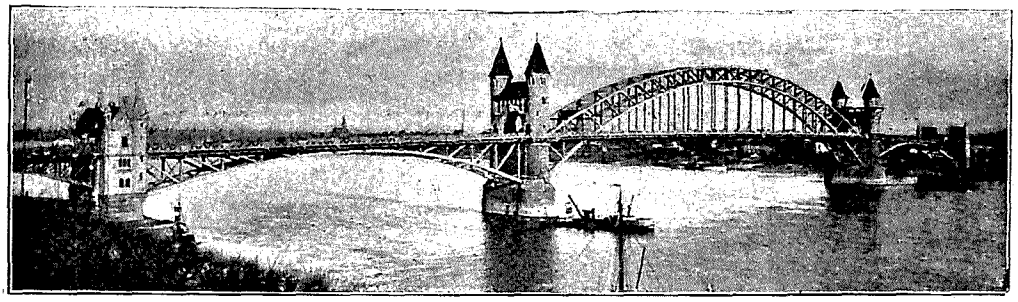


Рис. 122. — Мостъ черезъ р. Рейнъ въ Боннѣ.

примѣнена между прочимъ для моста близъ Grünenthal'я, служащаго для проведенія черезъ Nord-Ostsee-Kanal Западно-Голштинской желѣзной дороги и шоссе (рис. 126); арка серповиднаго очертанія съ двумя шарнирами; затяжка, въ уровнѣ

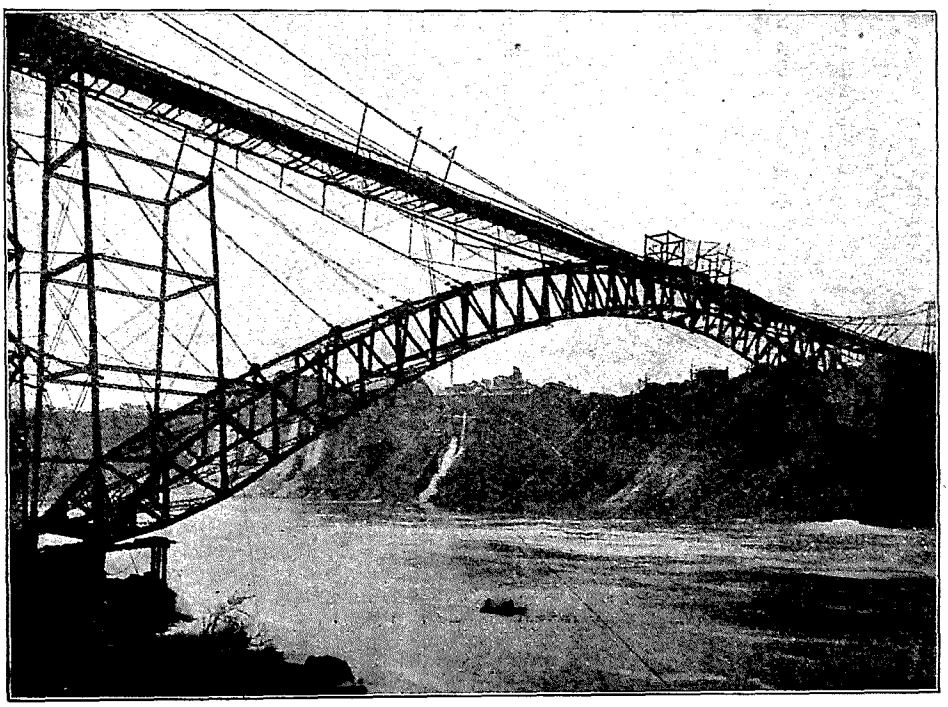


Рис. 123. — Мостъ черезъ р. Ніагару.

которой расположена ироѣзжая часть, помѣщена выше пятъ; величина иролета 156,5 метра; возвышеніе проѣзжей части надъ уровнемъ канала 42 метра, что допускаетъ возможность прохода высокомачтовыхъ судовъ по каналу. Второй мостъ черезъ тотъ же каналъ близъ Levensau устроенъ по типу арки съ задѣланными пятами (рис. 127) и служитъ для проведенія Кильской желѣзной дороги и шоссе; величина иролета 163,4 метр.; выше арки устроена независимая

вѣтровая ферма, которая опирается на арку помощью стоекъ. Къ вѣтровой фермѣ подвѣшена проѣзжая часть (рис. 128).

Стальные мосты. Сталь, т. е. литой металлъ съ очень высокимъ сопротив-

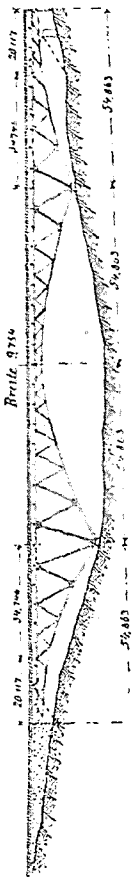


Рис. 124. — Горщкой мостъ въ Нью-Іоркѣ.

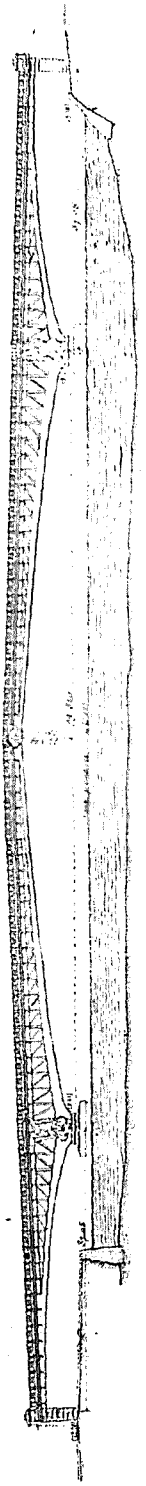


Рис. 125. — Мостъ Мирабо въ Парижѣ.

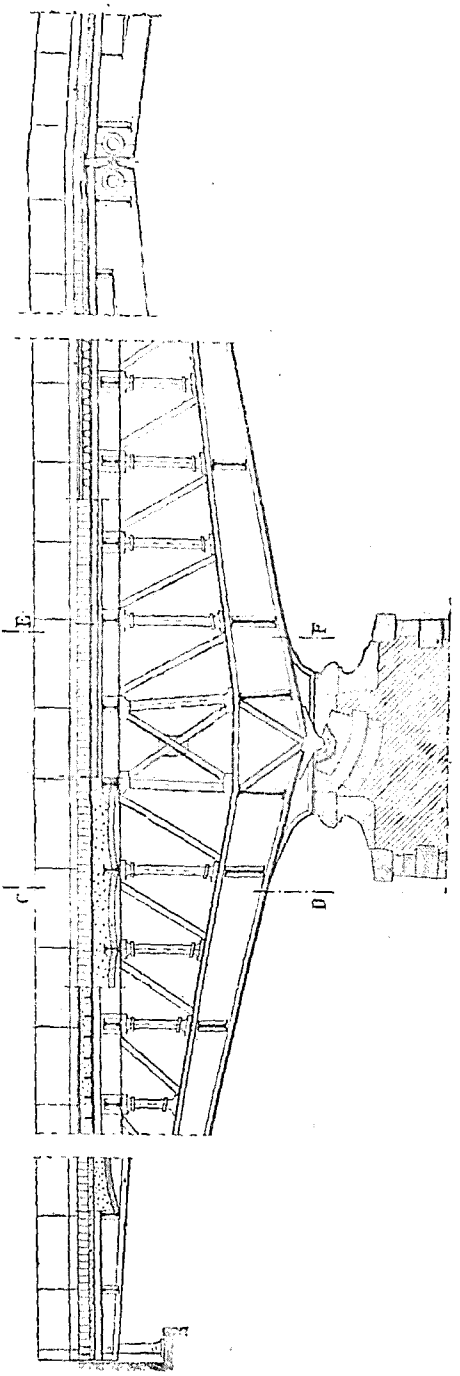


Рис. 125'. — Мостъ Мирабо въ Парижѣ.

леніемъ, имѣетъ пока ограниченное примѣненіе, какъ матеріалъ для мостовыхъ фермъ, за исключеніемъ проволочныхъ канатовъ въ висячихъ фермахъ. Она была употреблена въ первый разъ, повидимому, въ 1827 году для цѣпей висячаго

моста черезъ Дунайскій каналъ въ Вѣнѣ. Затѣмъ въ 1866 году былъ построенъ мостъ черезъ каналъ Гота-Эльфъ въ Швеціи, пролетомъ 42 метра = 19,60 саж., съ параболическими фермами изъ пудлинговой стали. Наибольшее допущенное напряженіе составляетъ 14 килограммовъ на квадратный миллиметръ, при чемъ

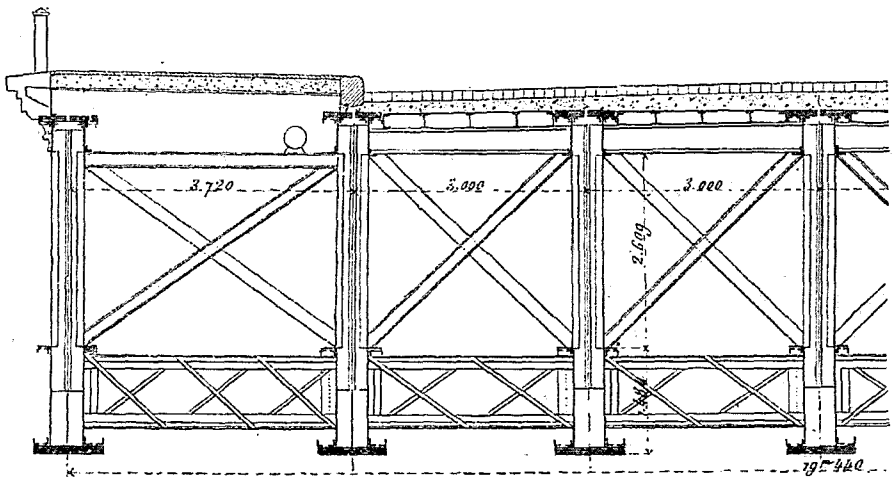


Рис. 125″. — Мостъ Мирабо въ Парижѣ.

по сравненію съ желѣзными мостами того же пролета вѣсъ составляетъ около 60%.

Въ 1868 году сталь была употреблена для поперечныхъ и продольныхъ балокъ Квиленбургскаго моста и другихъ мостовъ, построенныхъ въ Голландіи. Въ 1869 году построенъ висячій мостъ въ Прагѣ (система Ордиша) со стальными

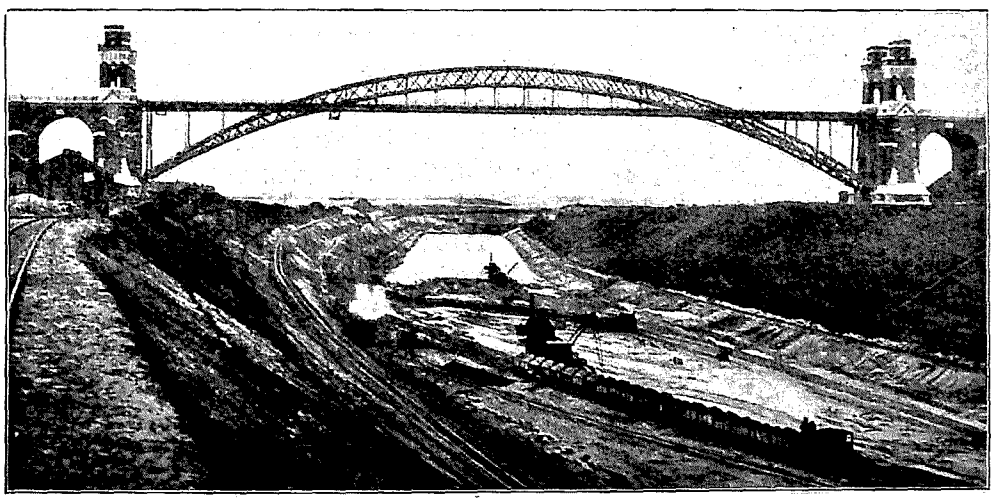


Рис. 126. — Мостъ черезъ Сѣверный каналъ близъ Grünenthal'я.

цѣпями и въ 1875 году арочный мостъ черезъ р. Миссисипи близъ С. Луи съ фермами изъ хромистой стали.

Черезъ станціонные пути въ Пештѣ построенъ стальной мостъ изъ бессемеровской стали.

Проволочные канаты висячаго моста черезъ р. East-River и другихъ подобныхъ же моетовъ въ Америкѣ, а также Пештскаго моста черезъ р. Дунай, приготовлены также изъ стали.

Въ настоящее время строится въ Парижѣ черезъ р. Сену мостъ Императора Александра III арочной системы, однопролетный съ тремя шарнирами, изъ литой стали (рис. 129). Арка по деталямъ устройства напоминаетъ прежнія чугунныя

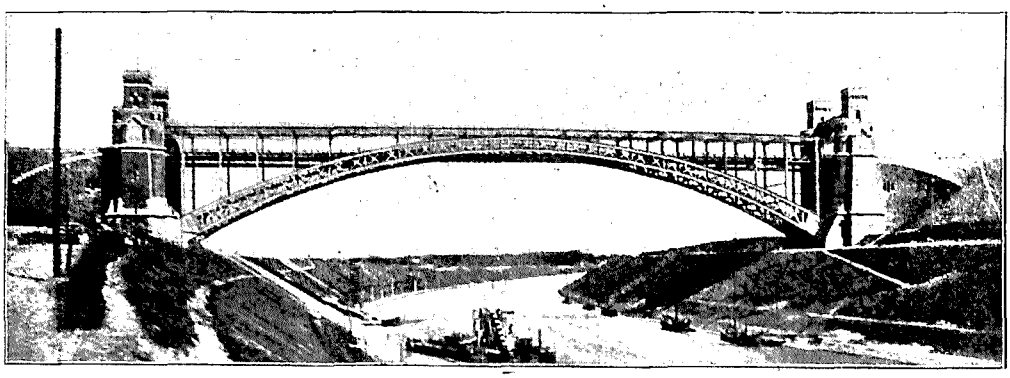


Рис. 127. — Мостъ черезъ Сѣверный каналъ близъ Levensau.

арочныя фермы и составляется изъ нѣсколькихъ косяковъ, свинченныхъ болтами. Величина пролета 107,5 м., стрѣла подъема 6,28 м.

Послѣ краткаго обзора постепеннаго развитія типовъ мостовыхъ сооруженій и преимущественно типовъ мостовыхъ фермъ постоянныхъ мостовъ — остается сказать нѣсколько словъ о пріемахъ устройства основаній мостовыхъ опоръ и о подвижныхъ мостахъ.

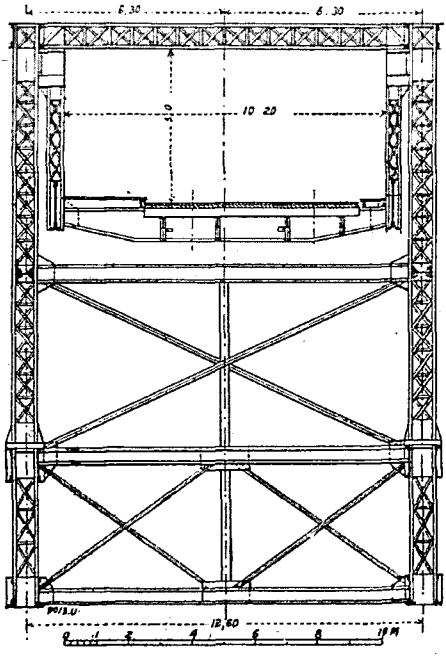


Рис. 128.—Поперечное сѣченіе моста близъ Levensau.

Одновременно съ развитіемъ типовъ мостовыхъ фермъ совершенствовались и пріемы устройства основаній. Между тѣмъ какъ прежде нерѣдко для возможности устройства основаній дѣлали искусственное возвышеніе въ ложѣ рѣки, съ примѣненіемъ, по предложенію Triger'a въ 1841 году, сжатаго воздуха для опусканія основанія опоръ на необходимую глубину вопросъ о трудности заложенія основанія въ глубокихъ рѣкахъ потерялъ свой острый характеръ.

Въ первый разъ этотъ способъ заложенія основанія былъ осуществленъ въ 1851 году при постройкѣ моста черезъ р. Медвэй близъ Рочестера. Съ тѣхъ поръ пріемъ этотъ примѣняется повсемѣстно съ различнымъ видоизмѣненіемъ относительно деталей устройства, способовъ извлеченія грунта, устройства кессона изъ желѣза, камня или дерева. (Деревянные кессоны встрѣчаются только въ Америкѣ и въ Россіи; при сооруженіи Средне-Сибирской ж. д. опущено 17 деревянныхъ кессоновъ; на Забайкальской дорогѣ примѣняются исключительно такіе же кессоны). Наибольшая глубина опусканія доходитъ до 35 метровъ ниже уровня межени.

Въ послѣднее время для опусканія опоръ въ песчаномъ грунтѣ иногда пользуются эжекторомъ (опоры моста черезъ р. Аа на Риго-Туккумской желѣзной дорогѣ), или же пользуются для извлеченія грунта при такихъ же условіяхъ принципомъ гидростатическаго равновѣсія, — уменьшая накачиваніемъ воздуха плотность воды въ трубкѣ, вставленной въ пространство, огражденное металлической оболочкой опоры; по трубкѣ, опущенной до дна и снабженной на другомъ концѣ кишкой, поднимается разрѣженная воздухомъ вода, перемѣшенная съ грунтомъ. (Мостъ черезъ р. Пару на Московско-Казанской желѣзной дорогѣ).

Одновременно съ этимъ практикуется и погруженіе основанія опоръ путемъ вычерпыванія грунта изъ пространства, ограждеинаго кольцевидными стѣнками опоры. Наиболѣе замѣчательный примѣръ въ этомъ отношеніи представляютъ опоры моста Hawkesbury въ Австраліи, гдѣ подобнымъ пріемомъ, безъ сжатаго воздуха, опоры опущены на глубину 54 метра ниже уровня воды. Этотъ же пріемъ былъ употребленъ при сооруженіи опоръ черезъ рр. Птичь и Лань на Лунинецъ-Гомельской ж. дорогѣ, черезъ р. Сулу на Ромны-Кременчугской ж. д. и примѣняется нынѣ

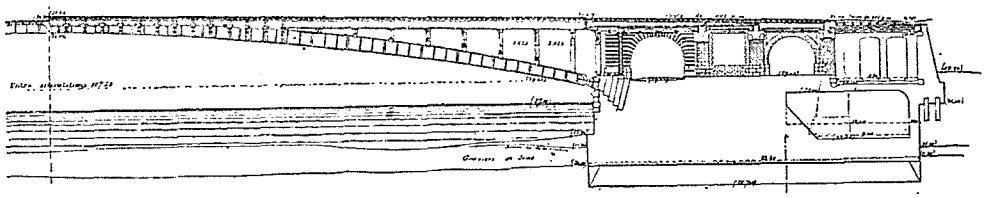


Рис. 129. — Мостъ Императора Александра III въ Парижѣ.

для опусканія опоръ строющагося моста черезъ р. Аму-Дарью, опоры котораго состоятъ изъ парныхъ колоннъ въ металлической оболочкѣ діаметромъ 8 ф. 8 д. вверху и 12 ф. внизу, погружаемыхъ на глубину 12 саж. ниже межени.

Кромѣ постоянныхъ мостовъ, издавна являлась, очевидно, необходимость устройства и подвижныхъ мостовъ. Напримѣръ, въ средніе вѣка подобными мостами имѣлось въ виду сдѣлать недоступными тѣ или другія укрѣпленныя мѣста. Съ теченіемъ же времени роль и назначеніе подвижныхъ мостовъ измѣнились: въ настоящее время ими пользуются лишь для того, чтобъ обезпечить свободу судоходства, въ случаѣ пересѣченія рѣки постояннымъ мостомъ, недостаточно приподнятымъ для цѣлей судоходства надъ уровнемъ рѣки.

Наиболѣе старинной системой подвижныхъ моетовъ слѣдуетъ считать систему подъемныхъ моетовъ съ горизонтальной осью вращенія (фиг. 22, 24, 24 bis табл. 3), которая подвергалась многимъ видоизмѣненіямъ, какъ напримѣръ системы: Belidor'a, Delile, Bergere, Poncelet (прежніе подъемные мосты на Фонтанкѣ) (фиг. 23, табл. 3), Граве (первоначальный Волховской мостъ на Николаевской желѣзной дорогѣ) (фиг. 25, табл. 4). Примѣненіе этой системы сохранилось и до нашихъ дней; такъ, напримѣръ, можно указать на построенный въ 70-хъ годахъ подъемный мостъ черезъ Knipelbroo въ Копенгагенѣ (фиг. 26, табл. 4), а также на сооруженный въ 1895 году въ Лондонѣ мостъ черезъ р. Темзу (Towerbridge), имѣющій подвижную часть въ видѣ подъемнаго моста (рис. 130). Послѣдній мостъ состоитъ изъ трехъ пролетовъ; два крайніе перекрываются фермами висячей системы, съ двумя несимметричными серповидными цѣпями. Конецъ короткой половины цѣпи послѣ перевода черезъ низкую опору задѣланъ въ устоѣ, другой же конецъ перекинуть черезъ высокую опору и соединенъ помощью

тяги, проведенной подъ пѣшеходный мостъ, со встрѣчнымъ концомъ цѣпи висячей фермы, перекрывающей другой крайній пролетъ. Средній пролетъ въ 60,96 метровъ перекрытъ двумя взаимно стыкающимися полотнами подъемнаго моста. Когда мостъ закрытъ, экипажное и пѣшеходное движеніе совершается по цѣпнымъ и по подъемнымъ мостамъ. Для того, чтобы при открытомъ положеніи моста не прерывалась возможность пѣшеходнаго сообщенія,—на высотѣ 36 метровъ устроенъ пѣшеходный мостъ, опирающійся на металлическія высокія башни; на этотъ мостъ пѣшеходы поднимаются и спускаются при помощи подъемной машины. Фермы пѣшеходнаго моста, состоящаго изъ двухъ отдѣльныхъ узкихъ мостовъ, построены по типу фермъ Гербера, а именно состоятъ изъ двухъ концевыхъ консолей, по 17,98 метровъ, задѣланныхъ наглухо, и изъ средней соединительной фермы длиною 36,19

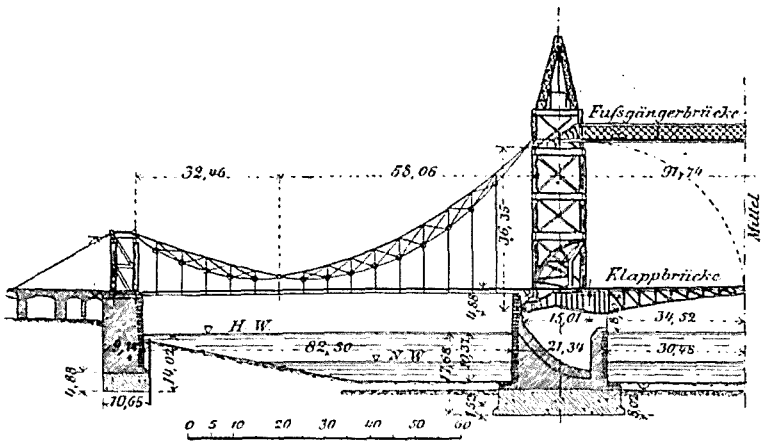


Рис. 130. — Мостъ черезъ р. Темзу (Tower-bridge).

метр. Подъемъ полотна моста и подъемъ пѣшеходовъ совершается при помощи гидравлическихъ двигателей; на проходъ каждаго судна затрачивается не болѣе 5 минутъ времени.

Особенное развитіе и усовершенствованіе конструкцій подъемныхъ моетовъ замѣчается въ послѣднее время въ Америкѣ (рис. 171, 172 и 173).

Меньшее распространеніе получили подъемные мосты безъ оси вращенія, съ подъемомъ вверхъ либо всего моста (фиг. 27, табл. 4), либо проѣзжей части. Къ первому типу принадлежитъ, наиримѣръ, желѣзнодорожный мостъ черезъ Рейнъ-Марискій каналъ; мостъ въ Дрезденѣ при пересѣченіи желѣзной дороги съ обыкновенной дорогой; мостъ въ Дижонѣ (1892 г.) и сооруженный въ 1894 году мостъ въ Чикаго съ пролетомъ въ 39,62 метр. (рис. 174).

Вмѣсто того, чтобы поднимать фермы моста, Röper предложилъ въ 1867 г. видоизмѣненіе этой системы, при чемъ фермы моста оставались неподвижными и располагались на возвышеніомъ уровнѣ, а перемѣщалась лишь проѣзжая часть. По этой системѣ построенъ въ 1874 году Whipple'мъ мостъ черезъ каналъ Эри, пролетомъ 18 метр. (фиг. 28, табл. 4). Вслѣдъ за симъ построенъ такой же мостъ въ Калькуттѣ.

Раздвижные подвижные мосты примѣняются также давно, особенно въ Англіи (фиг. 1, 2, 3, 5 табл. 1). Въ Россіи раздвижные мосты имѣются въ Выборгѣ и въ Волховскомъ мосту на Николаевской желѣзной дорогѣ, гдѣ металлическимъ раздвижнымъ мостомъ замѣненъ прежній деревянный подъемный мостъ.

Наибольшее число существующихъ подвижныхъ мостовъ относится къ системѣ

поворотныхъ моетовъ; вначалѣ они устраивались деревянные небольшихъ пролетовъ, наиримѣръ мосты въ Брюсселѣ, Гентѣ, Дуврѣ, пролетомъ до 12 метровъ; двухрукавные, съ помѣщеніемъ оси вращенія по продольной оси моста, напримѣръ мосты въ Шербургѣ, Дюнкирхенѣ, и внѣ оси,—какъ наиримѣръ въ Остендэ и большинство прежнихъ моетовъ въ Америкѣ. Въ этой послѣдней странѣ фермы моста иерѣдко устраивались раскосной системы Гау, что допускало перекрытіе значительныхъ пролетовъ, какъ наиримѣръ большинство городскихъ моетовъ въ Чикаго (рис. 131) и мостъ черезъ р. Миссисипи близъ Девенпорта съ пролетомъ въ 35,5 метр., перекрытымъ фермами Гау, съ верхнимъ криволинейнымъ поясомъ. Это былъ, повидимому, наибольшій изъ пролетовъ, перекрытыхъ деревяннымъ поворотнымъ мостомъ; въ настоящее время фермы замѣнены металлическими.

Съ 1804 года по предложенію Walter'a устраиваются въ Англіи поворотные мосты съ чугунными фермами (какъ напр. мостъ черезъ каналъ Регента, двухрукавный, по 10 метр.); затѣмъ слѣдуютъ чугунные поворотные мосты въ Антверпенѣ (1812 г.) (2 × 17,76 метр.) и въ Брюсселѣ (1820 г.) (1 × 7 метр.); оба построены бельгійскимъ инженеромъ Teichmann'омъ. Одновременно съ переходомъ отъ чугунныхъ фермъ къ желѣзнымъ и поворотные мосты начинаютъ устраивать съ желѣзными фермами сплошнаго двутавроваго сѣченія [большинство моетовъ въ Голландіи и въ Германіи (фиг. 12, табл. 2); мосты черезъ р. Geeste (1854 г.) на желѣзной дорогѣ между Geestermünde и Bremerhafen (2 × 10,4 метр.): мостъ черезъ р. Ouse около Гулля (2 × 30,5 метр.)], или трубчатаго сѣченія (мостъ черезъ р. Нилъ на желѣзной дорогѣ Каиръ-Александрія 2 × 17,2 метр. (1853 г.). Въ послѣднія 30—40 лѣтъ пролетныя части поворотныхъ моетовъ устраиваются преимущественно съ фермами раскосной или рѣшетчатой системы. Въ Европѣ однимъ изъ большихъ моетовъ считается мостъ въ Брестѣ (1862 г.) (фиг. 10, табл. 1) трехпролетный (двухрукавный и двухполотный); каждое полотно длиною 86,75 м. состоитъ изъ двухъ несимметричныхъ рукавовъ (58,52 + 28,25 метр.); мостъ въ Марсели въ Bassin national (фиг. 19а, табл. 2) однорукавный, однополотный мостъ (38,4 + 23,6 метр.); подъемно-поворотный мостъ въ Марсели въ бассейнѣ Joliette (фиг. 21 табл. 3); мостъ черезъ гавань въ Tarent'ѣ въ Италіи (рис. 132), однорукавный, двухполотный мостъ, при величинѣ пролета въ 66 метр.; однорукавный мостъ черезъ Магдебургскую гавань въ Гамбургѣ (53,5 метр.) подъ желѣзную и обыкновенную дорогу; мостъ черезъ рѣку Dee въ Англіи (рис. 132′) съ пролетомъ въ 42 метр., мостъ на Nord-Ostsee Kanal'ѣ близъ Rendsburg'а (рис. 133) (54,50 + 36,50 метр.), однорукавный, двухполотный.

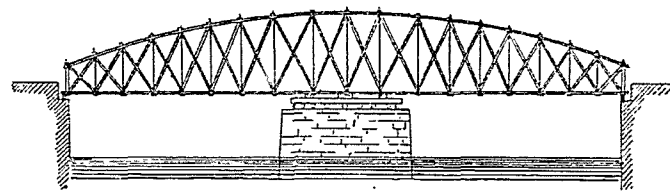


Рис. 131. — Мостъ въ Чикаго.

Въ Россіи имѣется сравнительно незначительное число поворотныхъ моетовъ; всѣ они устроены при постоянныхъ моетахъ. Сюда относятся: однорукавные мосты разводной части Николаевскаго моста въ Петербургѣ (1850 г.) при величинѣ пролета въ 10 саж.; тоже Николаевскаго цѣпного въ Кіевѣ пролетомъ въ 9 саж. (1857 г.) и Александровскаго моста въ Петербургѣ при величинѣ пролета въ 10 саж. (1879 г.). Кромѣ того устроены поворотныя части при нѣкоторыхъ желѣзнодорожныхъ моетахъ, а именно двухрукавный со сплошной

стѣнкой черезъ рѣку Западную Двину (2 × 9,4 саж.) на Риго-Двинской желѣзной дорогѣ (1872 г.); двухрукавный по 8 саж. черезъ рѣку Доиъ на Ростово-Владикавказской желѣзной дорогѣ (1874 г.); двухрукавный черезъ р. Шелоиъ

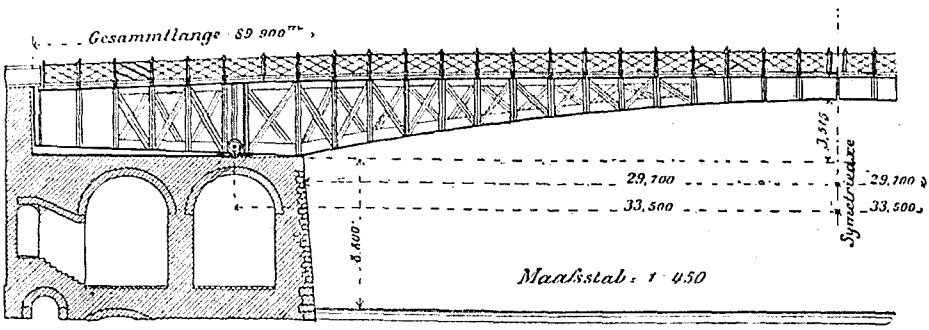


Рис. 132. — Поворотный мостъ черезъ гавань въ Тарентѣ, въ Италіи.

2×6,8 саж. въ свѣту (рис. 168 и 169), при длииѣ фермъ въ 15,4 саж. (1878 г.) на Новгородской желѣзной дорогѣ; однорукавный съ противовѣсомъ черезъ р. Аа

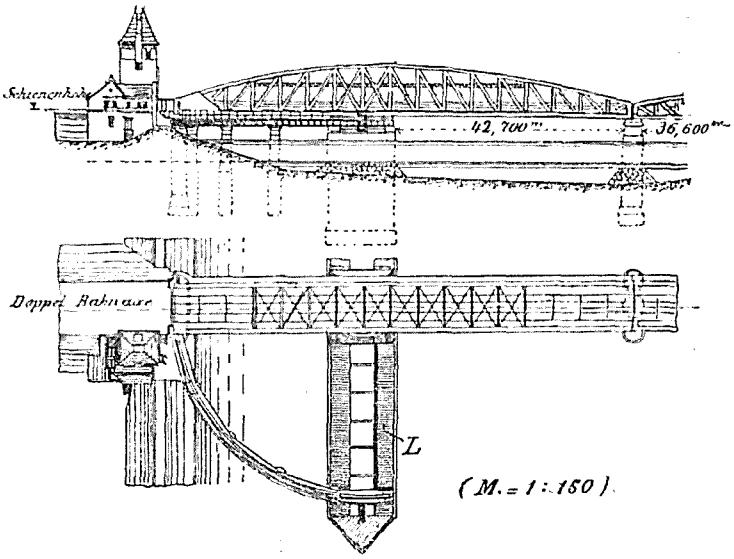


Рис. 132'. — Поворотный мостъ черезъ р. Dee въ Англіи.

въ 8 саж. (въ свѣту) на Риго-Туккумскомъ участкѣ Риго-Орловской желѣзной дороги и черезъ Портовой каналъ въ Либавѣ двухрукавный по 9,20 саж. (1879 г.).

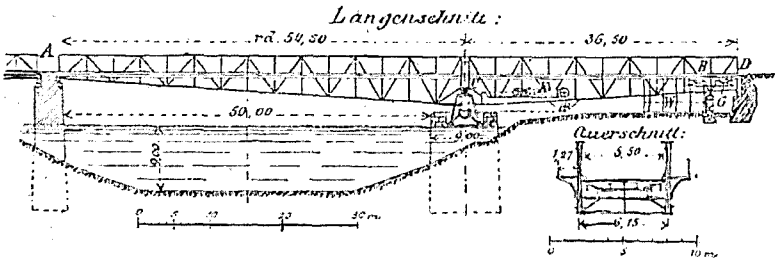


Рис. 133. — Поворотный мостъ на Сѣверномъ каналѣ близъ Rendsburg'a.

Въ строющемся Троицкомъ мосту черезъ р. Неву поворотная часть будетъ состоять изъ двухрукавнаго моста пролетомъ по 12 саж. или же одинъ изъ пролетовъ будетъ въ 10 саж., а другой въ 15 саж.

Поворотные мосты Америки отличаются, какъ величиною пролетовъ, такъ и числомъ, что объясняется крайне дѣятельнымъ судоходствомъ на рѣкахъ Сѣверной Америки, пересѣкаемыхъ густою сѣтью желѣзныхъ дорогъ. Всѣ эти мосты преимущественно двухрукавные симметричные, помѣщенные обыкновенно въ средней части рѣки. На фиг. 10, табл. 1 изображенъ мостъ черезъ р. Миссисипи близъ Quincy съ фермами системы Лиивилля (всего на этой рѣкѣ 12 поворотныхъ мостовъ).

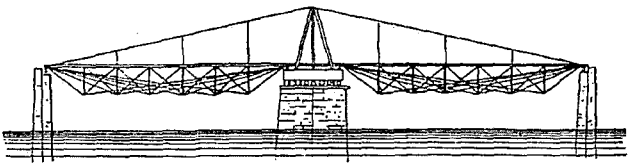


Рис. 134. — Поворотный мостъ на р. Миссури.

На рис. 134 показанъ двухрукавный мостъ черезъ Миссури близъ Quincy съ фермами системы Финка. Мостъ этотъ отличается тѣмъ, что при закрытомъ и открытомъ положеніи ферма каждаго изъ рукавовъ моста работаетъ, какъ разрѣзная ферма. На рис. 135 и 136 показаны два моста черезъ рѣку Harlem въ Нью-Іоркѣ; первый съ пролетомъ въ свѣту въ 38,5 метр., а второй въ 50 метр. Самымъ большимъ изъ поворотныхъ мостовъ считается мостъ въ Omaha (Nebraska) (рис. 137) при длинѣ каждаго изъ пролетовъ въ свѣту въ 63,46 метр.; на мосту уложены два желѣзнодорожныхъ пути; кромѣ того имѣется и два экипажныхъ проѣзда. Въ слѣдующей таблицѣ приведенъ перечень болѣе значительныхъ по длинѣ поворотныхъ мостовъ въ Америкѣ.

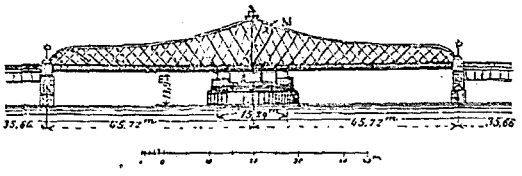


Рис. 135. — Поворотный мостъ на р. Harlem въ Нью-Іоркѣ.

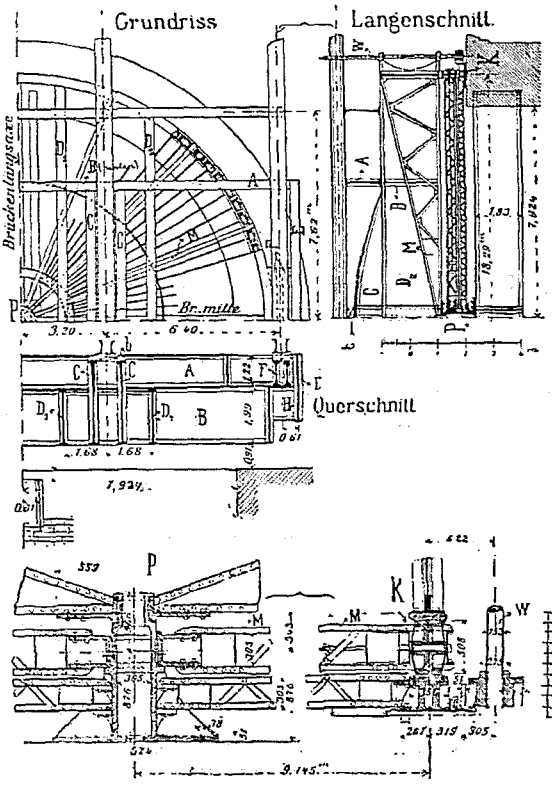


Рис. 135'.

НАЗВАНІЕ.	Общая длина фермъ двухрукавнаго моста.
Мостъ Omaha	158,49 метр.
„ New London	153,31 „
„ d'Arthur Kell.	152,40 „
„ Raritan Bay	143,86 „
„ Louisiana	135,96 „
„ Harlem.	118,57 „

Стремленіе американцевъ поставить фермы поворотныхъ мостовъ въ условія разрѣзныхъ фермъ вызвало цѣлый рядъ соотвѣтствующихъ приспособленій: такъ, передко верхній поясъ разрѣзывается надъ средней опорой; объ части соединяются накладками съ овальными отверстіями; при поворотѣ моста концы фермы, опускаясь внизъ, приводятъ въ натянутое состояніе накладку и ставятъ ферму въ

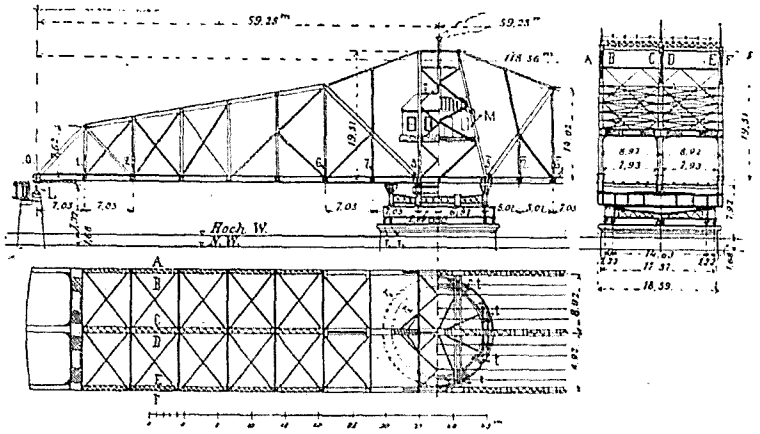


Рис. 136. — Поворотный мостъ на р. Harlem въ Нью-Іоркѣ.

условія балки, задѣлапной однимъ концомъ и свободной на другомъ. На фиг. 14, табл. 2 показано дальнѣйшее развитіе этого приспособленія; панель верхняго пояса надъ средней опорой замѣнена шарнирнымъ параллелограммомъ; по направленію одной діагонали поставленъ прессъ съ поршнемъ; по впускѣ воды въ поршень короткая діагональ удлиняется, болѣе длинная укорачивается, что

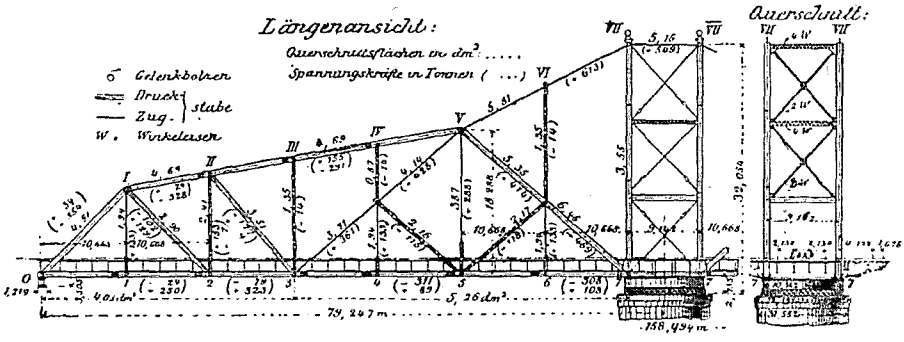


Рис. 137. — Поворотный мостъ въ Omaha.

влечетъ за собою поднятіе концовъ фермы, необходимое для освобожденія ихъ передъ началомъ поворота.

Слѣдуетъ еще упомянуть о единственномъ примѣрѣ поворотнаго судоходнаго двухрукавнаго моста (2×71,67 метр.), именно въ Англіи, служащаго для проведенія канала Barton (рис. 138); фермы параболической системы; на поперечныхъ балкахъ установлена непроницаемая для воды открытая сверху прямоугольная труба со стѣнками высотою 1,83 метр. изъ 10 м.м. желѣза. По концамъ труба снабжена металлическими герметически закрывающимися полотнами, съ вращеніемъ около вертикальной оси. Изъ 1600 тоннъ общаго вѣса на катки и на ось (гидравлическій прессъ) передается поровну.

Что касается двухъ существенныхъ элементовъ поворотнаго моста: системы

поддержанія фермъ моста во время вращенія и рода двигателей, то необходимо замѣтить, что въ первыхъ по времени сооруженія образцахъ фермы моста опираются на рядъ катковъ, при чемъ или весь грузъ моста передается на катки, или же часть груза передается на ось вращенія. Въ Америкѣ эта система и до нынѣ примѣняется почти исключительно. Всѣ построенные въ Россіи мосты также относятся къ этой системѣ.

Затруднительность вращенія при случайной неравномѣрной осадкѣ и при изнашиваніи катковъ побудила Teichmann'a и другихъ облегчить нагрузку на катки путемъ подклиииванія оси вращенія. Въ 1866 году голландскіе инжеиеры предложили передавать весь грузъ иа ось вращенія, оставляя лишь незначительное количество катковъ или колесъ для предупрежденія возможности опрокидыванія моста при вращеніи. Первый такой мостъ былъ построеиъ (1866 г.) черезъ Маасъ близъ Дортрехта (фиг. 15, табл. 2). Вредное вліяніе неизбѣжныхъ ударовъ отъ проходящихъ поѣздовъ на вершину оси вращенія при закрытомъ положеніи моста устранено въ 70 годахъ предложеніемъ Шведлера. Основная идея его предложенія состояла въ томъ, чтобы мостъ поддерживался осью вращенія лишь во время вращенія; во все же остальное время мостъ опирается на особую опору, находящуюся вблизи оси вращенія (рис. 159) и (фиг. 12, табл. 2).

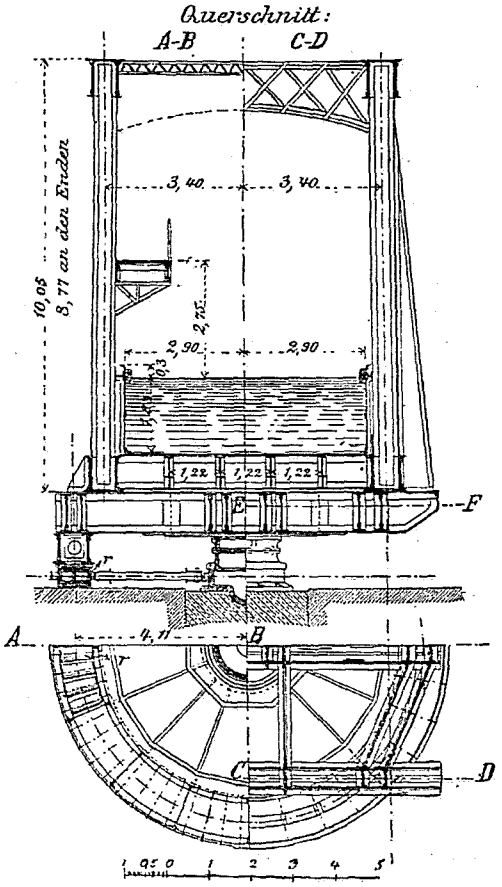


Рис. 138. — Судоходный поворотный мостъ въ Англіи.

Приспособленіе это получило широкое примѣненіе въ Германіи (поворотные мосты въ гавани въ Штральзундѣ, черезъ каналъ въ Дюнсбургѣ, въ Данцигѣ, черезъ Прегель въ Кенигсбергѣ, въ Дёмицѣ, Гарбургѣ, Дюссельдорфѣ и т. д.). Тотъ же принципъ осуществленъ, хотя и съ нѣкоторыми измѣненіями, въ построенныхъ недавно однорукавныхъ поворотныхъ мостахъ черезъ Nord-Ostsee-Kanal (рис. 133), въ мостѣ черезъ Магдебургскую гавань въ Гамбургѣ, въ Людвигсгафеиѣ и проч. Въ мостахъ чрезъ Nord-Ostsee-Kanal (рис. 133) одна половина моста CB (хотя болѣе короткая) тяжелѣе другой половины, перекрывающей свободный пролетъ. Добавочный грузъ, дѣлающій короткую половину болѣе тяжелой, помѣщенъ за опорой B—въ концѣ фермы BD, гдѣ имѣется и предохранительное колесо. Другая крайняя опора расположена въ A; средняя опора, приходящаяся подъ каждой изъ двухъ фермъ моста, расположена по линіи поперечнаго сѣченія моста, проведеинаго черезъ ось вращенія; послѣдняя устроена въ видѣ полаго цилиндрическаго ныряла (рис. 161). При закрытомъ положеніи ферма опирается на двѣ крайнія опоры A и C и на среднюю опору (B), при чемъ ныряло пресса остается

ненагруженнымъ. Предъ вращеніемъ моста вгоняютъ въ прессъ воду, ферма приподнимается и опрокидывается въ сторону болѣе тяжелой половины, пока предохранительное колесо не коснется поверхности каменной опоры, и затѣмъ мостъ начинаютъ вращать.

Въ мостахъ, построенныхъ во Франціи, замѣчается тотъ же принципъ съ тѣмъ лишь отличіемъ (фиг. 19 с, табл. 2), что иадъ средней опорой всѣ фермы моста опираются на солидную поперечную балку, опирающуюся въ свою очередь на ныряло пресса. Въ закрытомъ положеніи ныряло опущено, и поперечная балка концами непосредственно опирается на каменную кладку. Впускъ воды высокаго давленія въ прессъ поднимаетъ ныряло, а вмѣстѣ съ тѣмъ и мостъ. Ныряло помѣщено въ центрѣ тяжести моста, и для обезпеченія отъ опрокидыванія устроены боковые предохранительные ролики иа подобіе указанныхъ въ фиг. 20, табл. 3.

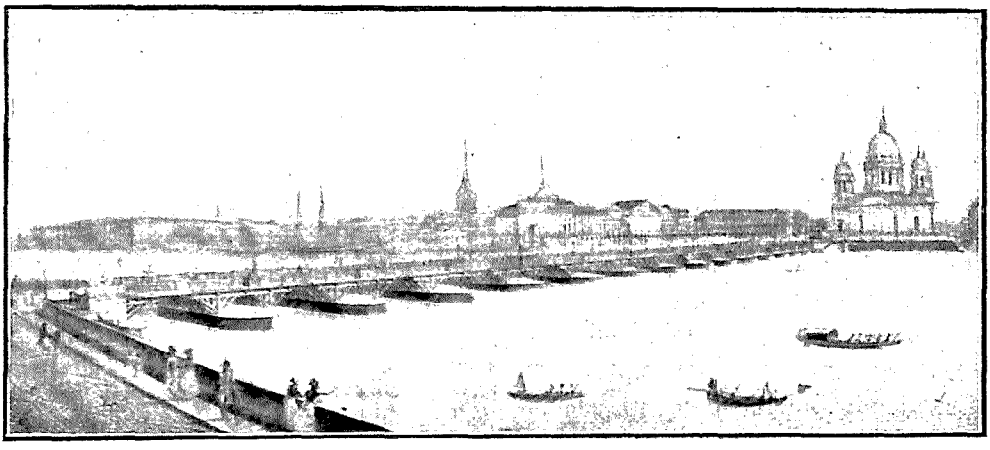


Рис. 139. — Исаакіевскій мостъ въ Петербургѣ въ 1820 году.

Что же касается рода двигателей, то наиболѣе раиній и распространенный пріемъ это—пользованіе человѣческой силой, приложенной къ системѣ зубчатыхъ зацѣпленій. Хотя существуютъ примѣры, что при такихъ условіяхъ на поворотъ моста затрачивается мало времени и силы, какъ, наиримѣръ, мостъ въ Чикаго вѣсомъ 236 тоинъ открывается двумя людьми въ теченіи 45 сек., тѣмъ не меиѣе для вращенія большихъ поворотныхъ моетовъ—стали примѣнять въ Америкѣ паровую силу, съ помѣщеніемъ котла и машины возлѣ фермъ, подъ ними или надъ ними (наиримѣръ, поворотный мостъ черезъ Гудзонъ въ Альбаии, длиною 83,6 метр. и вѣсомъ 350 тониъ открывается, закрывается 10-ти сильной паровой машиной въ теченіи 2′ 15″. Тотъ же двигатель примѣненъ и для вращенія моста Raritan Bay длиною 144 метровъ и вѣсомъ 590 тониъ). Еще большее распространеніе получило примѣненіе для сего гидравлическаго давленія. Армстронгъ въ Англіи (мосты черезъ каналъ Регеита, въ Лондонскихъ докахъ и въ Вульвичѣ) и Barret во Франціи (мосты въ Марсельскихъ докахъ) начали пользоваться гидравлическимъ давленіемъ, какъ для подъема, такъ и для вращенія моста. Вода подъ иаиромъ доставляется изъ существующихъ водопроводовъ, или получается изъ особыхъ паровыхъ насосовъ или аккумуляторовъ. Примѣненіе этого двигателя быстро распространилось, какъ въ Европѣ, такъ и въ Америкѣ. Мосты черезъ р. Harlem въ Нью-Іоркѣ на Third Avenue, черезъ Магдебургскую гавань въ Гамбургѣ ($2 \times 53{,}5$ метр.) вѣсомъ 301,3 тоннъ и черезъ гаваиь въ Тарентѣ въ Италіи

(2 × 29,7 метр.) пользуются напоромъ воды изъ городскихъ водопроводовъ; мосты въ Марсельскихъ докахъ, мостъ Викторія въ Лейтѣ, судоходный мостъ для проведенія канала Barton, мостъ Pollet въ Діеппѣ, однорукавный мостъ съ пролетомъ въ свѣту въ 40 метр., получаютъ воду высокаго давленія изъ аккумуляторовъ, въ которые вода нагнетается самостоятельными паровыми или газовыми машинами. Въ Россіи лишь поворотная часть моста Императора Александра II въ Петербургѣ имѣетъ приспособленіе, дозволяющее примѣнять помимо человѣческой силы и гидравлическое давленіе.

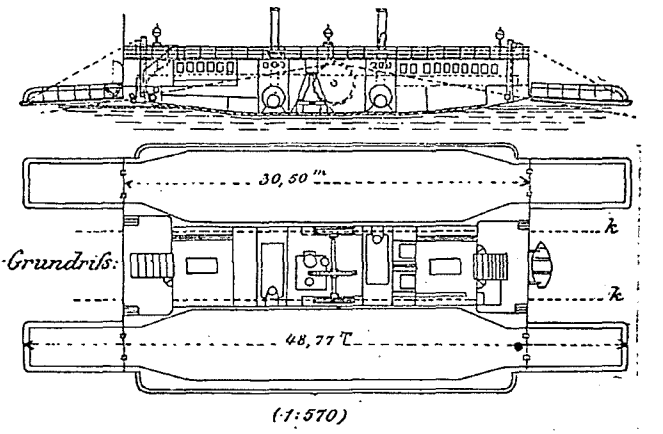


Рис. 140. — Паровой паромъ въ Портсмутѣ.

Наконецъ въ послѣднее время для вращенія мостовъ начинаютъ пользоваться электрической энергіей. Мостъ въ Bridgeport (1890 г.) длиною 54 метр. вѣсомъ 320 тоннъ былъ первымъ примѣромъ, гдѣ примѣнено для сего электричество. Въ строющемся Троицкомъ мосту въ Петербургѣ также предполагается примѣнить электрическую энергію для поворота моста. Въ рѣдкихъ случаяхъ примѣняется и газовый двигатель, какъ, напримѣръ, въ поворотномъ мосту черезъ Lothse въ Harburg'ѣ длиною 38,94 метр. и въ немногихъ американскихъ мостахъ.

Понтонные или плашкоутные мосты — очень древняго происхожденія и представляютъ наиболѣе дешевый типъ моста черезъ широкія рѣки. На рис. 139 изображенъ не существующій нынѣ плашкоутный Исаакіевскій мостъ въ Петербургѣ, сооруженный въ 1820 г. Примѣненіе этихъ типовъ, весьма распространенныхъ въ первое время въ Россіи, сохранилось и донынѣ. Наиримѣръ, мостъ черезъ Рейнъ въ Кёльнѣ, Троицкій и Дворцовый въ Петербургѣ, мосты черезъ Гангъ въ Индіи и проч.—съ деревянными плашкоутами. Въ 1894 году построенъ въ Ригѣ черезъ рѣку Западную Двину понтонный мостъ съ металлическими цилиндрическими понтонами (рис. 182).

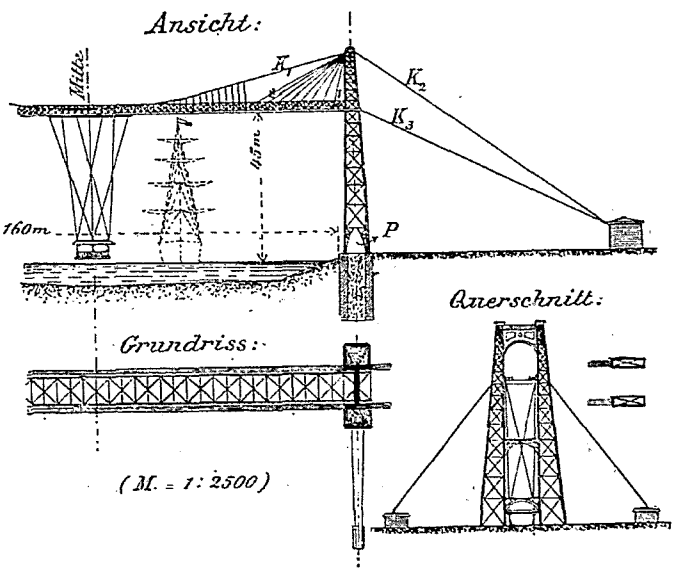


Рис. 141. — Подвижной мостъ-платформа въ Portugalete.

Остается еще сказать нѣсколько словъ о *паровыхъ паромахъ* на переправахъ, замѣняющихъ временно мостовыя сооруженія.

Первая переправа была устроена (1850 г.) около Эдинбурга въ Firth of Forth между Granton'омъ и Burnt-Island; въ 1851 году построена въ Англіи же переправа въ Forth of Tay между Ferry-Port и Broaghty-Ferry и въ Америкѣ (1851 г.) черезъ р. Humber на желѣзной дорогѣ изъ Boston'а въ Hull. Послѣ этого появляется цѣлый рядъ паромовъ, какъ на материкѣ Европы, такъ и въ другихъ странахъ. Такъ, подобный паромъ былъ построенъ черезъ Рейнъ близъ Ruhrort'а (1852 и 1856 гг.) съ приспособленіемъ для спуска вагоновъ на палубу парохода—помощью башенъ (фиг. 38, табл. 6); черезъ Нилъ (1855 г.) по проекту Стефенсона, черезъ Рейнъ близъ Ludwigshafen'а (1863 г.), Rüdesheim'а (1864 г.), Griethausen'а (1862 г.), Rheinhausen'а (1866 г.) съ приспособленіемъ для подъема и спуска вагоновъ по наклонной плоскости (фиг. 37 а, табл. 6), Вопп'а (1870 г.), черезъ р. Эльбу (1864 г.) между Lauenburg'омъ и Hohnstorf'омъ, черезъ Дунай (1871 г.) близъ Gombos'а. Всѣ Рейнскія переправы замѣнены уже нынѣ мостами. Изъ паромовъ, построенныхъ въ послѣднее время, на которыхъ переправляются цѣлые поѣзда, наиболѣе извѣстны паромы черезъ Большой и Малый Бельты въ Даніи, и въ Америкѣ (1882 г.) паромъ черезъ заливъ у С. Франциско на Тихоокеанской желѣзной дорогѣ (фиг. 40, 41 и 42, табл. 6); возобновленный въ 1892 году паровой паромъ въ Портсмутѣ (рис. 140), состоящій изъ двухъ сплоченныхъ судовъ, вмѣщающихъ 1000 пассаж., и наконецъ паромъ черезъ озеро Мичиганъ, на палубѣ котораго уложено 4 пути, съ установкою на нихъ до 24 вагоповъ.

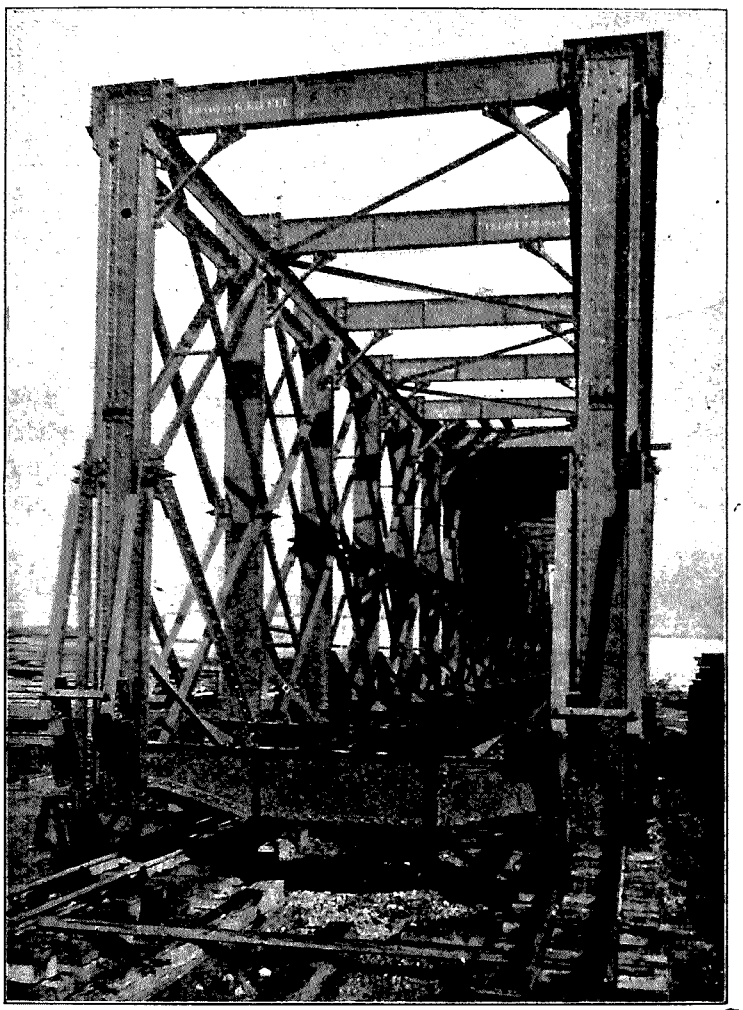


Рис. 141'. — Разборчатый мостъ системы Эйфеля.

У насъ въ Россіи построены паровые желѣзнодорожные паромы черезъ рѣку Волгу на Рязанско-Уральской и Московко-Казанской желѣзныхъ дорогахъ, и въ настоящее время заканчивается сооруженіе такой же переправы черезъ озеро Байкалъ на Сибирской желѣзной дорогѣ.

Различныя потребности вызвали еще своеобразный типъ подвижныхъ мостовъ-

платформъ (transbordeurs), перемѣщающихся по рельсовому пути, уложенному или по дну рѣки или канала, или по мосту высокаго уровня. Наиримѣръ, подвижной мостъ-платформа между St. Malo и St. Servans во Франціи, построенный Leroyer въ 1873 году (фиг. 36, табл. 6), а также сооруженный въ 1894 году мостъ-платформа между городомъ Portugalete и мѣстечкомъ Las Arenas въ Испаніи въ устьи рѣки Nervion (рис. 141). Рельсы, по которымъ перемѣщается платформа, уложены на полотнѣ висячаго моста, пролетомъ 160 метровъ и возвышающемся на 45 метровъ надъ уровнемъ рѣки, что сдѣлано для обезпеченія безпрепятственнаго судоходства; вышина металлическихъ опоръ 61 мет.; платформа-люлька вмѣщаетъ до 150 пассажировъ. Для перемѣщенія платформы установлена на берегу паровая машина въ 25 паровыхъ силъ, изъ которыхъ впрочемъ только 5 силъ затрачиваются на передвиженіе фермы, а остальныя силы расходуются на освѣщеніе и прочія потребности. Основная идея этого сооруженія принадлежитъ архитектору de Palacio, а разработка и осуществленіе—французскому инженеру Arnodin.

Военныя потребности вызвали въ свою очередь рядъ типовъ разборчатыхъ металлическихъ моетовыхъ фермъ, отличающихся значительнымъ однообразіемъ составныхъ частей и возможностью быстрой и легкой сборки фермъ опредѣленной серіи пролетовъ; сюда относятся системы Брохоцкаго, Cottrau, Henry, Marcille, Eiffel'я, Feketehazy и Mayer'a. Въ Россіи также имѣются нѣсколько разборчатыхъ моетовыхъ фермъ системы Eiffel'я (рис. 141′).

I.

Общія понятія о мостахъ; классификація мостовъ и мостовыхъ фермъ.

Мостами вообще называются сооруженія, служащія для проведенія дороги, водопровода или канала: надъ рѣкой, оврагомъ, желѣзной или обыкновенной дорогой.

Мосты, построенные надъ суходоломъ, оврагомъ, желѣзной или обыкновенной дорогой, называются *путепроводами* или *віадуками*. Они отличаются отъ моетовъ надъ рѣками тѣмъ, что не имѣютъ подводныхъ частей. Мосты, устроенные для проведенія по нимъ воды, называются *водопроводными* мостами или *акведуками*; *судоходные* мосты—это такіе акведуки, по которымъ могутъ проходить суда.

Мостовыя сооруженія, покрытыя сверху земляною насыпью, называются *трубами*.

Въ каждомъ мостѣ должно отличать слѣдующія существенныя части:

Пролетную часть, образующую продолженіе дороги или русла канала (б) (рис. 142) *), и

Опоры, поддерживающія пролетную часть на опредѣленной высотѣ и передающія грузъ ея на основанія (а) (рис. 142).

Пролетная часть моста состоитъ въ свою очередь изъ *пролѣзжей части* (мостовое полотно, рельсы, шпалы, продольныя и поперечныя балки) (в) (рис. 142 и рис. 142′), принимающей на себя непосредственно давленіе отъ подвижной нагрузки, и изъ *фермъ* моста, поддерживающихъ мостовое полотно (б) (рис. 142 и рис. 142′).

*) *Рисунками* названы чертежи, помѣщенные въ текстѣ, въ отличіе отъ *фигуръ* въ атласѣ.

Классификація мостовъ по роду движенія, по роду матеріала и по роду опоръ и пропетныхъ частей. Постоянные и подвижные мосты. Различные типы подвижныхъ мостовъ: раздвижные, поворотные, подъемные, плотовые, плашкоутные; летучіе мосты и паромы.

I. *По роду движенія* слѣдуетъ различать:

1) *Мосты* подъ желѣзную и обыкновенную дорогу.

2) *Пѣшеходные мосты*, предназначенные исключительно только для пѣшеходнаго сообщенія.

Судоходные и водопроводные мосты составляютъ особый типъ мостовъ.

II. *По роду матеріала мосты раздѣляются* на:

1) *Деревянные*, обыкновенно сосновые, и въ рѣдкихъ случаяхъ еловые или дубовые. Они выгодны въ томъ отношеніи, что легки, и обработка матеріала

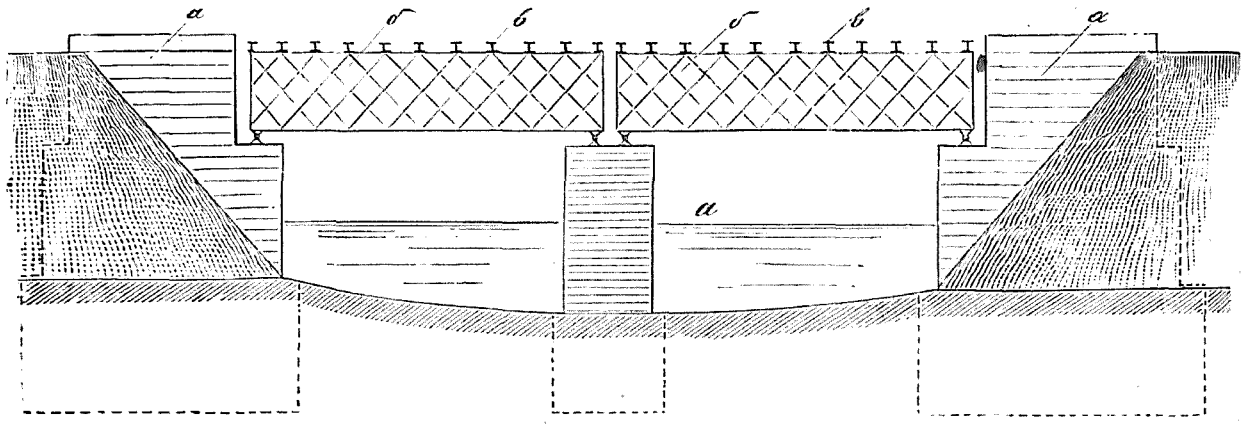


Рис. 142.

удобна, при относительно небольшомъ вѣсѣ частей. Но при этомъ деревянные мосты имѣютъ сравнительно краткій срокъ существованія по причинѣ гніенія дерева; кромѣ того они сгораемы. Въ моетахъ этого рода, при деревянныхъ пролетиыхъ частяхъ, опоры бываютъ камеииыя или деревянныя.

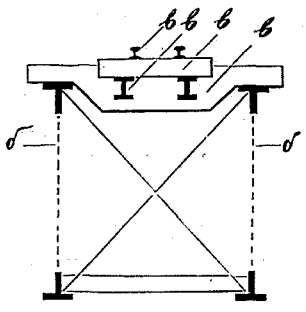


Рис. 142/.

2) *Каменные мосты* представляютъ передъ другими то преимущество, что они долговѣчны. Матеріалъ для ихъ постройки находится почти вездѣ; но сопротивленіе камня раздробленію значительно менѣе сопротивленія дерева, а удѣльный вѣсъ почти въ пять разъ болѣе удѣльнаго вѣса дерева. Въ каменныхъ моетахъ опоры и пролетная часть — камеииыя.

3) *Металлическіе мосты* бываютъ желѣзиые, чугунные и стальные.

Желѣзные мосты изъ сварочнаго и литого желѣза при значительномъ сопротивленіи металла сжатію и вытягиванію въ большинствѣ случаевъ оказываются дешевле и легче камениыхъ и прочнѣе деревянныхъ.

Чугунъ для постройки мостовъ въ настоящее время рѣдко употребляется по причинѣ его хрупкости и иедостаточнаго сопротивленія сотрясеніямъ, что вынуждало бы дѣлать сооруженіе излишне громоздкимъ; вслѣдствіе малаго сопротивленія растяженію, чугуиъ употреблялся въ прежнее время только для такихъ ча-

стей сооруженія и мостовыхъ фермъ, гдѣ преобладали сжимающія напряженія; нынѣ же примѣняется лишь для второстепенныхъ частей мостового сооруженія.

Сталь, какъ строительный матеріалъ для главныхъ частей моста, примѣнена пока въ ограниченномъ числѣ случаевъ, и окончательное заключеніе о выгодахъ ея было бы преждевременно.

Къ числу отрицательныхъ сторонъ металлическихъ мостовъ слѣдуетъ отнести ихъ чувствительность къ измѣненію температуры, вредное вліяніе которой иногда возможно значительно уменьшить, прибѣгая къ извѣстнымъ приспособленіямъ.

Опоры металлическихъ мостовъ обыкновенно каменныя или металлическія.

Выборъ того или другого рода матеріала для устройства пролетной части моста обусловливается преимущественно:

a) назначеніемъ моста;

b) имѣющимися для производства работъ денежными средствами;

c) мѣстными условіями относительно удобствъ пріобрѣтенія и обдѣлки матеріаловъ

и d) величиною пролетовъ моста.

III. *Смотря по роду опоръ и пролетныхъ частей, мосты бываютъ*:

1) *Постоянные*, съ неподвижными опорами и пролетною частью и служащіе для непрерывнаго движенія.

2) *Подвижные*, сообщеніе по которымъ въ извѣстныя времена прерывается *). Они часто устраиваются при постоянныхъ мостахъ, и тогда мосты эти носятъ названіе *постоянныхъ съ разводною частью*.

Въ подвижныхъ мостахъ опоры или постоянныя, при чемъ пролетная часть устраивается такимъ образомъ, что, смотря по надобности, можно открывать просвѣтъ между опорами, или же опоры и пролетныя части—подвижныя. Къ *первой* группѣ подвижныхъ мостовъ относятся между прочимъ *раздвижные*, *поворотные* и *подъемные*, ко *второй* группѣ: *наплавные* мосты, т. е. *плотовые* и *плашкоутные*, и наконецъ къ *третьей* группѣ слѣдуетъ отнести *летучіе мосты*, т. е. *паромы*, *переправы* и *передвижныя платформы*. Разсмотримъ предварительно первую группу **)

a) **Раздвижные мосты** (фиг. 1, 2, 3 и 5 табл. 1) открываются движеніемъ вдоль оси моста. Пролетныя части моста, поддерживаемыя во время движенія рядомъ катковъ, надвигаются на берегъ или на особыя опоры; поступательное движеніе сообщается мосту особымъ механизмомъ при помощи зубчатаго колеса, зацѣпляющагося за зубчатую полосу, прикрѣпленную къ нижней части фермы, или же при помощи цѣпи, навиваемой на воротъ. Во избѣжаніе опрокидыванія моста во время раздвиганія, береговая часть моста устраивается немного тяжелѣе другой его половины.

Системы раздвижныхъ моетовъ различаются въ зависимости отъ помѣщенія моста при раздвиганіи—*подъ* полотномъ прилегающей части дороги или постояннаго моста, или *надъ* полотномъ, а также различными приспособленіями, обез-

*) Какъ постоянные, такъ и подвижные мосты получаютъ иногда названіе *временныхъ*, когда они устраиваются на время сооруженія и перестройки постоянныхъ моетовъ или до пріисканія средствъ на постройку другого, болѣе цѣннаго и прочнаго моста. Если временный мостъ устраиваютъ въ сторонѣ отъ предполагаемаго моста, тогда онъ называется *объѣзднымъ мостомъ*.

**) Болѣе подробное изложеніе будетъ приведено въ особой главѣ: „Подвижные мосты“; здѣсь же приводятся вкратцѣ основныя понятія и описаніе нѣкоторыхъ простыхъ примѣровъ для уясненія назначенія подобныхъ моетовъ и маневрированія ими.

печивающими непрерывность полотна при закрытомъ положеніи моста. Къ первому типу относятся мосты, изображенные на фиг. 2 и 5, а примѣры второго типа представлены на фиг. 1 и 3.

Показанныя на фиг. 2, табл. 1 пролетныя части раздвижного моста состоятъ изъ покрытыхъ досчатымъ настиломъ четырехъ прогоновъ, связанныхъ въ переднемъ концѣ поперечнымъ брусомъ; въ другомъ концѣ два крайніе прогона укорочены, и для увеличенія вѣса этой части фермъ между прогонами помѣщены короткіе брусья, также связанные поперечнымъ брусомъ; укороченные крайніе прогоны соединены съ этимъ послѣднимъ брусомъ помощью желѣзной полосы. Эта полоса служитъ вмѣстѣ съ тѣмъ подшипникомъ для оси колеса *e*; другой конецъ оси укрѣпленъ въ деревянномъ брусѣ; кромѣ вертикальнаго колеса *e* помѣщено еще два боковыхъ ролика. Къ нижней грани всѣхъ четырехъ прогоновъ прикрѣплены желѣзныя полосы, приходящіяся надъ роликами *g*, установленными на обрѣзѣ устоя и имѣющими неподвижныя оси вращенія. Въ среднію прогоны въ уровнѣ нижней грани врѣзаны желѣзные штыри, закрѣпленные въ крайнихъ прогонахъ; къ средней утолщенной части штырей прикрѣплена металлическая зубчатая полоса, приходящаяся надъ зубчатымъ колесомъ, помѣщеннымъ на обрѣзѣ устоя, но не въ одной линіи съ роликами; зубчатое колесо насажено на ось, которая помощью рукоятки можетъ быть приведена въ движеніе. Стѣнка устоя имѣетъ сзади и по бокамъ возвышенія; на боковыя возвышенія опираются постепенно утоняющіеся поперечные брусья полотна дороги, такъ что образуется родъ футляра, куда могутъ быть вдвинуты пролетныя части моста. Приспособленіемъ, обезпечивающимъ непрерывность полотна при закрытомъ положеніи, служитъ поперечный брусъ или доска, вкладываемые между крайними досками полотна моста и полотна дороги. Передъ раздвиганіемъ моста убираются съемныя перила, снимается брусъ, представляющій переходъ отъ брусчатаго полотна надъ устоемъ на досчатое полотно моста, и затѣмъ приводится во вращательное движеніе ось зубчатаго колеса; послѣднее, зацѣпляясь за кремальерку, передвигаетъ пролетную часть моста, которая опирается во время движенія частью на четыре ролика *g* и частью, помощью подвижныхъ колесъ *e*, на площадку устоя; противъ боковаго заѣданія во время движенія предохраняютъ боковые ролики, помѣщенные въ задней части моста.

На фиг. 1, табл. 1 изображенъ другой типъ моста, устанавливаемаго, при раздвиганіи, поверхъ дорожнаго полотна. По площадкѣ устоя по линіи прогоновъ пролетной части моста установленъ рядъ катковъ съ неподвижными осями вращенія; подъ прогономъ по оси моста укрѣплена кремальерка съ зубчаткой, обращенной вверхъ; эта послѣдняя приводится въ зацѣпленіе съ зубчатымъ колесомъ, насаженнымъ на ось, которая укрѣплена въ станинѣ лебедки, установленной съ боку моста, на устоѣ. Площадка устоя нѣсколько понижена противъ уровня полотна дороги; катки такого діаметра, что они выше уровня полотна дороги, такъ что, при откаткѣ моста, фермы становятся частью надъ полотномъ дороги; для возможности перехода съ полотна дороги на полотно моста при закрытомъ положеніи послѣдняго—въ задней части моста имѣется (непоказанный на чертежѣ) откидной помостъ, соединенный шарниромъ съ полотномъ моста. При закрытомъ положеніи помостъ опущенъ, и другой его конецъ опирается на полотно дороги; предъ открытіемъ моста—помостъ поднимается и передвигается вмѣстѣ съ мостомъ. (По тому же типу съ откиднымъ мостомъ устроенъ откатный мостъ въ Выборгѣ съ тѣмъ лишь отличіемъ, что катки прикрѣплены къ прогонамъ моста).

На фиг. 3, табл. 1 показанъ раздвижной желѣзнодорожный мостъ въ Сэндерлэндѣ, въ Англіи, пролетомъ 17,8 метр., состоящій изъ двухъ фермъ, опирающихся каждая однимъ концомъ на два катка *a* и *b*, изъ которыхъ послѣдній прикрѣпленъ къ концу фермы; другой конецъ поддерживается устоемъ. Катокъ *a* опирается на площадку стержня поршня гидравлическаго пресса. Предъ откры-

тіемъ моста увеличеніемъ гидравлическаго давленія въ прессѣ фермы поднимаются, при чемъ катокъ *b* становится въ уровень особыхъ рельсовъ на полотнѣ дороги, а катокъ *a*—въ уровень рельсовъ, уложенныхъ на устоѣ. Во избѣжаніе при этомъ опрокидыванія, другой конецъ фермы снабженъ особымъ выступомъ, которымъ онъ во время поднятія упирается снизу на роликъ, укрѣпленный на устоѣ. У противоположнаго конца имѣется противовѣсъ, такъ что части моста по обѣ стороны отъ *a* одинаково тяжелы. Передвиженіе фермъ совершается также помощью гидравлическаго двигателя. На рис. 143 изображено это приспособленіе. Въ устоѣ, подъ проѣзжей частью моста, устроено углубленіе, гдѣ установлены два горизонтальныхъ гидравлическихъ пресса; оба пресса *f* помѣщены рядомъ и вдоль моста. Къ днищу пресса и къ оконечности штока поршня прикрѣплено по тройному шкиву. Чрезъ всѣ шкивы обоихъ прессовъ перекинута цѣпь, концы которой *g* и *h* прикрѣплены къ фермѣ моста. Впускъ воды такъ регулированъ, что, когда въ одномъ прессѣ поршень выдвинутъ, въ другомъ онъ вдвинутъ. При такихъ условіяхъ выдвиганіе того или другого поршня заставляетъ мостъ передвигаться въ ту или другую сторону.

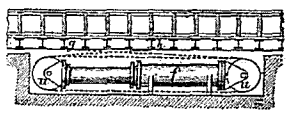
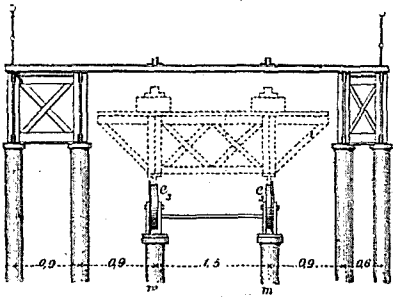


Рис. 143.

На фиг. 5, табл. 1 представлена раздвижная часть Кентскаго желѣзнодорожнаго віадука въ Англіи. Мостъ о нѣсколькихъ пролетахъ и на чугунныхъ опорахъ; раздвижная часть устроена въ средней части моста, и поэтому фермы подвижной части слѣдовало тѣмъ или инымъ путемъ вдвинуть внутрь фермъ постоянной части моста. Задача рѣшена такимъ образомъ: постоянная и раздвижная часть моста, за исключеніемъ трехъ пролетовъ по 3 фут., 27 фут. и 10 фут. (см. правую половину фиг. 5), прилегающихъ къ подвижной части, состоитъ по ширинѣ изъ двухъ фермъ, опирающихся на чугунныя колонны, разставленныя на взаимномъ разстояніи 4,92 фут. = 1,5 метр. (рис. 144). Поверхъ фермъ расположены продольные лежни, а на нихъ рельсы (типа Брюнеля).


a
a
e
e
a
a
a

ферма подвижной части моста скатывается по наклонному направленію подъ проѣзжую часть постоянной части моста, опираясь на крайній катокъ около средней парной опоры, гдѣ помѣщенъ механизмъ, и на катки d и e; при остановкѣ движенія конецъ фермы опирается на выступъ колонны f, причемъ для судоходства становится открытымъ пролетъ въ 38 фут.

Въ віадукѣ Barmouth эта задача рѣшена иначе: пролетныя части раздвигаемой части устроены съ ѣздою по низу, а прилегающія части постояннаго моста—съ ѣздою по верху; по этимъ послѣднимъ и передвигается подвижная ферма. Для того, чтобы эта ферма при движеніи не могла опрокинуться и имѣла двѣ точки опоры, она снабжена длиннымъ тяжелымъ свѣсомъ, въ данномъ примѣрѣ наклоннымъ вверхъ, на концѣ котораго имѣется ролікъ; кромѣ того подъ тотъ конецъ фермы, къ которому примыкаетъ свѣсъ, подведена ось съ насаженными на ней колесами, около оси которыхъ ферма можетъ вращаться. Передъ открытіемъ моста понижаютъ конецъ наклоннаго свѣса настолько, чтобы находящійся на концѣ его ролікъ всталъ на рельсы — при этомъ вся система вращается около оси вышеупомянутыхъ колесъ, и пролетныя части фермы становятся на вѣсу; затѣмъ фермы передвигаются, имѣя двѣ точки опоры — одну на колесѣ, а другую на роликѣ, прикрѣпленномъ къ концу свѣса.

Къ группѣ раздвижныхъ мостовъ слѣдуетъ отнести и *откатные* мосты, отодвигаемые не вдоль оси моста, а подъ нѣкоторымъ угломъ или въ поперечномъ направленіи. На фиг. 4, табл. 1 показанъ мостъ, отодвигаемый въ сторону въ особое углубленіе, сдѣланное въ устоѣ. Въ углубленіи уложено три рельса, по которымъ ферма, при помощи катковъ, откатывается въ сторону.

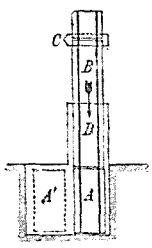


Рис. 146.

Иногда примѣняется составная система раздвижного и откатнаго мостовъ — когда полотно раздвижного моста устроено въ одномъ уровнѣ съ полотномъ постоянной части, какъ напримѣръ въ желѣзнодорожныхъ мостахъ, и когда по мѣстнымъ условіямъ нельзя ни поднять мостъ предъ раздвиганіемъ, какъ напр. въ Сэндерлэндскомъ мосту (фиг. 3, табл. 1), ни понизить, какъ въ Кептскомъ віадукѣ (фиг. 5, табл. 1).

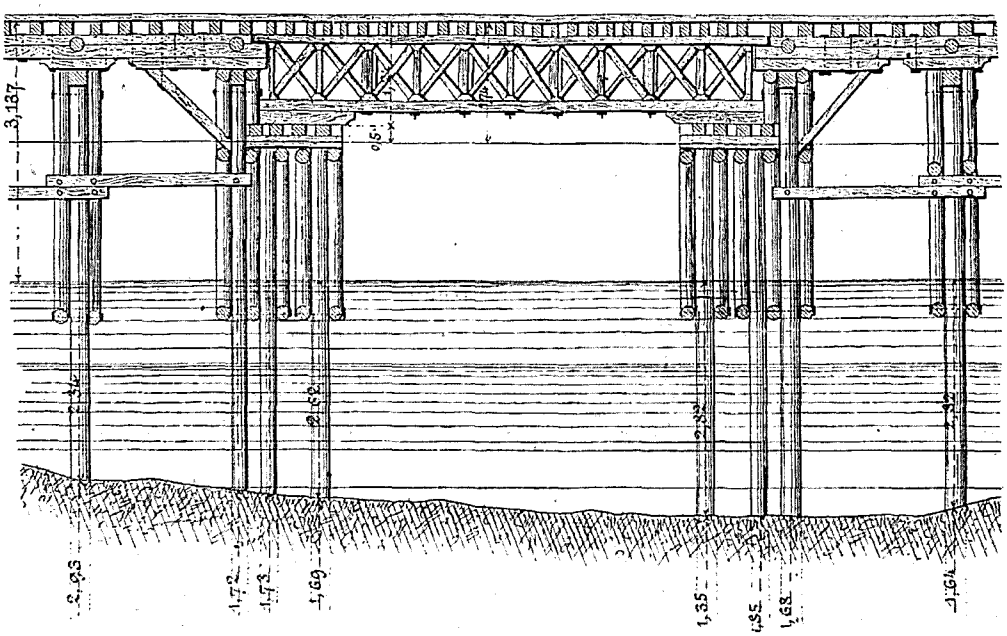


Рис. 146'. — Мостъ черезъ р. Прутъ съ съемными фермами.

Въ этомъ случаѣ на устоѣ устраивается, какъ продолженіе раздвижного моста, особый откатный мостъ (A) (рис. 146) въ одномъ уровнѣ съ раздвижнымъ

мостомъ (B); сначала откатываютъ въ сторону мостъ (A), а на его мѣсто надвигаютъ мостъ (B). (Jersey bridge). По тому же типу устроена раздвижная

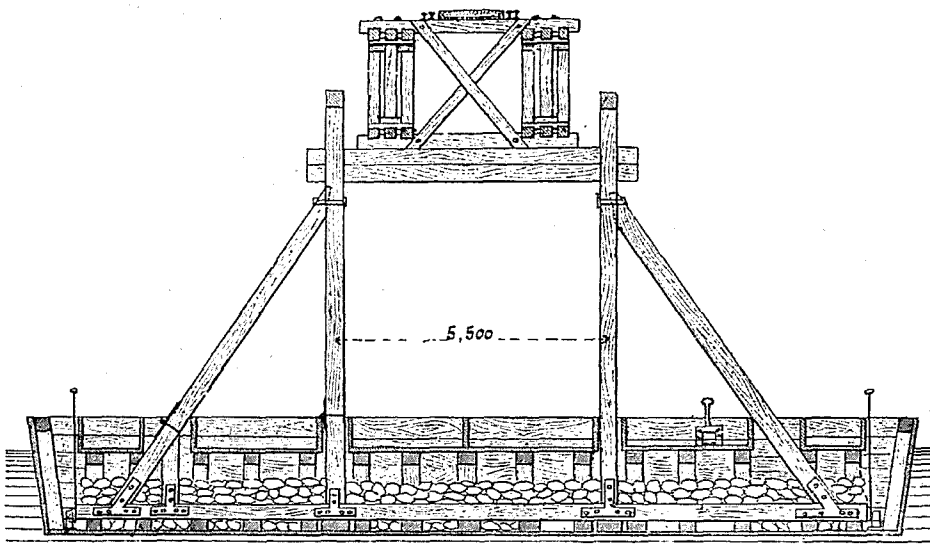


Рис. 146″. — Понтоны для подъема фермъ.

часть Волховского моста на Николаевской желѣзой дорогѣ. Если не по деталямъ устройства, то, по крайней мѣрѣ, по тождеству основной идеи сюда же можно

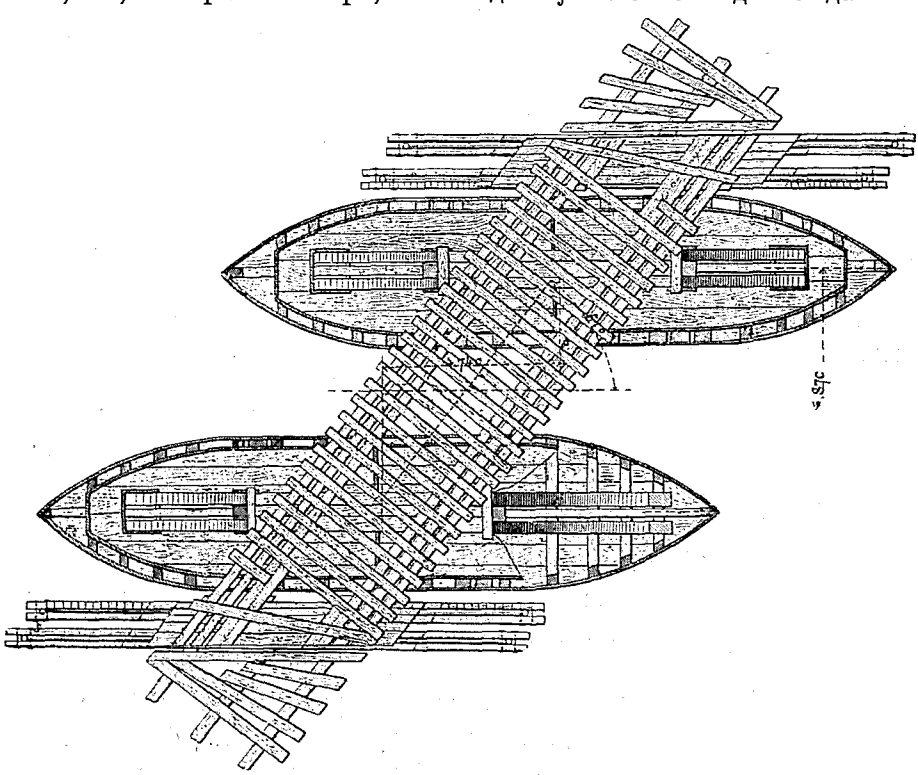


Рис. 146‴.

причислить подвижные мосты, отводимые въ сторону при помощи понтоновъ, которые подводятся подъ фермы. На рис. 146′: 146″, 146‴ и 146⁗ показана разводная часть временнаго косого желѣзнодорожнаго моста черезъ рѣку Прутъ,

построеннаго во время войны 1877 — 1878 г.г. Постоянная часть моста перекрывалась балочными 2 саж. фермами, а разводная часть — фермами Гау длиною по косому направленію въ 10 саж., опиравшимися на свайныя опоры. При необходимости пропуска судовъ, подъ фермы подводились два связанныхъ между собою понтона, загруженные камнемъ (внизу) и водою (вверху надъ палубой). Послѣ выпуска воды понтоны немного всплывали, приподнимали вмѣстѣ съ тѣмъ фермы и снимали ихъ съ опоръ; затѣмъ оставалось только буксиромъ отвести понтоны въ сторону. При установкѣ фермъ моста поступали обратно. Поверхъ нижнихъ поперечныхъ брусьевъ уложены три продольныхъ бруса, въ которые врублены двѣ парныя стойки, перекрытыя насадкой и подпертыя подкосами; въ промежуткѣ между парными стойками находится третья, меньшей высоты, которую въ зависимости отъ горизонта воды можно наращивать; на послѣдней расположены двойные поперечные переводы, на которые опираются фермы. Низъ понтона заполненъ камнемъ; борта сдѣланы выше палубы, такъ что образуется ящикъ, куда можетъ быть накачиваема вода; для выпуска воды въ бортахъ сдѣланъ подъемный щитъ.

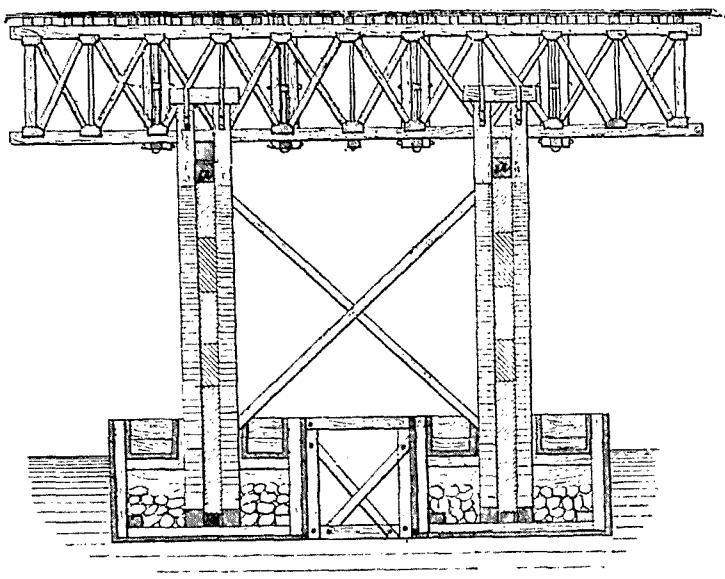


Рис. 146[III].

Основанія опредѣленія усилій. Фермы моста расчитываются, какъ неразрѣзныя балки на нѣсколькихъ опорахъ, а въ извѣстномъ положеніи моста и какъ балка на двухъ опорахъ со свѣшивающимися концами. Усиліе, необходимое для передвиженія моста, опредѣляется по формулѣ:

$$Z = m\left[\frac{Q}{R}(\mu . r + \varphi) + \frac{Q_1}{R} . \varphi\right],$$

гдѣ Q—нагрузка, приходящаяся на катки; Q_1—вѣсъ катковъ; R—радіусъ катковъ; r—радіусъ шипа катковъ; μ—коэффиціентъ трепія въ шипахъ, равный для смазанной стали и бронзы 0,16; φ—коэффиціентъ трепія при катаніи, равный 0,05; m—коэффиціентъ запаса отъ 2 до 6.

b) **Поворотные мосты** открываются вращеніемъ около вертикальной оси. Мосты этой системы раздѣляются на: а) *мосты-краны* и б) *собственно поворотные мосты*. Первый родъ моетовъ характеризуется тѣмъ, что полотна моста открываются на подобіе полотенъ шлюзныхъ воротъ, вращаясь около дѣйствительно существующихъ вертикальныхъ осей. Каждая ферма имѣетъ отдѣльную ось вращенія и можетъ состоять изъ одного или двухъ полотенъ (фиг. 6 и 7). Фермы неодинаковой длины и связаны между собою параллельными поперечинами; соединеніе фермъ съ поперечинами—на шарнирахъ, что позволяетъ одновременное вращеніе обѣихъ фермъ въ одну сторону, при чемъ необходимо, чтобы концы поперечинъ были прикрѣплены на равныхъ разстояніяхъ отъ осей вращенія. Такъ какъ при вращеніи фермы взаимно сближаются, складываются, то подобные

мосты примѣнимы лишь подъ желѣзную дорогу, при чемъ рельсы должны быть непосредственно прикрѣплены къ главнымъ фермамъ.

Ось вращенія упирается своимъ нижнимъ концомъ въ подпятникъ, а верхній конецъ поддерживается въ вертикальномъ положеніи гальсбантомъ, концы котораго задѣланы въ кладку; къ этой оси—круглаго или прямоугольнаго трубчатаго сѣченія—непосредственно приклепывается ферма. Иногда круглая ось имѣетъ по высотѣ цилиндрическіе углубленія и выступы; на послѣдніе опирается какъ бы петлями консоль (фиг. 7), къ верхнему ребру которой приклепана ферма. Въ нѣкоторыхъ примѣрахъ чугунная ось вращенія, подбалка и подкосъ (фиг. 6) образуютъ одно цѣлое—консоль, съ прикрѣпленіемъ фермы къ верхней грани подбалки.

Другой конецъ фермы опирается на особую опору (чаще эксцентрикъ), которая предъ поворотомъ фермы должна быть понижена, для освобожденія конца фермы. Къ одной изъ фермъ прикрѣпленъ горизонтальный зубчатый секторъ; на устоѣ устанавливается горизонтальное зубчатое колесо, зацѣпляющееся за зубцы сектора.



Рис. 147.

Собственно поворотные мосты отличаются отъ предъидущихъ вращеніемъ около нѣкоторой точки, при сохраненіи опредѣленнаго (большею частью горизонтальнаго) положенія мостовыхъ фермъ, такъ что здѣсь вращеніе происходитъ около нѣкоторой воображаемой вертикальной оси. Тѣмъ не менѣе во всѣхъ поворотныхъ мостахъ устанавливаютъ ось вращенія, которая служитъ или исключительно для направленія движенія (фиг. 16, табл. 2), или кромѣ послѣдняго назначенія служитъ еще для принятія на себя, во время вращенія, всего вѣса моста (фиг. 15, табл. 2 и фиг. 20, табл. 3) или части его.

По отношенію къ числу и мѣсту расположенія оси вращенія могутъ быть четыре характерныхъ случая:

а) одна ось вращенія на одной изъ опоръ—*однорукавный* и *однополотный* мостъ (рис. 147, фиг. 12 и 19а, табл. 2);

б) двѣ оси вращенія, по одной на каждой опорѣ — *однорукавный* и *двухполотный* мостъ (рис. 148, фиг. 8 и 9, табл. 1 и фиг. 9, табл. 2);

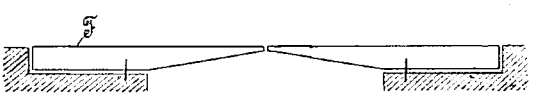


Рис. 148.



Рис. 149.

в) одна ось вращенія на опорѣ, помѣщаемой по срединѣ между двумя смежными опорами, — *двухрукавный симметричный мостъ* (рис. 149, фиг. 10, табл. 1).

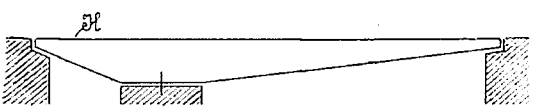


Рис. 150.



Рис. 151.

г) одна ось вращенія на опорѣ, неодинаково удаленной отъ смежныхъ опоръ,—*двухрукавный несимметричный мостъ* (рис. 150).

Встрѣчаются соединенные типы, какъ напр. двухполотный и двухрукавный несимметричный мостъ (рис. 151 и фиг. 11, табл. 1) въ Брестѣ, во Франціи.

Ось вращенія можетъ быть помѣщена: а) *по оси* моста (фиг. 8, табл. 1) или б) *внѣ оси* (фиг. 9, табл. 2 и фиг. 9′, табл. 1).

Въ отношеніи подвижности оси вращенія мосты дѣлятся на двѣ группы:

а) на мосты съ *неподвижной* осью вращенія, *не* соединенной съ пролетными частями моста (рис. 152, 162, фиг. 8, табл. 1, фиг. 15 и 16, табл. 2);

б) мосты съ *подвижной* вращающейся осью, неразрывно связанной съ пролетною частью (рис. 154, фиг. 19, табл. 2 и фиг. 20, табл. 3).

Наконецъ, въ отношеніи способа передачи давленія отъ вѣса моста во время вращенія,—поворотные мосты могутъ быть раздѣлены на три группы:

а) на мосты съ передачей давленія *исключительно* на *ось вращенія* (рис. 152, 153, фиг. 15, 19, табл. 2 и фиг. 20, табл. 3);

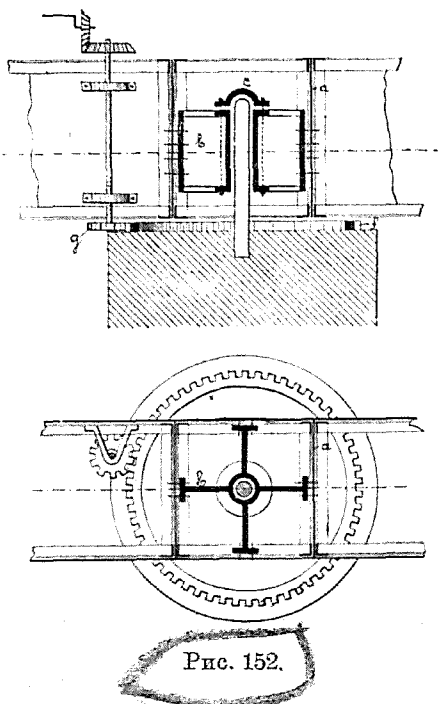


Рис. 152.

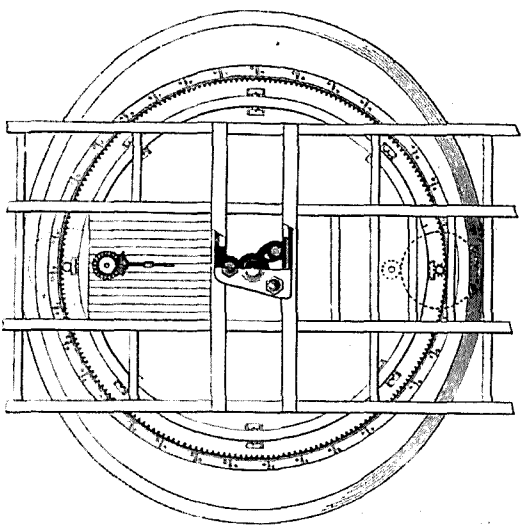


Рис. 153.

б) съ передачей давленія *исключительно* на *катки*, уложенные по кругу катанія (рис. 162, фиг. 8 и 9, табл. 1, фиг. 16, табл. 2);

в) съ передачей давленія *частью* на *ось вращенія*, *частью* на *катки* (фиг. 9′, табл. 1, фиг. 9 и 12, табл. 2).

Разсмотримъ нѣсколько подробнѣе эти три типа. Замѣтимъ предварительно, что въ закрытомъ положеніи поворотный мостъ ничѣмъ не отличается отъ постояннаго моста и фермы его представляютъ въ большинствѣ случаевъ неразрѣзную двухпролетную балку. Предъ вращеніемъ крайнія опоры балки устраняются; сохраняется лишь средняя опора, и каждая изъ половинъ фермы обращается въ балку, закрѣпленную однимъ концомъ и свободную на другомъ. Находясь въ такихъ условіяхъ, балка - мостъ подвергается вращательному движенію. Такъ какъ вращеніе всего моста происходитъ около одной и той же воображаемой вертикальной оси, т. е. безъ измѣненія взаимнаго разстоянія между фермами, то отсюда слѣдуетъ, что всѣ фермы моста должны быть взаимно соединены въ поперечномъ направленіи на столько прочно, чтобы онѣ составляли одно цѣлое, одну раму. Для осуществленія возможности вращенія подобной рамы наиболѣе простымъ по идеѣ рѣшеніемъ представляется подпереть раму осью въ одной точкѣ, въ центрѣ тяжести рамы, и затѣмъ заставлять раму вра-

щаться около этой точки съ сохраненіемъ горизонтальнаго положенія. Схематически этотъ типъ указанъ на рис. 152. Мостъ предположенъ состоящимъ изъ двухъ фермъ; между фермами помѣщены двѣ поперечныя связи (*a*), такъ что образуется замкнутый четыреугольникъ; еслибы было нѣсколько фермъ, то этотъ четыреугольникъ былъ бы устроенъ между средними фермами, а остальныя фермы были бы взаимно связаны поперечными связями. Ось вращенія, вдѣланная въ кладку, расположена въ центрѣ этого четыреугольника; на ось надѣта втулка (*b*) чугунная или стальная, съ четырьмя отростками, пальцами, которые прикрѣпляются болтами къ стѣнкамъ четыреугольника. На вершину оси надѣта шапка (*c*) съ закраинами, къ которой подвѣшена болтами втулка; такимъ образомъ весь мостъ какъ бы подвѣшенъ къ вершинѣ оси. Для сообщенія ему вращательнаго движенія къ каменной опорѣ прикрѣпляется чугунное зубчатое кольцо (*f*), за которое зацѣпляется зубчатое колесо (*g*), насаженное на ось, прикрѣпленную неразрывно къ одной изъ частей фермъ моста; по приведеніи этой оси во вращательное движеніе помощью системы зубчатыхъ колесъ, весь мостъ, подвѣшенный къ вершинѣ оси вращенія, вдѣланной въ кладку, начинаетъ вращаться, направляясь въ своемъ движеніи той же осью. Для того, чтобы отъ дѣйствія вѣтра или другихъ причинъ не было перекашиванія моста и изгиба оси, часто помѣщаютъ подъ фермы отъ одного до четырехъ предохранительныхъ колесъ (фиг. 15, табл. 2), подвергающихся лишь случайной нагрузкѣ во время перекашиванія.

На изображенномъ на фиг. 15, табл. 2 поворотномъ двухрукавномъ мосту черезъ Oude-Maas на линіи Дортрехтъ-Роттердамъ, подъ два пути, съ двумя пролетами въ свѣту по 20 м., пролетная часть моста, состоящая изъ четырехъ фермъ, подвѣшена къ вершинѣ оси вращенія. Стальная ось вращенія вставлена въ чугунную станину, вдѣланную въ кладку опоры. Въ виду значительной высоты оси и затруднительности пригнать точно муфту къ оси по всей высотѣ ея, муфта въ данномъ случаѣ сдѣлана составной (рис. 153); на основаніе и вершину оси надѣты кольцевыя муфты съ тремя отростками въ видѣ петель; къ поперечнымъ балкамъ, между которыми помѣщается ось вращенія, прикрѣплены болтами во всю высоту балки всего три чугунныя подушки съ цилиндрическимъ выступомъ кольцевого сѣченія, который приходится между петлями верхней и нижней кольцевой муфты. Стяжные болты, пропущенные сквозь отверстіе двухъ муфтъ и вставленнаго между ними выступа подушки, проходятъ вмѣстѣ съ тѣмъ сквозь шапку, надѣтую на вершину оси. Такимъ образомъ фермы подвѣшены къ шапкѣ, и благодаря тому, что ферма связана съ верхней и нижней муфтой, плотно облегающей ось вращенія, исключена возможность колебанія фермъ во время движенія. Къ нижнему поясу всѣхъ четырехъ фермъ приклепанъ плоскій кругъ, который во время вращенія можетъ опираться (рис. 153) на шесть постоянныхъ предохранительныхъ роликовъ, установленныхъ на опорѣ. Вращеніе моста производится при помощи системы зубчатыхъ зацѣпленій людьми, стоящими на особой площадкѣ, прикрѣпленной къ фермамъ; система зубчатыхъ зацѣпленій неразрывно связана съ фермами; чугунный же зубчатый кругъ прикрѣпленъ къ опорѣ. (Еслибъ система зубчатыхъ зацѣпленій, лебедка, была установлена на опорѣ, тогда, обратно, кругъ съ зубцами долженъ былъ бы быть непрерывно соединенъ съ фермами моста).

Разсматриваемый типъ мостовъ, требующій наименьшаго усилія для вращенія, въ виду ограниченнаго тренія, можетъ быть, однако, примѣненъ лишь для мостовъ

незначительной ширины, такъ какъ при широкихъ моетахъ, особенно не высокихъ, невозможно устроить солидную поперечную связь, и во время вращенія получался бы не только продольный, но и поперечный прогибъ моста, что затруднило бы установку окопечностей фермъ при закрытіи моста.

Вмѣсто того, чтобы подвѣшивать мостъ къ вершинѣ оси вращенія, можно въ извѣстныхъ случаяхъ сдѣлать передачу по всей высотѣ оси, напримѣръ, путемъ винтовой парѣзки на оси и на внутренней цилиндрической поверхности втулки, какъ это изображено на рис. 154; ось вращенія снабжена сверхъ того вверху шипомъ, на который надѣвается ключъ для поднятія или опусканія моста на незначительную величину. Въ этомъ случаѣ ось вращенія составляетъ уже одно цѣлое съ пролетными частями, т. е. она подвижная,—и пята вращенія находится не въ вершинѣ оси, а въ основаніи ея.

Наконецъ, могутъ быть случаи, когда вѣсъ моста передастся непосредственно на вершину оси (фиг. 20, табл. 3) съ помѣщеніемъ пяты вращенія также въ основаніи оси. Въ показанномъ

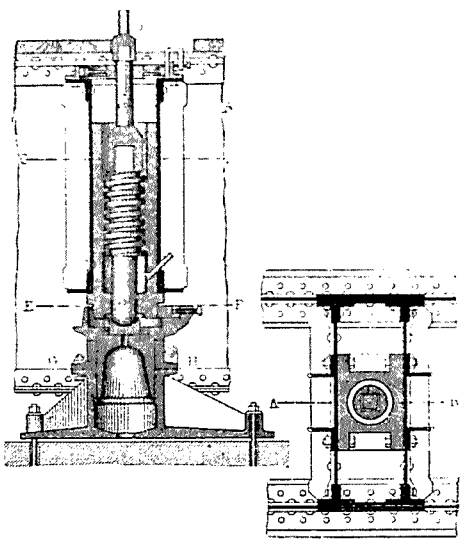


Рис. 154.

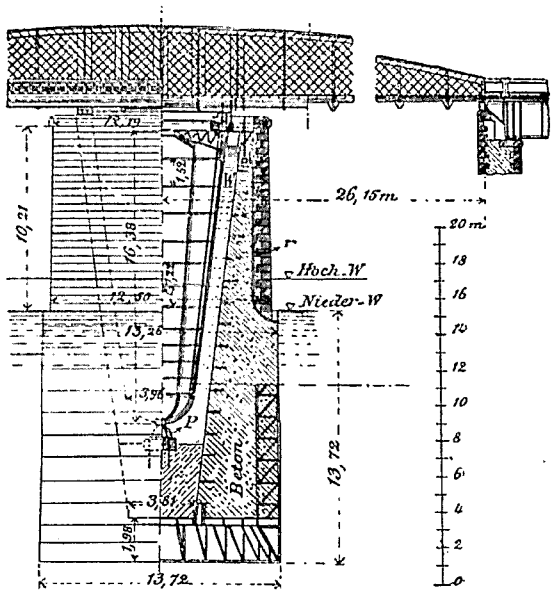


Рис. 154'.—Поворотный мостъ въ гавани Darling близъ Сиднея.

на фиг. 20 проектѣ инженера Lüders'a фермы поддерживаются парной поперечной балкой, которая верхней своей половиной замѣняетъ обыкновенную, пролетную поперечную балку; между парными поперечными балками помѣщены продольныя балки; къ образовавшемуся такимъ образомъ четырсугольнику прикленана снизу коническая полая ось съ пятою вращенія на нижнемъ концѣ. Для обезпеченія моста отъ перекашиванія ось имѣетъ вверху кольцевое утолщеніе, касающееся катковъ съ вертикальной осью вращенія, прикрѣпленныхъ къ устою; для осмотра пяты устроены сходни.

На рис. 154' изображенъ оригинальный проектъ поворотнаго моста въ гавани Darling близъ Сиднея, имѣющій много общаго съ идеею проекта Людерса. Фермы моста, пролетомъ 18,29 метр. и шириною 11,58 метр., поддерживаются высокимъ полымъ обратнымъ конусомъ съ осью вращенія, расположенной на 16,38 метр. ниже верхней поверхности опоры. Кольцеобразное пространство шириною 0,76 метр. между наружною поверхностью конуса и внутреннею поверхностью коническаго углубленія въ опорѣ можетъ быть наполняемо водой; такимъ образомъ, давленіе на пяту вращенія можетъ быть уменьшено до произвольной величины или даже (какъ напр. во время поворота) доведено до нуля, и слѣд. при вращеніи необходимо преодолѣть лишь треніе между конусомъ и водою. Пята вращенія такъ устроена, что при подъемѣ до 100 мм. она не выходитъ изъ соотвѣт-

ственнаго углубленія въ конусѣ; кромѣ того, обратный конусъ удерживается въ вертикальномъ положеніи 16-ю роликами.

Для уменьшенія тренія пяты о подпятникъ часто между ними прокладываютъ особые диски скольженія изъ стали или изъ фосфористой бронзы (рис. 155), при чемъ верхній и нижній диски неподвижно прикрѣплены шпеньками къ оси вращенія и соотвѣтственно къ подпятнику. При діаметрахъ оси около 12 дм. давленіе на кв. дм. принимается не болѣе 75 $\frac{\text{пуд.}}{\text{дм.}^2}$, а при меньшихъ діаметрахъ до 150 $\frac{\text{пуд.}}{\text{дм.}^2}$. Болѣе совершенные результаты достигаются примѣненіемъ коническихъ катковъ Селлерса (рис. 156) изъ закаленной стали на чугунномъ или стальномъ подпятникѣ; во избѣжаніе заѣданія катковъ и для обезпеченія сохраненія между ними постояннаго разстоянія основанія и вершины конусовъ снабжаются цилиндрическими выступами, которыми они вставлены въ металлическія кольца, перемѣщающіяся вмѣстѣ съ катками. [Наибольшее допускаемое напряженіе на квадратный дюймъ продольнаго сѣченія катка $R = 12\sqrt{d}\ \frac{\text{пуд.}}{\text{дм.}^2}$, гдѣ d — средній діаметръ въ дюймахъ].

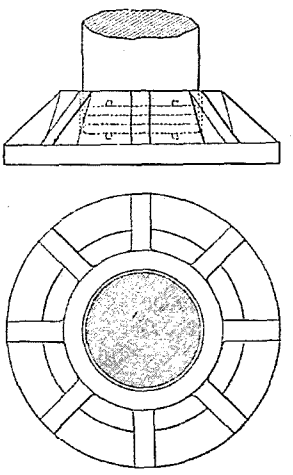


Рис. 155.

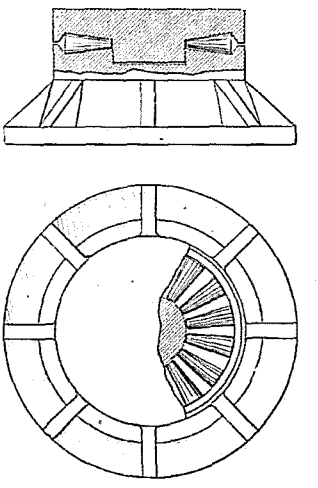


Рис. 156.

Только въ немногихъ примѣрахъ этого типа вѣсъ моста и подвижной нагрузки, при закрытомъ положеніи моста, передаются на ось вращенія; обыкновенно во избѣжаніе перенапряженія и смятія пяты отъ ударовъ подвижной нагрузки — фермы моста при закрытомъ положеніи подпираются особыми клинообразными подушками, домкратами и т. п., установленными подъ каждой фермой по линіи, проведенной чрезъ поперечную ось моста. Предъ поворотомъ моста, какъ эти опоры, такъ и концевыя опоры понижаются.

Если для вращенія примѣняется гидравлич. давленіе, при чемъ осью вращенія служитъ ныряло пресса, то вмѣсто пониженія среднихъ и концевыхъ оноръ обыкновенно поднимаютъ весь мостъ, снимая его этимъ съ опоръ, и затѣмъ уже вращаютъ. При этомъ необходимо такое приспособленіе, чтобы при закрытомъ положеніи мостъ не опирался въ средней своей части на ныряло пресса, а имѣлъ бы независимыя опоры.

Одно изъ приспособленій, примѣненное на поворотномъ мосту, близъ Рендсбурга указано на рис. 133 и 161. Другое приспособленіе состоитъ обыкновенно въ томъ, что на ныряло пресса становятъ солидную поперечную балку, а на нее уже фермы моста (фиг. 19с, табл. 2); поперечная балка имѣетъ снизу такое скошенное очертаніе, что прежде, чѣмъ ныряло займетъ нижнее положеніе, поперечная балка опрется уже на каменную кладку. Показанный на фиг. 19 однопролетный поворотный мостъ въ Марсели въ Bassin national, подъ обыкновенную и желѣзную дороги, пролетомъ въ свѣту въ 28 метр. имѣетъ три главныя фермы, опирающіяся средней частью на трубчатую изъ трехъ стѣнокъ поперечную балку (a). Эта послѣдняя прикрѣплена къ особой тарелкѣ, свободно опирающейся на вершину ныряла. Когда ныряло занимаетъ нижнее положеніе въ прессѣ, то между тарелкой и ныряломъ остается просвѣтъ около 1 сант.; концы фермъ при закрытомъ положеніи моста

опираются на опоры, при чемъ опора, находящаяся подъ короткимъ болѣе тяжелымъ концомъ, можетъ быть по произволу понижена. Вблизи опоръ короткой половины подведено подъ каждой фермой по предохранительному колесу, которое при закрытомъ положеніи не касается круга катанія. Предъ поворотомъ моста предварительно дѣйствіемъ пресса поднимаютъ ныряло, а слѣдовательно и мостъ на 6—8 сант. и одновременно понижаютъ опоры на короткой половинѣ; фермы незначительно перекидываются, пока предохранительныя колеса не коснутся рельсовъ. Прессъ съ ныряломъ помѣщены на столько близко къ центру тяжести всего моста, что изъ общаго вѣса въ 700 тонъ на каждое изъ трехъ колесъ приходится по 5 тонъ, и, слѣдовательно, колеса очень мало обременены. Во избѣжаніе искривленія всѣ три колеса должны одновременно коснуться круга катанія; поэтому они расположены на одной прямой, нормальной къ продольной оси, что вынудило уложить два круга катанія — одинъ для крайнихъ колесъ, а другой для средняго колеса. Высота желѣзнаго кованнаго цилиндра (рис. 157) 0,890 метр.; внѣшній діаметръ 0,900 метр.; внутренній діаметръ и діаметръ ныряла 0,580 м. Для удобства отковки дно цилиндра вставное, соединенное водонепроницаемымъ кожанымъ воротникомъ съ каучуковой прокладкой; верхъ ныряла закругленъ, такъ что тарелка касается его въ одной точкѣ. Такъ какъ діаметръ рабочаго поршня гидравлическаго пресса сдѣланъ былъ въ 0,145 метр., то необходимое давленіе на площадь рабочаго поршня:

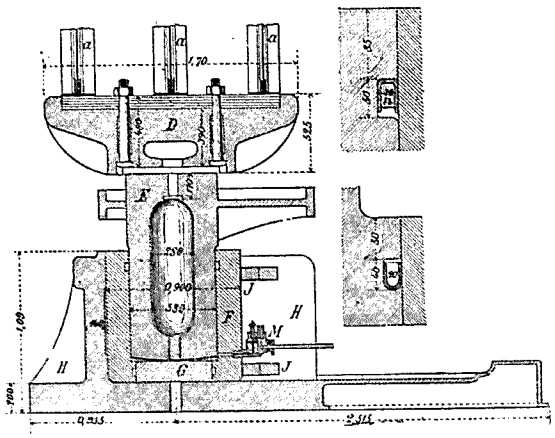


Рис. 157. — Деталь оси вращенія поворотнаго моста въ Марселѣ.

$$p = \frac{P \cdot \omega}{\Omega} = \frac{P \cdot d^2}{D^2} = \frac{865 \text{ тон.} \times \overline{0{,}145}^2}{\overline{0{,}580}^2} = 41 \text{ тонн.}$$

или 41.000 кил., что при площади рабочаго поршня въ:

$$\frac{\pi d^2}{4} = \frac{3{,}14 \times \overline{14{,}5}^2}{4} = 166 \text{ кв. сант.}$$

соотвѣтствуетъ давленію въ:

$$\frac{41000}{166} = 249 \frac{\text{кил.}}{\text{сант.}}$$

или приблизительно 249 атмосферъ. Водопроводъ же могъ доставлять воду подъ давленіемъ лишь 52 атмосферъ. Увеличеніе давленія до 270 атмосферъ достигнуто слѣдующимъ устройствомъ.

Вблизи устоя установлены два горизонтальныхъ цилиндра A и B (рис. 158) разныхъ діаметровъ въ 0,420 м. и 0,145 м., взаимно соединенныхъ болтами C и имѣющихъ поршни F и f на общемъ штокѣ. Поршень малаго цилиндра B играетъ роль поршня рабочаго цилиндра для гидравлическаго пресса D — съ ныряломъ, поддерживающимъ мостъ. Вода изъ водопровода съ давленіемъ 52 атмосферы, доставляемая трубой t, можетъ быть направлена по трубѣ t'' въ цилиндръ F, а по трубѣ t' — въ малый цилиндръ B и въ сообщающійся съ нимъ цилиндръ гидравлическаго пресса. Труба t' снабжена двумя клапанами n и m, открывающимися въ сторону цилиндровъ B и D, и спускной трубой съ краномъ e; труба t'' снабжена краномъ k и спускной трубой съ краномъ i. Выпустивъ изъ F

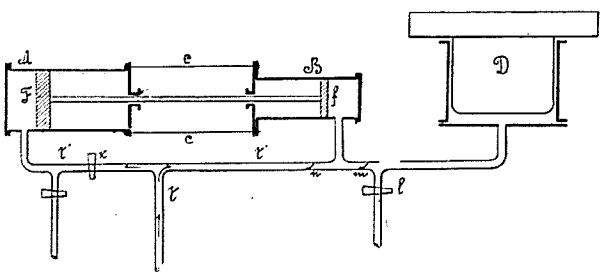


Рис. 158.

воду и закрывъ краны *i* и k, цилиндръ *B* приводятъ въ сообщеніе съ водопроводомъ. Давленіемъ воды поршни *f* и *F* отодвигаются влѣво, поршень же *D* остается на мѣстѣ, такъ какъ для поднятія его давленіе воды должно быть не 52 атмосферы, а 249 атмосферъ. Затѣмъ открываютъ кранъ *K* и впускаютъ воду изъ водопровода въ *F*. Благодаря разности площадей *F* и *f*, давленіе со стороны *F* болѣе, и оба поршня начнутъ перемѣщаться вправо; при этомъ давленіе въ *B* начинаетъ увеличиваться, клапанъ (*n*) закрывается, и вода увеличеннаго давленія начинаетъ дѣйствовать на ныряло *D*. Очевидно, что площади *F* и *f* должны быть обратно пропорціональны давленіямъ, при которыхъ должны работать оба цилиндра, т. е. въ данномъ случаѣ обратно пропорціональны 249 и 52. Въ дѣйствительности отношеніе взято болѣе. (Авторъ проекта указываетъ, что діаметръ ныряла слѣдовало бы сдѣлать въ 1,5 метр., чтобы пользоваться давленіемъ въ 52 атмосферы, и верхнюю поверхность ныряла сдѣлать плоскою, а не выпуклою). Для производства слѣдующей операціи, выпускаютъ воду изъ *F*, клапанъ *n* открывается, между тѣмъ какъ клапанъ *m* остается закрытымъ, и вода изъ водопровода снова устремляется въ *B*. Для опусканія моста необходимо открыть спускной кранъ *e*.

Для вращенія моста пользуются также гидравлической силой. Къ фермамъ въ уровнѣ нижняго пояса прикрѣплено чугунное кольцо (*T*) (фиг. 19*b*, табл. 2) съ выемкой по ободу. На площадкѣ устоя помѣщены два горизонтальныхъ пресса діаметромъ 0,30 метр., обращенные цилиндрами въ сторону оси вращенія моста. Къ основанію каждаго изъ цилиндровъ прикрѣплено по одному шкиву діаметромъ 0,60 метр., а къ вершинѣ штока поршня—по два такихъ же шкива. Цѣпь толщиною 22 метр. прикрѣплена концами къ основанію цилиндровъ и послѣдовательно огибаетъ шкивъ поршня, шкивъ цилиндра, второй шкивъ поршня и чугунное кольцо; оконечности штоковъ обонхъ цилиндровъ взаимно связаны цѣпью, перекинутой чрезъ горизонтальный шкивъ. Вода подъ давленіемъ въ 52 атмосферы впускается попеременно въ тотъ либо другой цилиндръ и, вызывая движеніе поршней, производитъ вращеніе моста. Для обезпеченія правильности подъема и вращенія моста въ опорѣ, къ стѣнкамъ углубленія прикрѣплены два направляющихъ катка.

Большею частью въ подобныхъ случаяхъ для подъема моста пользуются водою, доставленною *аккумуляторомъ*, т. е. цилиндромъ, поршень котораго нагруженъ грузомъ, отвѣчающимъ тому давленію, подъ которымъ желаютъ имѣть воду. Предъ каждымъ подъемомъ моста необходимо заблаговременно накачивать воду въ аккумуляторъ подъ вышеуказаннымъ давленіемъ. Иногда вмѣсто того, чтобы заставлять воду аккумулятора дѣйствовать непосредственно на ныряло пресса моста, предпочитаютъ дѣйствовать ею по предложенію Barret на поршень *рекуператора* и затѣмъ уже помощью его на ныряло пресса моста. Какъ увидимъ ниже, нагрузка поршня аккумулятора можетъ быть въ такомъ случаѣ значительно понижена сравнительно съ тѣмъ случаемъ, еслибы не было рекуператора. Общее устройство аккумулятора и связаннаго съ нимъ рекуператора изображено схематически на фиг. 18*a*, табл. 2; *Y*—цилиндръ аккумулятора; *R*—поршень, нагруженный грузомъ P_1. Помощью трубки *a* съ краномъ f' цилиндръ аккумулятора можетъ быть приведенъ въ сообщеніе съ насосомъ, доставляющимъ воду, а помощью трубы *v* съ краномъ *f* сообщеніе устанавливается съ рекуператоромъ. Послѣдній представляетъ собою гидравлическій прессъ, имѣющій ту особенность, что поршень *B* съ грузомъ *P* помѣщенъ снаружи, а цилиндръ внутри; въ стѣнкѣ цилиндра имѣется въ одномъ мѣстѣ утолщеніе (фиг. 18*b*, табл. 2), въ которомъ устроенъ каналъ *U* съ горизонтальнымъ вверху отвѣтвленіемъ, сообщающій кольцевое пространство *T* (между нагруженнымъ цилиндромъ, поршнемъ и внутреннимъ цилиндромъ) съ цилиндромъ аккумулятора; это сообщеніе достигается трубой *v* съ краномъ *f*. Рекуператоръ имѣетъ сверхъ того постоянное сообщеніе помощью трубы *S* съ прессомъ моста, а помощью трубы *H*, снабженной краномъ, имѣетъ временное сообщеніе съ насосомъ. Поршень *E* рекуператора нагруженъ такимъ грузомъ *P*, чтобы въ зависимости отъ вѣса моста, діаметра ныряла пресса

моста, діаметра поршня E — рекуператора — сопротивленіе пыряла съ мостомъ подъему было нѣсколько *болье* сопротивленія подъему поршня E съ грузомъ P. Слѣдовательно, если разобщить рекуператоръ отъ аккумулятора и начать накачивать воду по трубѣ H, то поршень E поднимается до верху, а пыряло моста останется на мѣстѣ. Если затѣмъ разобщить рекуператоръ съ насосомъ, то поршень E останется въ приподнятомъ положеніи. Для того, чтобы заставить его опуститься, а, слѣдовательно, и поднять ныряло пресса моста, необходимо увеличить давленіе на поршень E, что и достигается введеніемъ воды изъ аккумулятора въ кольцевое пространство T, подъ давленіемъ P_1. Для опусканія моста выпускается вода изъ кольцеваго пространства T; тогда давленіе моста опять получаетъ перевѣсъ, и поршень E поднимается вверхъ. Для слѣдующаго поднятія моста необходимо вновь предварительно поднять поршень аккумулятора съ грузомъ P_1 до верху и повторить тѣ же пріемы. Слѣдовательно, въ данномъ случаѣ необходимо *одинъ* разъ накачать воду въ рекуператоръ подъ давленіемъ P и затѣмъ *періодически*, передъ каждымъ подъемомъ моста, накачивать воду въ аккумуляторъ подъ давленіемъ P_1, отвѣчающимъ разности давленія вѣса моста и вѣса P; между тѣмъ какъ, еслибъ не было рекуператора и цилиндръ аккумулятора помощью трубы v былъ непосредственно сообщенъ съ прессомъ моста, приходилось бы періодически накачивать воду подъ давленіемъ P, отвѣчающимъ полному давленію вѣса моста.

На фиг. 21, табл. 3 показанъ подъемно-поворотный мостъ въ Марсели въ Bassin Joliette пролетомъ въ свѣту въ 21,3 метр.; вся длина фермъ 42,90 метр.; длинный конецъ имѣетъ 27,14 м., въ длину, а короткій—14,56 метр. Если предвидится пропускъ высокихъ судовъ, тогда мостъ поднимается предварительно на 20 сант. и затѣмъ вращается, опираясь во время вращенія заднимъ, болѣе тяжелымъ концомъ на предохранительное колесо. Вращеніе производится помощью гидравлическихъ прессовъ, установленныхъ на берегу, и помощью цѣпи, надѣтой на ободъ круга, прикрѣпленнаго къ нижнимъ поясамъ фермы. При проходѣ же невысокихъ судовъ мостъ поднимаютъ на поршнѣ на 90 сант., при чемъ фермы наклоняются подъ угломъ 68°, съ возвышеніемъ при этомъ длиннаго конца на 4,6 метра.

Преслѣдуя цѣль освободить пяту отъ нагрузки при закрытомъ положеніи моста, извѣстный инженеръ Шведлеръ предложилъ слѣдующее устройство:

Ось вращенія помѣщается нѣсколько въ сторонѣ, но очень незначительно, отъ центра тяжести фермы; рядомъ съ осью вращенія, въ сторону болѣе легкаго рукава моста, располагается независимая средняя опора (рис. 159 и фиг. 12, табл. 2), немногимъ превышая высоту оси вращенія. Обѣ крайнія опоры той же высоты, какъ и средняя опора, при чемъ крайняя опора, поддерживающая болѣе тяжелый рукавъ, можетъ быть понижена. Между этой опорой и осью вращенія прикрѣпляется къ фермѣ предохранительное колесо. Мостъ въ закрытомъ положеніи опирается на три опоры A, C и B (рис. 159). Предъ поворотомъ моста понижаютъ опору A; ферма начинаетъ опрокидываться, вращаясь около опоры C, пока не коснется оси вращенія D. Еслибъ послѣдняя была помѣщена точно въ центрѣ тяжести, то дальнѣйшее пониженіе прекратилось бы, и можно было бы начать вращать мостъ, но мостъ находился бы во время вращенія въ неустойчивомъ положеніи. Помѣщеніе же оси вращенія внѣ центра тя-

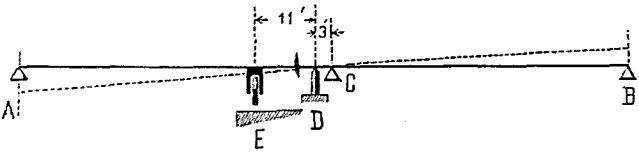


Рис. 159.

жести заставляетъ мостъ опрокидываться, пока колесо *E* не коснется площадки опоры, послѣ чего начинаютъ уже вращать мостъ. Предъ закрытіемъ моста поступаютъ обратно, т. е. повышаютъ опоры *A* на столько, чтобъ приподнять ферму и поставить ее въ горизонтальномъ положеніи на три опоры *A*, *C* и *B*.

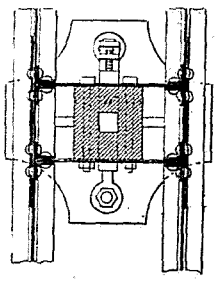


Рис. 160.

На фиг. 12, табл. 2 изображенъ построенный по этому принципу мостъ пролетомъ въ свѣту въ 12,24 метр. Въ закрытомъ положеніи каждая изъ фермъ опирается на среднюю опору, поставленную вправо отъ оси вращенія на обрѣзѣ устоя, и затѣмъ на двѣ крайнія опоры. Задняя опора на болѣе тяжеломъ концѣ такъ устроена, что можетъ быть по произволу понижена и повышена путемъ вращенія безконечнаго горизонтальнаго винта (рис. 160). Ось вращенія состоитъ изъ чугунной станины, въ которую вставлена неподвижная ось; муфта состоитъ изъ открытаго съ обоихъ концовъ чугуннаго цилиндра, при чемъ верхній край муфты выше вершины оси. Для передачи давленія на вершину оси, въ противоположныхъ стѣнахъ муфты на уровнѣ вершины оси сдѣланы прямоугольныя отверстія, куда вставляютъ стальной брусокъ, опи-

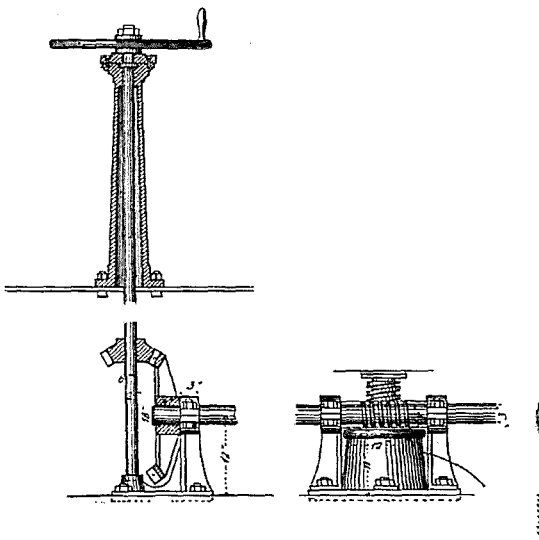


Рис. 160′.

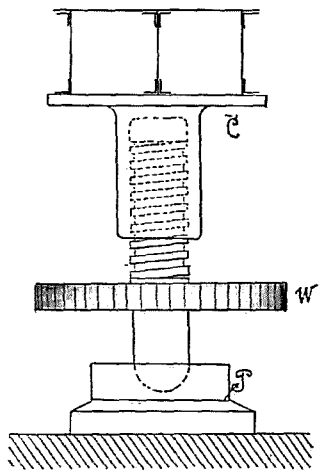


Рис. 160″.

рающійся на вершину оси и замѣняющій въ данномъ случаѣ шапку муфты; для закрѣпленія этого бруска въ отверстіи помѣщенъ подъ нимъ другой брусокъ клинообразнаго очертанія. По обѣ сто-

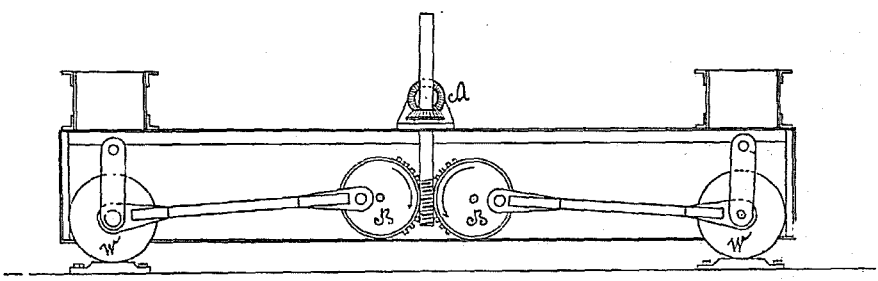


Рис. 160‴.

ропы фермы подъ угломъ къ ней укрѣплены двѣ горизонтальныя оси, на которыхъ насажены два предохранительныхъ колеса. Другой примѣръ показанъ на рис. 133 и 161.

Второй типъ поворотныхъ мостовъ съ передачей давленія, какъ во время вращенія, такъ и при закрытомъ положеніи моста исключительно на катки по

кругу катанія изображенъ схематически (рис. 162) и отличается отъ предъидущаго типа только тѣмъ, что муфта и ось вращенія служатъ лишь для направленія движенія. Весь же грузъ пролетныхъ частей, посредствомъ цилиндрическаго барабана приклепаннаго къ фермамъ снизу или въ уровнѣ съ ними,

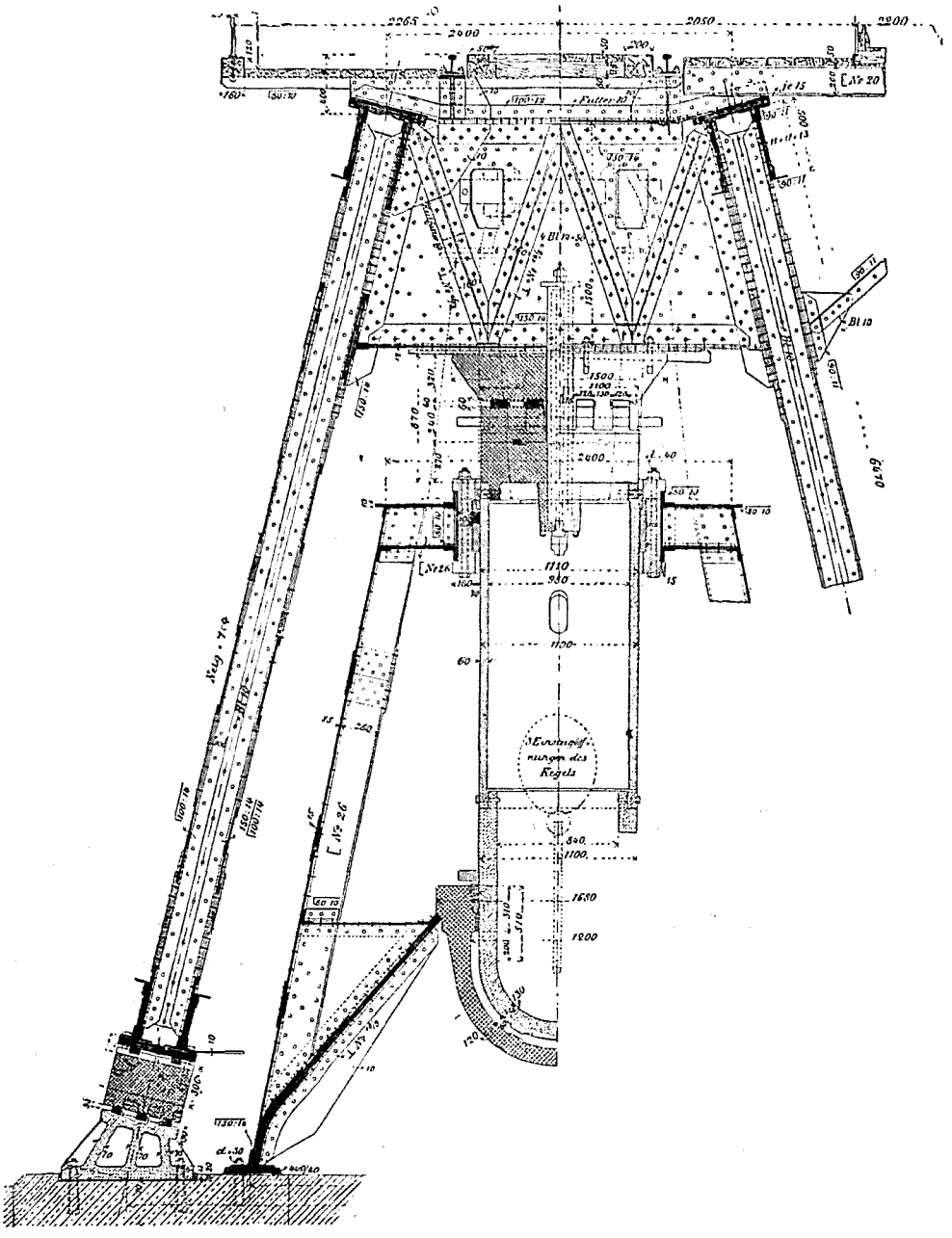


Рис. 161.—Деталь оси вращенія поворотнаго моста близъ Рендсбурга на Сѣверномъ каналѣ.

передается на катки, расположенные по кругу катанія. Для того, чтобы удержать катки во взаимно неизмѣнномъ разстояніи, оси катковъ вставлены въ два желѣзныхъ кольца, которыя соединяются въ свою очередь радіальными тягами съ кольцомъ, свободно облегающимъ основаніе оси вращенія. Иногда кольца, въ которыя вставлены оси катковъ, устраиваются неподвижными, но лучше для уменьшенія тренія сдѣлать ихъ подвижными. Съ этой же цѣлью

кольцо, облегающее основаніе оси вращенія, часто располагаютъ на рядѣ чугунныхъ ядеръ.

Въ этомъ типѣ особенное вниманіе должно быть обращено на равномѣрную нагрузку всѣхъ катковъ, что въ достаточной степени удовлетворяется, если, при мостахъ съ ѣздою по верху, число фермъ довольно значительно и онѣ близко разставленны. Въ мостахъ съ ѣздою по низу и вообще въ желѣзнодорожныхъ мостахъ съ числомъ фермъ не болѣе двухъ, гдѣ слѣдовательно всего 4 точки передачи давленія, этому условіе стараются удовлетворить, примѣняя высокій барабанъ, способный распредѣлить сосредоточенный грузъ на рядъ катковъ (рис. 163). Несравненно дѣйствительнѣе въ этомъ случаѣ пріемъ, примѣняемый американскими инженерами, съ передачей груза на 8 точекъ барабана (рис. 164), для чего діаметръ барабана долженъ быть такъ выбранъ въ зависимости отъ очертанія прямоугольника (лучше квадрата), образуемаго фермами и двумя поперечными балками, чтобы барабанъ засѣкалъ прямоугольникъ въ 8 равноотстоящихъ точкахъ, при каковыхъ условіяхъ всѣ эти точки можно считать одинаково нагружеиными.

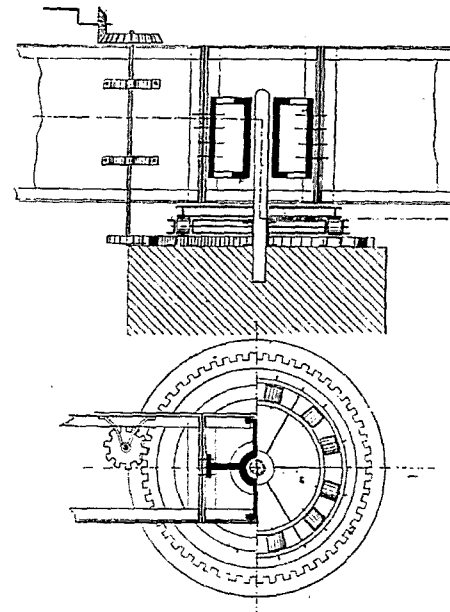


Рис. 162.

На фиг. 8, табл. 1 изображенъ одинъ изъ примѣровъ второго типа мостовъ (въ Лондонскихъ докахъ); мостъ двухполотный; величина пролета въ свѣту 19 метр.; чугунныя фермы числомъ восемь, состоящія по длинѣ изъ двухъ косяковъ, взаимно связаны по концамъ и на остальномъ протяженіи

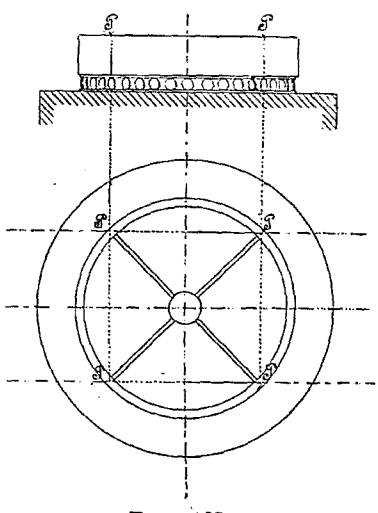


Рис. 163.

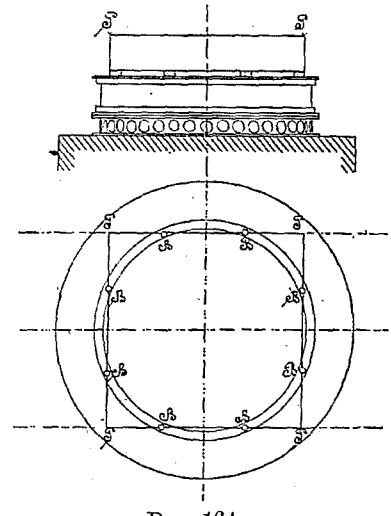


Рис. 164.

(не показано на чертежѣ); при помощи прикрѣпленнаго къ нижнему поясу плоскаго круга весь мостъ опирается на рядъ катковъ, расположенныхъ на кругѣ катанія и съ осями вращенія, вставленными въ два концентрическихъ кольца; кольца соединены желѣзными тягами съ другимъ кольцомъ, облегающимъ свободно цилиндрическую поверхность станины; послѣдняя—полаго цилиндрическаго сѣ-

чснія; внутрь станины вставлена цилиндрическая ось, отлитая за одно съ чугунной плитой, прикрѣпленной къ двумъ среднимъ фермамъ (не показано на чертежѣ); ось не принимаетъ никакого давленія и служитъ лишь для направленія движенія. Чугунныя плиты, служащія связью фермъ въ заднемъ концѣ, имѣютъ стѣнку, отлитую по дугѣ круга; на половинѣ высоты этой стѣнки прикрѣплена криволинейная кремальерка, за которую зацѣпляется колесо (*c*), приводимое въ движеніе силою человѣка при помощи рукоятки, двухъ коническихъ колесъ и колесъ (*a*) и (*b*).

На фиг. 16, таб. 2 показанъ другой примѣръ такого типа (мостъ чрезъ Гавель въ Потсдамѣ); мостъ подъ два пути, четыре фермы, кругъ катанія, діаметромъ менѣе разстоянія между крайними фермами, прикленанъ не снизу къ фермамъ, а между ними и поперечными балками (рис. 165) и сдѣланъ той же высоты, какъ послѣднія балки. Ось вращенія вставлена въ станину и закрѣплена чекой; муфта, прикрѣпленная къ поперечнымъ балкамъ и къ среднимъ фермамъ, свободно облегаетъ ось вращенія, опираясь на верхній край станины. На горловину послѣдней надѣто свободно чугунное кольцо, къ которому прикрѣплены тяги, связанныя съ кольцомъ съ насаженными на него катками.

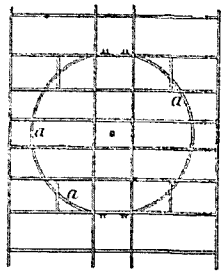


Рис. 165.

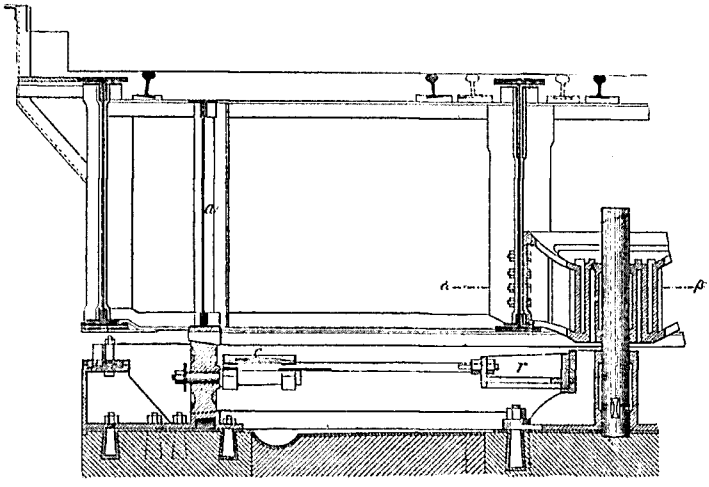


Рис. 165′.—Поворотный мостъ чрезъ р. Гавель въ Потсдамѣ.

Третій типъ поворотныхъ мостовъ—въ которомъ грузъ моста передается и на катки и на ось вращенія—представляетъ собою соединеніе обоихъ типовъ, при чемъ, если не приняты особыя приспособленія, является неопредѣленность въ распредѣленіи доли нагрузки между катками и осью вращенія. Въ нѣкоторыхъ американскихъ образцахъ нижній край барабана (рис. 166) притянутъ тягами къ оси вращенія, чѣмъ едва ли достигается цѣль. Гораздо совершеннѣе примѣняемое въ послѣднее время въ Америкѣ приспособленіе, состоящее въ томъ (рис. 167), что фермы ставятся не на барабанъ, а на особыя возвышенныя соединительныя

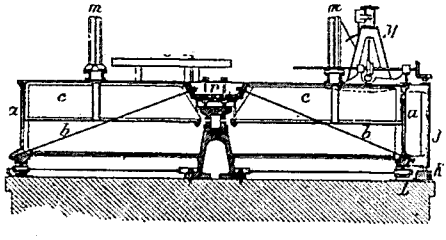


Рис. 166.

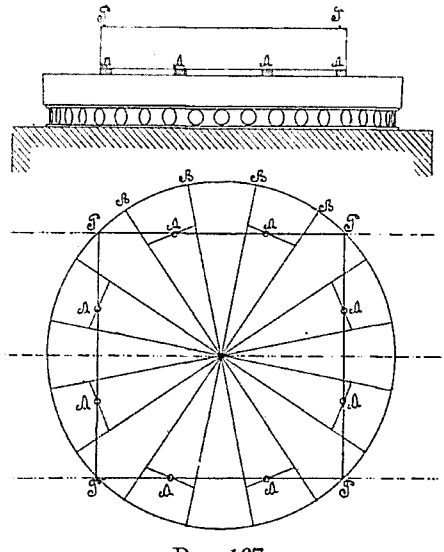


Рис. 167.

балки между радіальными балками, связывающими барабанъ съ осью вращенія. Это приспособленіе имѣетъ еще ту выгоду, что грузъ отъ двухъ фермъ передается равномѣрно на 16 точекъ барабана. Въ показанномъ на рис. 166 распредѣленіи каждое изъ четырехъ давленій P фермъ, не передаваясь непосредственно на барабанъ, распредѣляется поровну на двѣ сосѣднія соединительныя балки A, откуда переносится въ равныхъ частяхъ на двѣ радіальныя балки, и, наконецъ, по закону рычага передается частью на барабанъ, частью на ось вращенія. Въ этихъ типахъ ось вращенія состоитъ большею частью изъ стальной полой станины, открытой сверху и имѣющей на наружной поверхности утолщеніе; на уступъ этого утолщенія опирается кольцо, къ которому приклепаны радіальныя балки.

На рис. 168 и 169 показанъ примѣръ моста, гдѣ давленіе передается на ось и на катки, а именно мостъ черезъ р. Шелонь, на узкоколейной Новгородской дорогѣ. На чугунную станину поставлена ось вращенія, къ вершинѣ которой подвѣшена муфта съ четырьмя пальцами, прикрѣпленными къ стѣнкамъ фермы. Для возможности надѣванія муфты на ось вращенія, послѣдняя сдѣлана составной, при помощи вкладыша съ четыреугольнымъ выступомъ. Независимо отъ сего обѣ фермы опираются на барабанъ, который не составляетъ полной окружности (рис. 169). Нижняя часть станины обхватывается чугуннымъ кольцомъ съ цилиндрическими выступами, въ которые ввинчены металлическія тяги, закрѣпленныя другимъ концомъ при помощи распорныхъ трубокъ и гаекъ въ два металлическія кольца, поддерживающія осп вращенія катковъ; между катками помѣщены добавочныя стяжки въ распорныхъ трубкахъ. Двпжущій механизмъ, приводимый въ движеніе при помощи двухъ или четырехъ аншпуговъ, прикрѣпленъ къ фермѣ, въ виду чего криволинейная зубчатка, въ видѣ двухъ четвертей окружности, прикрѣплена неразрывно къ каменной опорѣ. При указанномъ расположеніи на ось вращенія можетъ передаваться лишь незначительная часть общаго вѣса и нагрузки, а именно только нѣкоторая пхъ доля, приходящаяся на фермы въ предѣлахъ круга катанія.

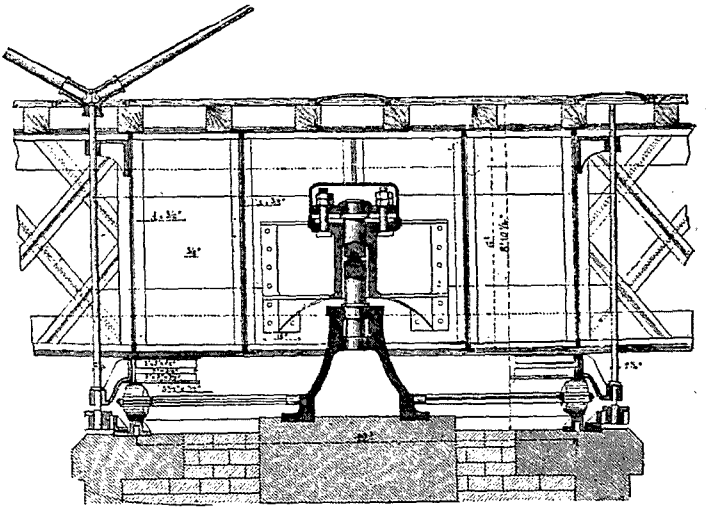


Рис. 168. — Поворотный мостъ чрезъ р. Шелонь на Новгородской жел. дор.

Къ этому же типу мостовъ могутъ быть отнесены и показанные на фиг. 9, табл. 2, и фиг. 9′, табл. 1 поворотные мосты съ осью вращенія, поставленною внѣ центра. На фиг. 9, табл. 2 изображенъ одинъ изъ старинныхъ деревянныхъ поворотныхъ двухполотныхъ мостовъ съ двумя кругами катанія. Фермы моста состоятъ изъ взаимно связанныхъ прогоновъ, подпертыхъ на устоѣ, при закрытомъ положеніи, въ четырехъ точкахъ: одной — на осп вращенія, помѣщенной внѣ центра, другой—противъ пея, въ видѣ катка, и двухъ остальныхъ—по концамъ прогоновъ. Кромѣ того къ заднему концу фермъ прикрѣпленъ ролпкъ (a), который при закрытомъ положеніи не касается круга катанія. Другой конецъ фермы подпирается подкосомъ, связаннымъ съ устоемъ желѣзной тягой. Подкосъ и тяга насажены петлей на вертикальные штырп, около которыхъ могутъ вращаться. Во избѣжаніе прогиба передняго конца фермъ при вращеніи, оба конца взаимно соединены цѣпью, перекинутой черезъ высокую стойку. Передъ вращеніемъ моста понижаютъ заднюю опору; благодаря бо́льшему вѣсу задняго конца, ферма наклоняется и опирается ролпкомъ (a) на кругъ катанія; затѣмъ начинаютъ вращать мостъ, и два ролика перемѣщаются по кругамъ катанія. Положеніе ролика (a) должно быть такъ выбрано, чтобы ц. т. треугольника, вершины котораго три опорныя точки, совпадали съ ц. т. полотна моста. Подкосы съ тягами независимымъ враще-

ніемъ отводятся въ сторону. Мосты съ внѣцентренною осью вращенія, помѣщенною около края полотна, имѣютъ то преимущество противъ мостовъ съ центральною осью вращенія, что при двухполотныхъ мостахъ передній конецъ обоихъ полотенъ можетъ быть ограниченъ по прямой линіи, а не по дугѣ круга, и, слѣдовательно, полотно не имѣетъ по серединѣ щели.

По тому же типу въ 1857 году построенъ желѣзный мостъ въ Трієстѣ (фиг. 9′ и 9″, табл. 1). Задній конецъ фермы, при закрытомъ положеніи, поддерается двумя вращающимися около горизонтальной оси подпорками (*a*), снабженными на верху роликами; нѣсколько въ сторонѣ отъ нихъ прикрѣплено къ поперечной балкѣ колесо, не касающееся круга катанія при закрытомъ положеніи; кругъ катанія и зубчатый кругъ составляютъ одно цѣлое. Предъ вращеніемъ понижаютъ подвижныя подпорки (*a*), задній конецъ моста понижается и упирается колесомъ на кругъ катанія; затѣмъ движущимъ механизмомъ (*B*) мостъ поворачивается.

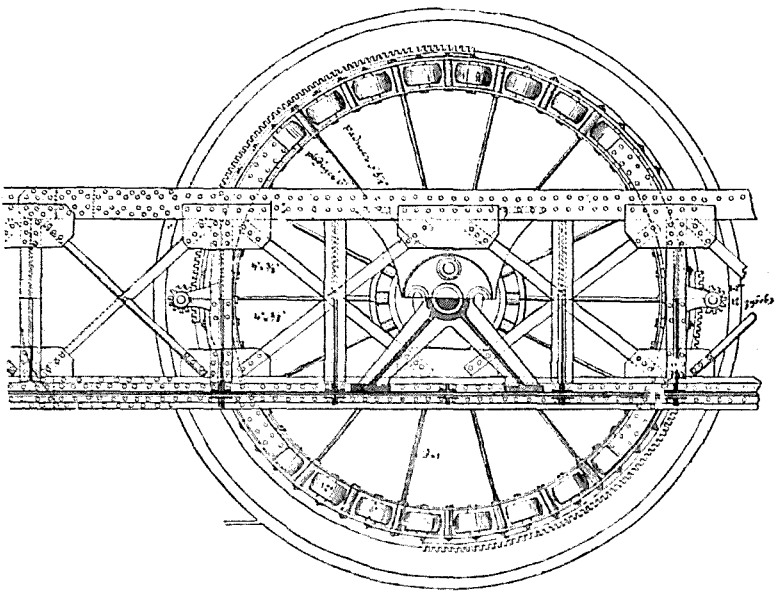


Рис. 169. — Поворотный мостъ чрезъ р. Шелонь на Новгородской жел. дор.

Концы фермъ поворотнаго моста передъ вращеніемъ его должны быть освобождены, вслѣдствіе чего опорныя части должны быть такъ устроены, чтобы можно было по произволу повышать ихъ пли понижать. Для сего могутъ быть употреблены винтовыя опорныя подушки (рис. 160, 160′ и 160″), эксцентрики (фиг. 13, табл. 2) или выдвижные клинья (фиг. 17a, 17b, табл. 2). Для того, чтобы поверхность эксцентрика не подвергалась смятію отъ дѣйствія подвижной нагрузки, эксцентрикомъ пользуются лишь для подъема оконечностей моста, при независимой опорѣ, какъ это напр. изображено на фиг. 13, табл. 2. Передъ поворомъ моста дѣйствіемъ эксцентрика приподнимаютъ концы фермъ, что позволитъ приподнять помощью особаго рычага подушку-секторъ, опирающуюся на чугунную подушку; предъ закрытіемъ моста поднимаютъ па эксцентрикѣ концы фермъ, приводятъ въ вертикальное положеніе подушку-секторъ и, опуская осторожно эксцентрикъ, ставятъ подушку-секторъ па неподвижную подушку Другое приспособленіе указано на рис. 160‴.

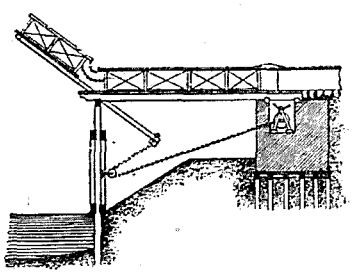


Рис. 170.

При выдвижныхъ клиньяхъ (фиг. 17a и 17b, табл. 2) къ поясамъ фермъ прикрѣпляютъ неподвижно подушки (*C*), ограниченныя снизу наклонной гранью. Подъ ними устанавливаются подвижныя подушки съ нижней горизонтальной и верхней наклонною гранями, насаженныя на одинъ общій безконечный винтъ, имѣющій въ двухъ мѣстахъ противоположныя нарѣзки (фиг. 17, табл. 2), или на два независимыхъ безконечныхъ винта (фиг. 17, табл. 2).

На фиг. 14, табл. 2 показано оригинальное приспособленіе для подъема

оконечностей моста (мостъ черезъ р. Passaic на Эрійской желѣзной дорогѣ въ Америкѣ), состоящее въ томъ, что панель верхняго пояса надъ среднею опорой замѣнена параллелограммомъ съ шарнирными соединеніями; по направленію короткой діагонали установленъ гидравлическій прессъ съ поршнемъ; основаніе цилиндра прикрѣплено къ одной вершинѣ параллелограмма, а штокъ поршня къ противоположной вершинѣ; при впускѣ воды въ прессъ короткая діагональ удлиняется, а длинная, укорачиваясь, приподнимаетъ концы фермъ. Этимъ же приспо-

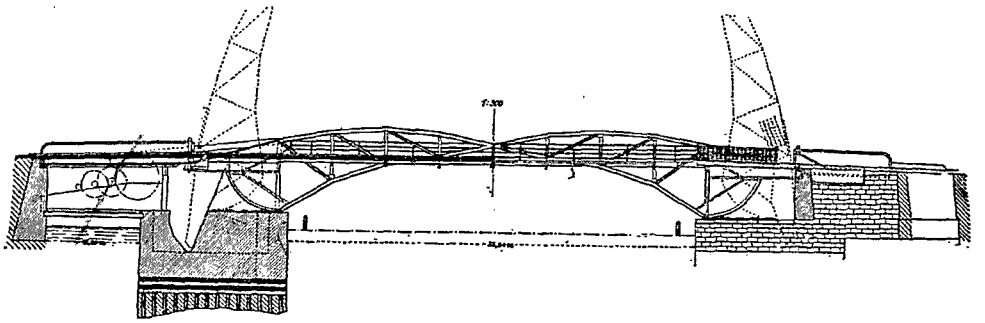


Рис. 171. — Подъемный мостъ въ Чикаго.

собленіемъ достигается попутно другая цѣль — обращеніе фермы въ разрѣзную при закрытомъ положеніи, и въ неразрѣзную при открытомъ положеніи моста.

с) **Подъемные мосты**—бываютъ *двухъ* типовъ; въ одномъ типѣ фермы моста вращаются около горизонтальной оси, а въ другомъ— фермы моста, или только одна проѣзжая часть, поднимаются вверхъ, при сохраненіи горизонтальнаго положенія. Примѣры перваго типа показаны на фиг. 22, 23, 24, 24 bis, 25 и 26, 21 bis, а второго типа на фиг. 27 и 28 и рис. 174.

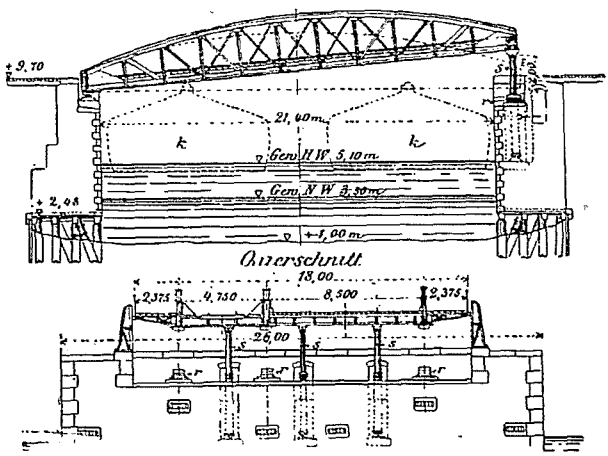


Рис. 172. — Подъемный мостъ въ Гамбургѣ.

Первый типъ имѣетъ нѣсколько разновидностей:

а) ось вращенія постоянная и помѣщена въ концѣ подъемнаго полотна; подъемъ совершается при помощи цѣпей, прессовъ или канатовъ (фиг. 22, 23 и рис. 172);

б) ось вращенія постоянная, помѣщается на нѣкоторомъ разстояніи отъ конца подъемнаго полотна, имѣющаго противовѣсы въ видѣ продолженія прогона; подъемъ—помощью цѣпей или зубчатыхъ секторовъ (рис. 170, фиг. 24, 24 bis, 25 и 26);

в) тоже, но подвижная ось вращенія перемѣщается по прямой или кривой линіи (фиг. 21 bis, рис. 171 и 173).

Каждая изъ разновидностей можетъ быть однополотная (фиг. 23, 25) или двухполотная (фиг. 22, 24, 22 bis, 21 bis, 26).

Въ изображенномъ на фиг. 22 типѣ моста *первой* разновидности подъемъ совершается при помощи коромысла и цѣпей; коромысло должно быть параллельно прогонамъ подъемнаго моста, при чемъ ось вращенія полотна и коромысла, а также оконечности прогона и коромысла должны быть расположены въ вершинахъ

параллелограмма. Направленіе усилія, приложеннаго къ полотну моста, сохраняется параллельнымъ.

Фермы изображеннаго на фиг. 22 двухполотнаго моста состоятъ изъ ряда прогоновъ, связанныхъ по концамъ поперечными брусьями; передніе концы образованной такимъ образомъ рамы, поставленной подъ небольшимъ уклономъ, стыкаются по серединѣ моста; задній же конецъ, помощью желѣзной петли, связанъ съ брусомъ, прикрѣпленнымъ къ кладкѣ устоя; полотна могутъ вращаться около оси петли. Для уменьшенія распора на вершину опоры и для облегченія работы прогоновъ—эти послѣдніе подперты по серединѣ своей длины подкосами, связанными по концамъ поперечнымъ брусомъ; на другой конецъ подкосовъ насажены чугунные наконечники, имѣющіе съ наружной стороны основанія приливъ съ проушипою, или же къ концу подкоса прикрѣпляется изогнутая толстая желѣзная полоса съ петлею. Въ томъ и другомъ случаѣ проу-

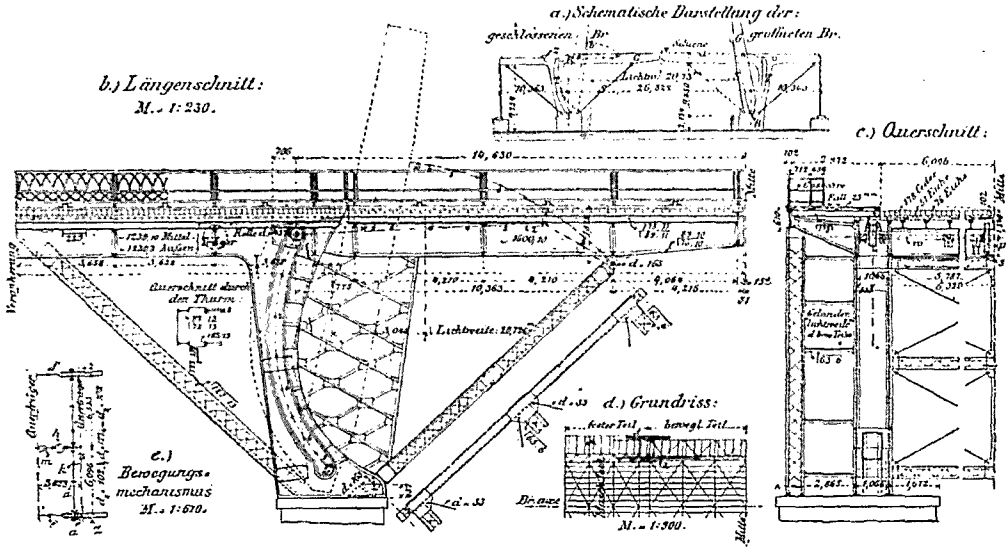


Рис. 173. — Подъемный мостъ въ Milwaukee.

шина или петля надѣвается на болтъ, продѣтый сквозь проушину и стѣнку чугуннаго башмака, прикрѣпленнаго къ обрѣзу устоя. При такихъ условіяхъ подкосы, образующіе подкосную раму, могутъ вращаться; для того, чтобы при вращеніи они слѣдовали за полотномъ — и при опусканіи моста заняли первоначальное положеніе, подкосы связаны съ прогономъ схватками изъ полосового желѣза съ проушинами по концамъ, сквозь которыя продѣты болты. Положеніе, занимаемое подкосомъ во время поднятія полотенъ, указано на фиг. 24. Подъемъ совершается рабочими при помощи коромысла и цѣпей. Для сего на каждомъ устоѣ установлены по двѣ стойки, опирающіяся шипомъ въ задѣланный въ кладку брусъ и укрѣпленныя сверхъ того желѣзными тяжами. Вверху стойки связаны общей насадкой; къ каждой стойкѣ прикрѣплена вверху желѣзная вилкообразная подставка, открытая съ трехъ сторонъ и въ двухъ стѣнкахъ которой сдѣланы отверстія—одно круглое, а другое въ видѣ вертикальной щели, доходящей до середины высоты стѣнки. Коромысло приблизительно по серединѣ своей длины обжато желѣзнымъ кольцомъ съ приваренными къ нему сбоку (по направленію горизонтальнаго діаметра) двумя цилиндрическими выступами, которые вставляются въ отверстія въ стѣнкахъ вилкообразной подставки.

Къ одному концу коромысла прикрѣплена цѣпь, соединенная съ полотномъ моста, а къ другому—цѣпь, къ которой прилагается усиліе человѣка.

На фиг. 23 изображенъ той же разновидности подъемный мостъ, но только направленіе усилія, поднимающаго полотно, проходитъ постоянно черезъ данную неподвижную точку (шкивъ) и какую-либо подвижную точку (конецъ полотна). Для этого типа предложено много приспособленій, помощью которыхъ, не смотря на различіе величины момента сопротивляющихся силъ во время подъема, можно ограничиться приложеніемъ постоянной дѣйствующей силы. Вся задача состоитъ въ устройствѣ такого противовѣса, дѣйствіе котораго постоянно уменьшалось бы по мѣрѣ подъема моста. На фиг. 23 показано приспособленіе, предложенное Poncelet и примѣнявшееся въ свое время на подъемныхъ моетахъ черезъ Фонтанку въ Петербургѣ. Подъемная цѣпь, прикрѣпленная къ концу мостового полотна, огибаетъ шкивъ, ось котораго укрѣплена въ стѣнѣ каменной надстройки (башни-портала) надъ устоемъ, огибаетъ далѣе два раза другой шкивъ и затѣмъ прикрѣпляется къ серединѣ тяжелой цѣпи—противовѣса, концы которой привѣшены къ стѣнѣ той же башни. Непосредственно подъ этой тяжелой цѣпью сдѣлано углубленіе въ устоѣ. Если цѣпь-противовѣсъ занимаетъ то положеніе, которое указано на чертежѣ, то бо̀льшая часть вѣса ея передается на подъемную цѣпь, а меньшая доля—на стѣну башни. По мѣрѣ же подъема полотна, а, слѣдовательно, опусканія конца привѣсной цѣпи, иа послѣднюю будетъ передаваться все мéньшая доля вѣса тяжелой цѣпи, которая будетъ располагаться въ углубленіи, сдѣланномъ въ устоѣ. Вѣсь и длину тяжелой цѣпи можно такъ расчитать, чтобы по мѣрѣ подъема полотна и уменьшенія натянутости подъемной цѣпи соотвѣтственно уменьшался передающійся на конецъ ея вѣсь цѣпи-противовѣса, вызывая однако всегда меньшую натянутость, чѣмъ полотно моста. Такимъ образомъ, при постоянной разности натянутостей обѣихъ оконечностей цѣпи для подъема моста можетъ быть затрачено постоянное усиліе, напр. усиліе человѣка, приводящаго во вращательное движеніе ось второго шкива при помощи безконечной цѣпи, накинутой на третій шкивъ, насаженный на ту же ось, какъ и второй шкивъ.

На фиг. 24 изображенъ подъемный мостъ *второй* разновидности (Строгановскій мостъ въ Петербургѣ); ось вращенія помѣщена близъ середины прогона, имѣющаго продолженіе въ видѣ противовѣса; подъемъ полотенъ моста производится прн помощи зубчатаго сектора и лебедки, установленной вблизи оси вращенія прогона. Въ данномъ примѣрѣ деревянные быки, въ виду односторонняго распора, проектированы толстыми и состоять изъ пяти рядовъ свай внизу и четырехъ рядовъ стоекъ вверху, врубленныхъ шипами въ схватки нижияго ряда свай; стойки въ основаніи связаны двумя рядами продольныхъ схватокъ и однимъ рядомъ иоперечныхъ схватокъ, а вверху перекрыты насадками. На эти насадки опираются фермы моста съ двумя подбалками; поверхъ прогона, въ уровень съ поперечинами, положенъ короткій продольный прогонъ, такъ что по высотѣ имѣется четыре бруса. Въ промежуткахъ между прогонами моста располагаются прогоны подъемнаго моста, опирающіеся, помощью прикрѣпленной къ нижней грани прогона толстой желѣзной планки съ проушиною, на металлическую ось, укрѣпленную между нижнимн прогонами. Къ крайнимъ прогонамъ подъемнаго моста прикрѣпленъ секторъ съ зубчаткой, зацѣпляющійся за колеса лебедки, установленной съ краю, на полотнѣ постоянной части моста. Такъ какъ секторъ можетъ быть прикрѣплеиъ только къ крайнимъ прогонамъ, то всѣ прогоны по ширинѣ моста

должны составлять одну общую раму. При закрытомъ положеніи моста прогоны подъемной части въ предѣлахъ постоянной части моста находятся ниже поверхности настила, во время же вращенія они расположатся выше; въ виду сего въ концевой части постояниаго моста досчатый иастилъ, опирающійся на прогоны постояннаго моста и перекрывающій противовѣсы, дѣлается съемнымъ.

На фиг. 24 bis показанъ подъемный мостъ того же типа, но болѣе простой конструкціи съ постоянными подкосами (прежній Галерный мостъ). На насадки деревянной набережной и двухъ рядовъ свай нарублены прогоны постоянной части моста, съ выступающими свѣсами, въ которыхъ снизу сдѣлана выемка для поперечинъ, прикрѣпленныхъ къ противовѣсамъ прогоновъ подъемной части. Впереди набережной съ цѣлью образованія опоры для подъемной части и замкнутаго огражденія для расположенія противовѣсовъ забитъ съ трехъ сторонъ шпунтовый рядъ; позади передней стѣнки шпунтоваго ряда забиты коренныя сваи, укрѣпленныя кромѣ того анкерами; сваи перекрыты короткими подушками, на которыхъ установлены чугунные подшипники, поддерживающіе металлическую ось вращенія; на эту послѣднюю опираются прогоны подъемной части моста, расположенные въ промежуткахъ между прогонами постоянной части. При закрытомъ положеніи, прогонъ подъемной части приметъ наклонное положеніе; чтобы сдѣлать полотно горизонтальнымъ, поперечинамъ придана неодинаковая высота. Свѣсъ прогоновъ постоянной части поддерается частью поперечинами, врубленными въ противовѣсы, такъ что, при закрытомъ положеніи, мостовое полотно въ этой части моста поддерживается двумя системами прогоновъ, задѣланныхъ однимъ концомъ и свободныхъ на другомъ. Часть настила надъ осью вращенія сдѣлана съемная; вращеніе производится при помощи зубчатаго сектора.

На рис. 170 показанъ типъ подъемнаго моста, открываемаго усиліемъ, приложеннымъ къ концу противовѣса.

На фиг. 25, табл. 4 изображена прежняя подъемная часть Волховскаго моста на Николаевской желѣзной дорогѣ (проектъ инженера Граве); при расчетномъ пролетѣ въ 4,85 саж. фермы состоять изъ составной деревянной балки, прочно скрѣпленной съ желѣзными радіальными ребрами, къ которымъ прикрѣплена дуга сектора. Ось вращенія, покоящаяся на подшипникѣ, совпадаетъ съ центромъ сектора. Дуга сектора раздѣлена по длинѣ обода на двѣ части; въ части, прилегающей къ фермѣ, секторъ снабженъ зубчаткой, а въ другой половинѣ имѣется желобъ для цѣпи. Для облегченія подъема и для достиженія равномѣрнаго поднятія, къ дугѣ сектора прикрѣплеиа цѣпь, перекинутая черезъ шкивъ и прикрѣпленная другимъ концомъ къ особому противовѣсу. Вращеніе производится усиліемъ человѣка при помощи системы зубчатыхъ колесъ, одно изъ которыхъ зацѣпляется за зубчатку сектора. На устоѣ около фермы установлена чугунная станина съ системою зубчатыхъ колесъ. Ось, на которую надѣта рукоятка и шестерни, служить вмѣстѣ съ тѣмъ осью шкива, черезъ который перекинута цѣпь; вторая же ось съ зубчатыми колесами снабжена на оконечности шестерней, зацѣпляющей за зубчатку сектора. Противовѣсъ, состоящій изъ тяжелаго чугуннаго рычага, можетъ вращаться на подобіе маятника въ проемѣ, сдѣланномъ въ устоѣ; ось вращенія укрѣплена въ двухъ подшипникахъ. Изъ чертежа ясно, что, съ поднятіемъ фермъ моста, сопротивляющійся моментъ уменьшается, и одновременно уменьшается патяженіе цѣпи по мѣрѣ того, какъ противовѣсъ приближается къ вертикальному положенію.

На фиг. 26a, b, c, d, e представлена двухполотная подъемная часть моста Knippelbroo близъ Копенгагена. Восемь фермъ, изъ которыхъ крайнія болѣе высокія, насажены наглухо на металлическую ось, утолщающуюся къ серединѣ съ 10 до 18 дм. Четыре среднія фермы снабжены выступающими концами съ противовѣсами, скрытыми при вращеніи въ особомъ огражденномъ помѣщеніи, ящикѣ k (фиг. 26b), прикрѣпленномъ къ обѣимъ металлическимъ трубчатымъ опорамъ. Въ закрытомъ положеніи моста противовѣсъ упирается въ крайнюю поперечную балку смежнаго про-

лета, перекрытаго постоянными пролетными частями, съ двумя фермами трубчатаго сѣченія. Вращеніе оси моста можетъ быть достигнуто тремя путями: 1) усиліемъ человѣка, приложеннымъ къ рукояткѣ a (фиг. 26c) и передаваемымъ рядомъ шестеренъ a', a'', a''' и a^{IV} — колесу D, насаженному на ось вращенія d; 2) давленіемъ воды изъ городскаго водопровода, впускаемой въ цилиндръ P, къ штангѣ поршня котораго прикрѣплена зубчатка, зацѣпляющаяся за колесо D, и 3) сжатымъ воздухомъ, накачиваемымъ при помощи насоса R въ цилиндръ M, откуда воздухъ поступаетъ въ цилиндръ P. Нагнетаніе воздуха производится при помощи рукоятки b, шестерни, зубчатаго колеса и шатуна, дѣйствующаго на балансиръ насоса. Впускъ сжатаго воздуха регулируется рукояткой t и штангой b^{IV}.

Примѣрами *третьей* разновидности мостовъ съ подвижной осью вращенія могутъ служить: мостъ въ Чикаго (фиг. 21 bis и рис. 171), въ которомъ ось вращенія перемѣщается по прямой линіи, и мостъ въ Milwaukee черезъ каналъ Menominee (рис. 173), съ перемѣщеніемъ оси вращенія по кривой линіи. Въ изображенномъ на (рис. 171) мостѣ пролетъ въ 32 метр. перекрывается двумя грушевидными фермами, стыкающимися по серединѣ пролета; другой конецъ фермы, закругленный по дугѣ круга, снабженъ зубчаткой и зацѣпляется за кремальерку, укрѣпленную на устоѣ. Къ верхнему поясу фермы, около грушевиднаго конца, прикрѣплена на шарнирѣ тяга, имѣющая на другомъ концѣ зубчатку, приводимую въ зацѣпленіе съ зубчатымъ колесомъ. При закрытомъ положеніи оба полотна взаимно соединены стержнемъ, который предъ вращеніемъ выдвигается. При вращеніи вала зубчатаго колеса грушевидныя фермы, вращаясь, откатываются; двигателемъ служитъ электрическая энергія.

Къ тому же типу относится, какъ указано выше, подъемный мостъ въ Milwaukee (рис. 173) черезъ каналъ Menominee, перекрывающій пролетъ въ 26,822 метр. Каждое изъ полотенъ моста состоитъ изъ двухъ фермъ (g), сплошного двутавроваго сѣченія, снабженныхъ въ концѣ роликомъ (R), которымъ они опираются черезъ дугообразный просвѣтъ на неподвижную станину; другой конецъ фермы поддерживается подкосомъ, соединеннымъ шарнирами со станиной и съ фермой. Къ центру тяжести фермы (g) прикрѣплена на шарнирѣ тяга; по приведеніи послѣдней въ движеніе по горизонтальному направленію мостъ открывается. Особенность этого моста составляетъ то, что при вращеніи не приходится поднимать мертваго груза; въ любомъ положеніи моста равнодѣйствующая изъ вѣса фермы (g) и сопротивленія раскоса (S) всегда нормальна къ элементу кривой въ точкѣ касанія ролика (R) къ криволинейному просвѣту станины. Необходимая для движенія сила доставляется динамомашиной.

Переходимъ теперь ко *второму типу* подъемныхъ мостовъ, въ которыхъ мостовое полотно поднимается вверхъ, оставаясь параллельнымъ своему прежнему положенію. Здѣсь встрѣчаются двѣ разновидности: перемѣщаются *фермы моста и пропзжая часть*, или же только *одна пропзжая часть*.

Примѣры *первой* разновидности показаны на фиг. 27, табл. 4 и на рис. 174; примѣръ же *второй* разновидности—на рис. 28, табл. 4. Въ изображенномъ на фиг. 27 примѣрѣ, пролетныя части моста частью уравновѣшиваются противовѣсами при помощи канатовъ, прикрѣпленныхъ къ оконечностямъ фермъ и перекинутыхъ чрезъ шкивы, установленные на высокихъ каменныхъ опорахъ. Въ этихъ послѣднихъ сдѣланы вертикальные каналы, въ которыхъ могутъ перемѣщаться противовѣсы. Подъемъ совершается приложеніемъ сравнительно незначительнаго усилія, благодаря присутствію противовѣсовъ. На рис. 174 показанъ общій видъ сооруженнаго въ 1894 г. въ Чикаго подъемнаго моста (Halsted-bridge), пролетомъ 39,62 метр., поднимаемаго на высоту 47,24 метр. при вѣсѣ въ 290 тон. Подъемъ совершается при помощи системы шкивовъ и канатовъ двумя 70-сильными паровыми машинами. Въ Дижонѣ построенъ (1893 г.) подъемный мостъ,

пролетомъ въ 9,8 метр., поднимаемый на высоту 1,3 метра. Обѣ фермы опираются своими оконечностями на поршни гидравлическихъ прессовъ, приводимыхъ въ движеніе водою, доставляемою изъ аккумулятора.

Иногда вмѣсто того, чтобы поднимать формы, ограничиваются подъемомъ одной проѣзжей части. Такъ, напр. близъ Утики въ Америкѣ существуетъ подобный подъемный мостъ (фиг. 28, табл. 4) черезъ каналъ Эри, при величинѣ пролета въ 18 метр. = 8,46 саж. На высокихъ металлическихъ опорахъ поставлена раскосная ферма съ полыми стойками. Подвижная платформа съ мостовымъ полотномъ въ закрытомъ положеніи опирается на каменныя опоры и подвѣшена кромѣ того къ фермамъ. Къ платформѣ прикрѣплены штанги, оканчивающіяся проволочнымъ канатомъ толщиною 20 мм., пропущеннымъ внутри полыхъ стоекъ; ка-

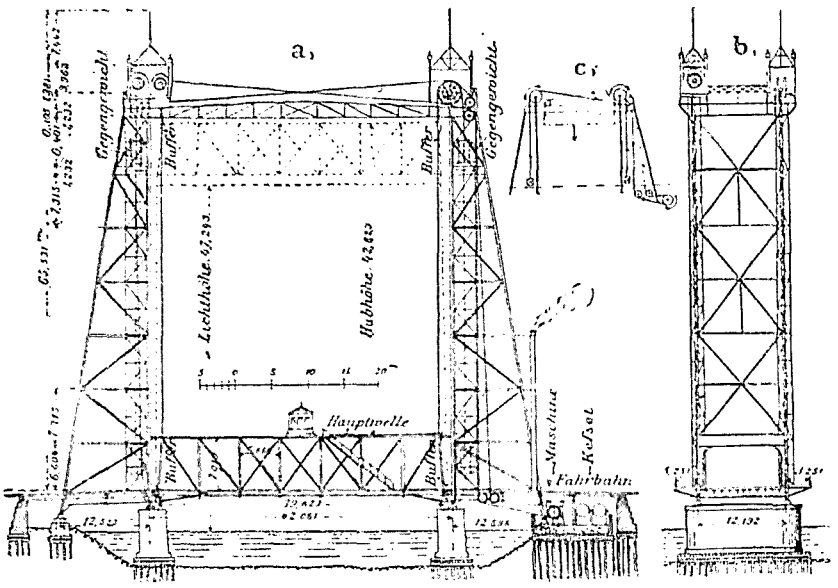


Рис. 174. — Подъемный мостъ въ Чикаго.

натъ огибаетъ шкивы, насаженные наглухо на стальной валъ m толщиною 68 мм., и имѣетъ на концѣ противовѣсъ n, равный соотвѣтствующей части вѣса полотна; блоки касаются своею окружностью геометрической оси полыхъ стоекъ. Валы m поддерживаются подшипниками, подвѣшенными къ поперечной балкѣ, поставленной на верхніе пояса. Для болѣе равномѣрнаго подъема моста на валы m, m насажены по серединѣ ихъ длины конические колеса, зацѣпляющіяся за другія конические колеса, насаженныя на оконечности поперечнаго вала h, такъ что оба продольные вала m, m взаимно связаны. Для подъема и опусканія моста необходимо преодолѣть треніе, для чего служатъ 2 чугунныхъ груза q, перемѣщающихся въ вертикальныхъ колоннахъ. Эти грузы заранѣе поднимаются вверхъ; если заставить опускаться тотъ либо другой грузъ, то платформа будетъ подниматься или опускаться. Подъемъ грузовъ q совершается однимъ человѣкомъ при помощи топчака d. Вертикальная ось топчака, имѣющая внизу шаровую пяту, верхнимъ своимъ концомъ (при посредствѣ насаженнаго на него коническаго зубчатаго колеса и особаго рычага) можетъ быть приведена въ зацѣпленіе поочередно съ каждымъ изъ среднихъ коническихъ зубчатыхъ колесъ i поперечнаго вала h. Эти конические колеса имѣютъ утолщеніе въ видѣ шкива. Колеса-шкивы могутъ быть

соединены помощью чеки съ поперечнымъ валомъ h наглухо, или же по отиятіи чеки могутъ свободно вращаться на оси. При подъемѣ помощью топчака каждаго изъ грузовъ q — оба колеса-шкива должны быть разъединены съ осью h, т. е. они должны свободно вращаться на оси. Если напр. желаютъ поднять грузъ q,— канатъ отъ котораго проведенъ положимъ къ правому шкиву, то, разъединивъ предварительно съ осью оба колеса, приводятъ въ зацѣпленіе горизонтальное коническое колесо съ правымъ коническимъ колесомъ-шкивомъ. Тогда вращеніе топчака, вызывая вращеніе горизонтальиаго коническаго колеса, повлечетъ за собою вращеніе праваго свободно пасажеииаго коническаго колеса, а слѣдовательно и праваго шкива, который, вращаясь, будетъ навивать канатъ, а слѣдовательно и поднимать грузъ q. Лѣвое же коническое колесо-шкивъ, разъединенное отъ оси h—останется неподвижнымъ. Для подъема другого груза q, соединеннаго канатомъ съ другимъ шкивомъ, поступаютъ подобно предъидущему съ лѣвымъ коническимъ колесомъ. При опусканіи или подъемѣ полотна моста необходимо заставить опуститься тотъ либо другой грузъ q. Слѣдовательно здѣсь нужно вращеніе шкива передать оси h, а отъ нея чрезъ крайнія коиическія колеса передать вращеніе валамъ m, m, черезъ которые перекинуты канаты, связывающіе проѣзжую часть съ противовѣсомъ. Положимъ, что для подъма моста необходимо заставить опускаться грузъ q, связанный съ правымъ шкивомъ. Въ этомъ случаѣ нужно *соединить* правое колесо-шкивъ съ осью h и *разъединить* отъ оси лѣвое колесо-шкивъ. Тогда опусканіе груза q вызоветъ вращеніе праваго шкива, который, будучи соединеннымъ съ осью h, сообщить ей вращеніе; отъ нея вращеніе передается крайнимъ колесамъ, а затѣмъ и валамъ m, m. Лѣвое колесо-шкивъ, какъ разобщенное съ осью, не будетъ вращаться. Для того, чтобы и топчакъ пе вращался, слѣдуетъ на это время соединить горизонтальное коническое колесо съ лѣвымъ среднимъ коническимъ колесомъ. Для опусканія моста заставляютъ опускаться другой грузъ, соединенный съ лѣвымъ нкивомъ. Вѣсь грузовъ q равняется двойному сопротивленію отъ тренія. Когда грузы q опустятся до-низу, платформа S пройдетъ лишь половину своего пути; остальную половину платформа проходить вслѣдствіе пріобрѣтеиной скорости, такъ что не бываетъ удара при остановкѣ. Подъемъ и опусканіе полотна совершается въ 10 секундъ; подъемъ грузовъ q требуетъ немного менѣе 1 минуты времени.

Въ Калькуттѣ построенъ подобный же мостъ, но только подъемъ и опусканіе проѣзжей части моста достигается не опусканіемъ предварительно поднятыхъ грузовъ q, а путемъ опоражииванія или наполненія водой камеръ, устроенныхъ между продольными балками. Вѣсь противовѣсовъ нѣсколько болѣе вѣса проѣзжей части, такъ что предъ подъемомъ моста вода выпускается изъ камеръ, и мостъ поднимается, а передъ опусканіемъ вода впускается нзъ водопровода въ камеры, и, благодаря избытку вѣса, проѣзжая часть начинаетъ опускаться.

Ко второй группѣ подвижныхъ мостовъ относятся:

Наплавные мосты съ постоянными устоями и съ опорами на плаву. Эти мосты, по разъединеніи съ однимъ изъ устоевъ, даютъ возможность открывать рѣку во всю ея ширину. По роду опоръ они бываютъ: *плотовые и плашкоутные.*

Плотовые мосты: Общій видъ плотовыхъ мостовъ изображенъ на рис. 175.

На фиг. 29, табл. 4 показаны плотовыя оноры, состоящія изъ двухъ или болѣе рядовъ бревенъ, связанныхъ канатами, какъ между собою, такъ и съ по-

перечными брусками. Въ данномъ примѣрѣ есть два такихъ поперечныхъ бруска по концамъ и семь по серединѣ, и кромѣ того два наклонныхъ бруска. На этихъ брускахъ расположены вдоль плота нѣсколько продольныхъ брусьевъ (въ данномъ примѣрѣ — три), а на этихъ послѣднихъ уже—прогоны моста, которые связаны черезъ одинъ канатомъ съ поперечными брусьями, находящимися подъ ними. Въ стыкахъ бревна располагаются одно возлѣ другого и связываются канатами для лучшаго сопротивленія волненію. Плоты удерживаются якорями, забросанными противъ теченія; для того же, чтобы ихъ удержать и противъ низо-

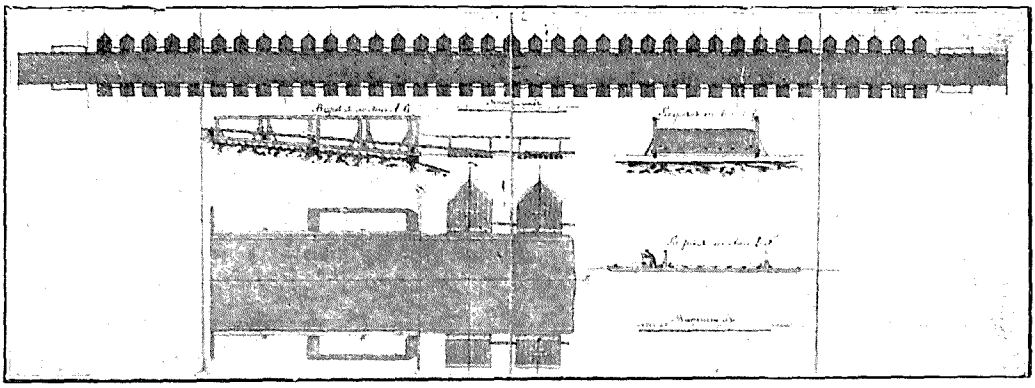


Рис. 175. — Плотовый мостъ въ Двинскѣ.

ваго вѣтра, забрасываются якоря и внизъ по теченію, но не отъ каждаго плота, а черезъ одинъ. Для якорнаго каната помѣщаютъ воротокъ. Плоты связываются между собою канатами, расположенными крестообразно, т. е. въ видѣ діагональныхъ связей, и прикрѣпленными за желѣзныя кольца, ввинченныя въ ребра полотна. Плоту придаютъ спереди въ планѣ треугольную форму, чтобы уменьшить напоръ воды, и для той же цѣли оставляютъ промежутки между бревнами.

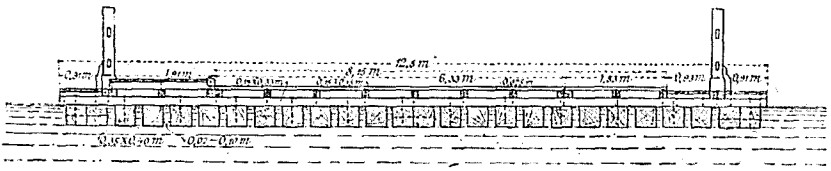


Рис. 176. — Плотовый мостъ (прежній) въ Ригѣ.

Число плотовъ опредѣляется сообразно съ тѣмъ, чтобы ихъ подъемная сила была достаточна для поддержанія пролетныхъ частей моста и временной нагрузки. Число бревенъ плота опредѣлится изъ $n = \frac{Q}{P}$, гдѣ P полезная подъемная сила одного бревна, а Q полный грузъ, приходящійся на одинъ плотъ. Если v—объемъ бревна; δ—вѣсъ кубической единицы бревна; δ'—вѣсъ кубической единицы воды, то полезная подъемная сила бревна:

$$P = v\,(\delta' - \delta).$$

Для запаса устойчивости, къ опредѣленному числу бревенъ n, прибавляется еще отъ $33^0/_0$ до $50^0/_0$.

Иногда вмѣсто устройства отдѣльныхъ плотовыхъ опоръ располагаютъ во всю ширину рѣки рядъ продольныхъ брусьевъ, какъ напримѣръ (рис. 176) въ бывшемъ наплавномъ мосту въ Ригѣ, до перестройки его на металлическій понтонный мостъ.

Мостъ длиною 646 метровъ и шириною 12,8 метр. состоялъ изъ ряда продольныхъ (по ширинѣ рѣки) четырегранныхъ брусьевъ до 40 сантиметровъ въ сторонѣ, поверхъ которыхъ на разстояніи 1,08 метр. уложены поперечные брусья, сѣченія; 14×33 сант., связанные съ предъидущими болтами. На этихъ послѣднихъ поперечинахъ уложенъ былъ рядъ продольныхъ лежней: 15×15 сант. на взаимномъ разстояніи 0,9 метр., а затѣмъ досчатый настилъ толщиною 7,5 сант. (средній срокъ службы такихъ мостовъ около 10 лѣтъ).

Сопряженіе мостоваго полотна съ берегомъ, при значительномъ колебаніи горизонта воды, показано на фиг. 30 и 31, табл. 5.

Для сего употребляется подвижная рама, привязанная однимъ концомъ къ кусту свай, забитыхъ на берегу. Рама состоитъ изъ сплошнаго поперечнаго ряда бревенъ, обжатыхъ сверху и снизу продольными рядами бревенъ, стянутыхъ болтами. Берегъ подъ рамой планируется, вымащивается и обдѣлывается уступомъ, огражденнымъ пластинами, забранными за свайки. Въ корневой части рамы къ двумъ крайнимъ прогонамъ прикрѣпляются желѣзныя полосы съ проушиной, сквозь которую продѣтъ канатъ, привязывающій раму къ кусту свай. Въ зависимости отъ положенія горизонта рама опирается на мостовую или находится на плаву. Первая плотовая опора устанавливается вплотную около рамы; прогоны моста, выпущенные надъ рамой и срѣзанные въ усъ, опираются на продольные брусья рамы, частью помощью поперечныхъ брусьевъ, частью непосредственно, и скрѣпляются съ рамой канатами. Затѣмъ поверхъ прогоновъ располагается досчатый настилъ вплоть до настила, прикрѣпленнаго къ продольнымъ брусьямъ рамы. При незначительномъ колебаніи горизонта канатная связь допускаетъ соотвѣтственное перемѣщеніе прогоновъ по рамѣ. При болѣе значительной разницѣ горизонтовъ можно пользоваться устройствомъ, указаннымъ на (фиг. 35, табл. 5):

Другой примѣръ приспособленія, обезпечивающаго въѣздъ на мостъ при разныхъ горизонтахъ и примѣненнаго въ плотовомъ мосту чрезъ рѣку Двину въ Двинскѣ, указанъ на рис. (175). При низкомъ положеніи горизонта, платформа, состоящая изъ поперечныхъ брусьевъ, перекрытыхъ двойнымъ рядомъ досокъ, опирается на продольные лежни, уложенные по откосу берега, и на поперечныя насадки свай. Верхній конецъ платформы опирается всегда на незатопляемую поперечную насадку, около которой платформа можетъ вращаться, а нижній—на первый плотъ. Сквозь концы всѣхъ поперечинъ продѣты вертикальные болты съ гайками, помѣщенными поверхъ насадокъ парныхъ стоекъ, забитыхъ по обѣ стороны оконечностей поперечинъ. Если при подъемѣ воды необходимо платформу поднять, то это достигается вращеніемъ гаекъ болтовъ, причемъ платформа поддерживается болтами.

Плашкоутные мосты. По ширинѣ рѣки устанавливается рядъ деревянныхъ или металлическихъ плашкоутовъ, понтоновъ и судовъ (фиг. 32′, 34*b* и 35) съ перекинутыми поверхъ плашкоутовъ прогонами и фермами, поддерживающими полотно или рельсовый путь. Между нѣкоторыми понтонами оставляется достаточно широкій и высокій просвѣтъ для прохода невысокихъ барокъ и пароходовъ съ откидными трубами. Въ случаѣ необходимости пропуска мачтовыхъ судовъ—устраиваютъ или поворотную часть, или же выводятъ временно нѣкоторые плашкоуты, которые называются поэтому *выводными*. Наиболѣе существенную часть плашкоутнаго моста составляетъ устройство понтоновъ, взаимное ихъ соединеніе и сопряженіе съ берегомъ.

Въ планѣ плашкоуты имѣютъ форму прямоугольника съ приставленными закругленіями носовой и кормовой части; иногда закругленіе дѣлается только съ верховой стороны. Въ поперечномъ сѣченіи плашкоутъ представляетъ трапецію (фиг. 32‴ и 35) или прямоугольникъ (фиг. 32).

Приведемъ заимствованный изъ руководства Becker'a численный примѣръ опредѣленія числа понтоновъ.

Пусть каждая опора состоитъ изъ двухъ плашкоутовъ, размѣры коихъ $l = 15$ метр.; $b = 3$ м.; $h = 1{,}44$ м.; площадь 36,5 квадр. метра. Вѣсъ $= 6500$ килограммовъ; вѣсъ мостоваго полотна шириною 6,6 метра — 200 килограммовъ на пог. мет.; подвижная нагрузка — 280 килограммовъ на квадр. метръ; наибольшее погруженіе понтона—0,55 метра. Объемъ воды, вытѣсняемой объемомъ понтона $2 \times 36{,}5 \times 0{,}55 = 40{,}15$ кубическихъ метра, а потому подвижной грузъ, который можетъ быть поддерживаемъ понтонами: $40{,}15 \times 1000 - 2 \times 6500 = 27150$ килограммовъ. Если чистое разстояніе между двумя опорами — x, выносъ подкосовъ 1,05 метра, то разстояніе между осями опоръ:

$$3 + 1{,}05 + x + 1{,}05 + 3 = 8{,}1 + x \text{ метровъ.}$$

Приходящійся на эту длину грузъ:

$$(8{,}1 + x)\ (200 + 6{,}6 \times 280).$$

Слѣдовательно имѣемъ уравненіе:

$$(8{,}1 + x)\ (200 + 6{,}6 \times 280) = 27150,$$

откуда: $$x = 5{,}1 \text{ метра.}$$

Такимъ образомъ разстояніе между осями опоръ:

$$8{,}1 + 5{,}1 = 13{,}2 \text{ метра.}$$

Если напр. ширина рѣки 198 метровъ, то необходимо было бы поставить 15 опоръ или 30 плашкоутовъ.

Наименьшіе размѣры якорныхъ цѣпей опредѣляются по формулѣ:

$$d = 0{,}028 \sqrt{P},$$

гдѣ d—выражено въ мм., а P—въ килогр., причемъ:

$$P = \alpha \frac{v^2}{2g} F . \delta,$$

гдѣ α—численный коэффиціентъ равный 0,37; $\frac{v^2}{2g}$ — высота въ метрахъ, соотвѣтствующая скорости теченія воды; F—площадь сѣченія понтона, подверженнаго дѣйствію удара воды; δ—вѣсъ куб. единицы воды. Обыкновенно цѣпи приготовляются изъ круглаго желѣза діаметромъ 16—18 мм., имѣя въ виду напоръ вѣтра и случайные удары; вѣсъ якорей измѣняется отъ 30 до 50 пуд.

На фиг. (32, табл. 5) показано схематическое поперечное сѣченіе опоры плошкоутнаго моста. Днище состоитъ изъ ряда поперечныхъ брусьевъ (a), уложенныхъ съ промежутками, равными ширинѣ бруса и связанныхъ продольными схватками (e), стянутыми болтами; средняя нижняя продольная схватка называется *килевымъ поясомъ*, а остальныя продольныя схватки—*кильсонами*. Боковыя стѣнки, борты, состоятъ изъ стоекъ (b), поставленныхъ на взаимномъ разстояніи около 2 ф. и впущенныхъ шипомъ въ концы поперечинъ (a). Для связи этихъ стоекъ съ горизонтальнымъ поперечнымъ брусомъ (a) служатъ колѣнчатые брусья (i), природныя короткія кокоры, копани (отрубки дерева съ частью корня), съ прокладкою d. Поперечины (a) со стойками образуютъ такъ называемый *шпангоутъ* понтона. Основаніе стоекъ (b) обжато двумя схватками; кромѣ того торцы поперечинъ прикрыты горизонтальнымъ брусомъ, который скрѣпленъ съ брусьями (a) помощью трехъ нижележащихъ брусьевъ и двухъ рядовъ вертикальныхъ, двухъ рядовъ горизонтальныхъ и одного ряда наклонныхъ болтовъ. Днище и стѣнки обшиты досками и тщательно проконопачены.

Въ носовой части стойки (b) ставятся вплотную, и обжимающія основанія

стоекъ схватки имѣютъ криволинейное очертаніе. По ребру носовой и кормовой части устанавливается толстый брусъ, *штевень*, врубленный въ средній и нижній продольный брусъ, т. е. въ килевой поясъ. Въ виду напора воды, криволинейныя схватки въ носовой части распираются горизонтальными, наклонными къ продольной оси полотна распорками, врубленными въ средній брусъ (фиг. *A*, табл. 5 bis). На (фиг. *B*, табл. 5 bis) указана деталь сопряженія штевня съ килемъ; штевни дѣлаются шириною около 16 дюйм.; по бокамъ вынимаются шпунты для притыканія наружной обшивки. Въ продольныя схватки (*e*), въ кильсоны (фиг. 32, табл. 5), врублены стойки *g* на разстояніи 10 фут. одна отъ другой, которыя служатъ для поддержанія мостоваго полотна. Стойки *g*—связаны по извѣстиой высотѣ поперечными и продольными схватками; стропильныя ноги покрытія опираются на насадки стоекъ (*b*) и на схватки среднихъ стоекъ. Вершины стоекъ (*g*) перекрыты поперечной насадкой, концы которой поддерживаются подкосами, упирающимися въ наружныя схватки стоекъ (*b*). На насадкахъ располагаются поперечные переводы, а на послѣднихъ—прогоны мостового полотна.

Другіе болѣе простые типы понтоновъ указаны на (фиг. 32^{II} и 35, табл. 5). Въ типѣ (фиг. 32^{III}) шпангоуты состоятъ изъ расположенныхъ рядомъ длинныхъ кокоръ, причемъ послѣднія ставятся корнями въ разныя стороны, т. е. одна къ правому борту, а другая къ лѣвому. Корешь кокоры нафашивается стойкой, а къ длинному концу ствола кокоры придѣлывается приставка въ видѣ короткой кокоры, которая прочно съ нимъ скрѣпляется врубкой замкомъ и болтами, и такимъ образомъ изъ трехъ частей составляется шпангоутъ. Иногда короткія кокоры ставятся только для образованія реберъ боковыхъ стѣнокъ, причемъ горизонтальное колѣно кокоры скрѣпляется съ горизонтальной поперечиной. Вершины вертикальныхъ вѣтвей шпангоута связываются поперечной насадкой, или же вершины перекрываются предварительно продольной насадкой, поверхъ которой уже располагается рядъ поперечинъ, связывающихъ оба борта. Въ показанномъ на фиг. 32^{III} примѣрѣ на верхнихъ поперечинахъ, около бортовъ, уложены вдоль понтона брусья. По оси понтона установленъ на кильсонѣ рядъ стоекъ, перекрытыхъ насадкой, находящейся на одномъ уровнѣ съ брусьями, которые уложены вдоль стѣнокъ. На эти брусья и насадку опираются прогоны мостоваго полотна, перекрытые досчатымъ настиломъ; боковыя стѣнки обшиты однимъ рядомъ досокъ, а днище — двумя рядами. Въ типѣ (фиг. 35) нижнія поперечины и стойки наклонныхъ стѣнокъ врублены въ одинъ общій брусъ и связаны или желѣзнымъ наугольникомъ, или короткой кокорой (не показанной на чертежѣ). На насадки наклонныхъ стоекъ нарублены поперечныя связи, поверхъ которыхъ поставленъ второй рядъ брусьевъ, а затѣмъ—настилъ.

На фиг. *A*, табл. 5 bis показаны поперечный и продольный разрѣзы и планъ плашкоута Дворцоваго моста въ Петербургѣ. На фиг. (*B*, табл. 5 bis) изображены поперечный разрѣзъ и детали врубокъ прежняго Исаакіевскаго моста черезъ рѣку Неву, въ которомъ стойки (*p*) боковой стѣнки врублены ласточкинымъ хвостомъ въ парныя поперечины днища. На фиг. (*C*, табл. 5 bis) показанъ плашкоутъ болѣе простой конструкціи прежняго моста черезъ рѣку Днѣпръ въ Кременчугѣ. Понтоны не имѣютъ закругленія въ кормовой части; шпангоуты состоятъ изъ двухъ рядомъ расположенныхъ кокоръ, причемъ въ одномъ концѣ кокоры вертикальное колѣно наставлено въ видѣ стойки, а въ другомъ оно природное. Прогоны моста съ подбалкой непосредственно нарублены на вершины парныхъ кокоръ. На (фиг. Д, табл. 5 bis)—показанъ поперечный разрѣзъ плашкоутовъ моста чрезъ р. Оку въ Нижнемъ-Новгородѣ. Длина понтона: 17,90 саж.; ширина—4,40 саж.; высота—0,90 саж.; возвышеніе полотна надъ горизонтомъ воды: 2,80. Ширина проѣзда съ тротуаромъ—10 саж. Осадка безъ подвижной нагрузи—0,25 саж.

Если l длина понтона, b—ширина, h—высота, то обыкновенно $l = 5\,b$, или $l = 5{,}5\,b$; b — отъ $2\,h$ до $3\,h$, причемъ h — измѣняется отъ 4 фут. до 6 фут.; длина заостренія равняется обыкновенно ширинѣ понтона; осадка составляетъ около 2 футовъ. Полная длина плашкоута Дворцоваго моста въ Петербургѣ $l = 13$ саж. 5 фут.; $b = 4$ саж. 5 фут.; $h = 6{,}5$ фут.; ширина полотна—8 саж.

3 фут; возвышеніе прогоновъ надъ горизонтомъ 15 фут.; разстояніе между смежными понтонами 5 саж. 5,5 фут.

Если подъ понтоннымъ мостомъ не предвидится прохода широкихъ и высокихъ барокъ, то полотно моста устраивается непосредственно надъ понтономъ (фиг. 32‴ и 35); въ противномъ случаѣ оно дѣлается приподнятымъ, какъ, напримѣръ, въ Петербургскихъ мостахъ (фиг. 32).

Элементъ моста можетъ состоять или изъ одного плашкоута (Петербургскіе мосты), или изъ двухъ, трехъ, понтоновъ, какъ напримѣръ заграницей. Въ первомъ случаѣ прогоны, поддерживающіе мостовое полотно между смежными элементами, врубаются концами въ крайніе поперечные переводы, располагаются возлѣ концовъ прогоновъ, уложенныхъ на плашкоутѣ, и связываются съ ними канатами, что допускаетъ независимое колебаніе понтоновъ при волненіи. Если элементъ состоитъ изъ нѣсколькихъ понтоновъ, то въ такомъ случаѣ—понтоны одного элемента перекрываются цѣльными прогонами со свѣшивающимися концами (фиг. 30‴); при составѣ элемента изъ трехъ понтоновъ, когда длина цѣльныхъ прогоновъ получилась бы чрезмѣрной, прогоны дѣлаются стычными и взаимно связываются болтами надъ среднимъ понтономъ. Промежутки между понтонами одного и того же элемента дѣлаются въ этомъ случаѣ иногда болѣе промежутковъ между понтонами смежныхъ элементовъ, особенно если имѣются неподпертые подкосами свѣшивающіеся концы. Если же выступающіе концы свѣсовъ подперты подкосами, то можно помѣстить между смежными двойными и тройными элементами независимые прогоны (какъ въ Невскихъ плашкоутныхъ мостахъ). Подобная конструкція имѣетъ однако ту слабую сторону, что нагрузка одного элемента не передается на смежные элементы, что при слабой подъемной силѣ элемента—вызываетъ при движеніи экипажей замѣтное измѣненіе продольной профили моста, а потому, въ случаѣ составленія элемента изъ нѣсколькихъ понтоновъ, обыкновенно выступающіе концы свѣсовъ взаимно стыкаются и связываются возможно жесткимъ образомъ. Наиболѣе простой способъ соединенія состоитъ въ томъ (фиг. 32‴), что концы смежныхъ свѣсовъ перекрываются закрѣпнымъ брусомъ, который прикрѣпляется къ нимъ хомутами съ заклинкой. Кромѣ такого соединенія въ вертикальномъ направленіи концы свѣсовъ соединяются еще цѣпями или канатами. Такъ какъ желѣзная связь брусомъ можетъ быть сдѣлана только по обѣ стороны экипажнаго проѣзда, то, чтобы заставить и остальные прогоны участвовать въ передачѣ давленія отъ одного элемента къ другому,—концы свѣсовъ всѣхъ прогоновъ связываются общимъ обвязнымъ брусомъ (фиг. 32‴). Въ типѣ мостовъ съ одиночными элементами подобное соединеніе представляется необходимымъ лишь при сопряженіи выводного элемента съ остальной частью моста, слѣдовательно только въ двухъ мѣстахъ (фиг. 34*a*, 34*b* и 34*c*).

Выводной элементъ устраивается для пропуска мачтовыхъ судовъ и состоитъ изъ одного или изъ двухъ понтоновъ.

Въ Петербургскихъ мостахъ выводной элементъ состоитъ изъ двухъ понтоновъ, 2-го и 3-го отъ пристани. Расположеніе выводныхъ понтоновъ схематически изображено на (фиг. 34*b*, табл. 5). Плашкоуты (*b*) и (*c*)—выводные, причемъ плашкоутъ (*b*) касается вплотную плашкоута (*a*), а между (*c*) и (*d*) оставленъ промежутокъ около 0,33 саж., перекрытый подъемной рамой (*p*); это сдѣлано для удобства вывода плашкоутовъ—иначе происходило бы заѣданіе. Соединеніе (*a*) съ (*b*) и (*c*) съ (*d*) сдѣлано помощью закрѣпнаго бруса *m*, скрѣплен-

наго съ прогонами плашкоута четырьмя серьгами и клиньями (фиг. 34*a*, и 34*c*). Между плашкоутами (*c*) и (*d*), гдѣ оставленъ промежутокъ — закрѣпной брусъ *m'* болѣе длинный (не указанный на черт. 34*b*). Плашкоуты (*b*) и (*c*) соединены неразрывно независимыми прогонами. Рама состоитъ изъ ряда продольныхъ брусьевъ (*б*) (рис. 177), расположенныхъ по парно между прогонами (*в*) плашкоута; на одномъ концѣ продольные брусья связаны общей обвязкой, а на другомъ концѣ—попарно. Однимъ концомъ рама опирается на брусъ (*г*) сосѣдняго понтона; серединой же опирается на брусъ (*д*) другого понтона. Для образованія оси вращенія рамы рядомъ съ брусомъ (*д*) уложенъ болѣе низкій брусъ (*c*), къ которому въ каждомъ промежуткѣ между прогонами (*в*) прикрѣпленъ хомутъ (рис. 178), состоящій изъ пяти частей: одна изъ этихъ частей откована такимъ образомъ, что представляетъ цилиндръ, утоненный по концамъ, съ приваренными къ нему подъ угломъ четырьмя планками. На утоненныя оконечности надѣвается проушиной планка, прикрѣпленная къ прогонамъ (*б*) рамы. Мостовое полотно рамы состоитъ изъ двухъ поперечныхъ рядовъ досокъ, поставленныхъ на брусья рамы, а полотно моста—изъ поперечнаго и продольнаго ряда досокъ, за исключеніемъ двухъ досокъ (*n*) и (*m*), обѣихъ поперечныхъ, снимаемыхъ для возможности вращенія.

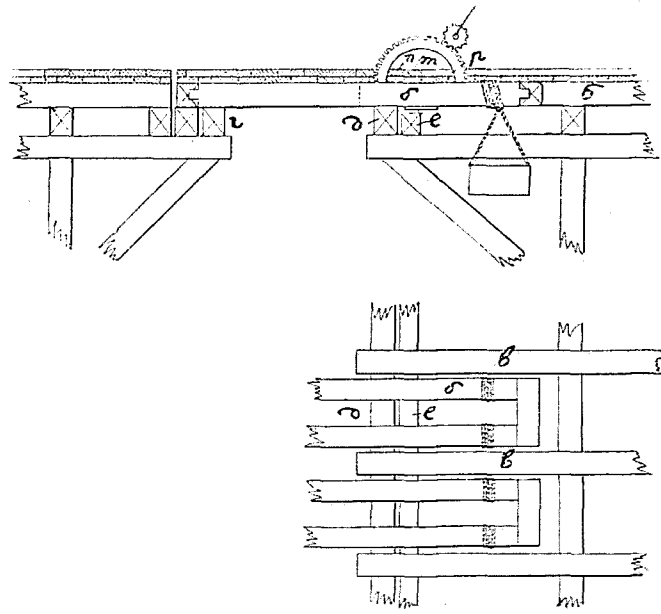


Рис. 177. — Деталп устройства подъемной рамы въ сопряженіп съ выводнымъ элементомъ.

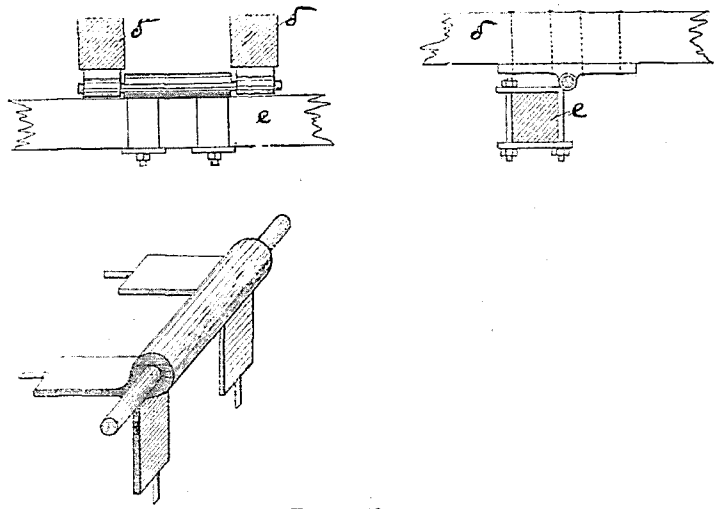


Рис. 178.

Передъ выводомъ плашкоутовъ снимаютъ доски (*n*) и (*m*), затѣмъ вращеніемъ колеса и сектора приподнимаютъ раму, отжимаютъ немного плашкоутъ (*b*) отъ плашкоута (*a*) и начинаютъ травить канатъ якоря. Теченіемъ воды плашкоутъ относится внизъ и дѣйствіемъ руля отводится въ сторону. Обратно, при установкѣ выводныхъ плашкоутовъ на мѣсто, дѣйствіемъ ворота, установленнаго на плаш-

коутѣ, втягиваютъ плашкоутъ на прежнее мѣсто, точно устанавливаютъ и затѣмъ талями плотно скрѣпляютъ плашкоутъ (b) съ (a), опускаютъ раму и ставятъ закрѣпные брусья (m) и (m').

Обезпеченіе неразрывности соединенія дорожнаго и мостового полотна, при измѣнчивости горизонта воды, достигается различными приспособленіями.

Если берега необдѣланы набережной, а имѣютъ естественный пологій уклонъ, и разность горизонтовъ довольно велика, то приспособленіе для въѣзда на мостъ при разныхъ горизонтахъ можетъ состоять изъ ряда плотовыхъ опоръ, взаимно соединенныхъ упругими связями и неподвижно прикрѣпленныхъ однимъ концомъ къ берегу; другой конецъ подобной цѣпи плотовъ находится на плаву и, сообразно съ измѣненіемъ горизонта, ложится на берегъ, или всплываетъ. Для въѣзда съ плота на мостъ устанавливается наклонная платформа (фиг. 35, табл. 5).

Въ Кременчугскомъ мосту плотовыя опоры этой части моста состояли изъ четырехъ продольныхъ (a) бревенъ, связанныхъ шестью поперечинами (b), врубленными въ видѣ ласточкина хвоста, чтобы препятствовать подъему поперечинъ; на поперечинахъ уложенъ былъ одиночный поперечный настилъ съ охранными брусьями и перилами. Каждая изъ двухъ крайнихъ поперечинъ снабжена желѣзной планкой съ проушиной, сквозь которую продѣтъ канатъ для связи смежныхъ поперечинъ. Рама для въѣзда съ плота на плашкоутъ состояла изъ ряда продольныхъ брусьевъ, связанныхъ поперечинами, на которыхъ располагался двойной досчатый настилъ. На плашкоутѣ поверхъ обвязнаго бруса (d) положены двойные переводы, съ двойнымъ досчатымъ настиломъ. Въ крайнемъ понтонѣ, ближайшемъ къ плоту, въ нижній переводъ врубленъ круглый брусъ (e), служащій осью вращенія. На эту ось въ промежуткахъ между двумя смежными двойными переводами врубленъ брусъ ($ж$) рамы, обхваченной снизу желѣзной обоймой, прикрѣпленной болтами; другой конецъ рамы свободно опирался на первый плотъ, составленный для увеличенія подъемной силы изъ восьми бревенъ.

На фиг. (32′, 32″ и 32‴) представлено приспособленіе въ Максаускомъ черезъ р. Рейнъ понтонномъ мосту подъ обыкновенную и желѣзную дорогу на линіи Ландау-Карлеруэ; разность горизонтали 5,1 м.; максимальные уклоны въѣздовъ, $i = 0{,}05$ для моста подъ обыкновенную дорогу, при длинѣ въѣзда въ 35,1 м., и $i = 0{,}035$ для желѣзнодорожнаго моста, при длинѣ въѣзда въ 64,4 м. Поперечины (b) (фиг. 32″) полотна въѣздовъ перваго моста поддерживаются желѣзными штырями (s), продѣтыми сквозь отверстія въ стойкахъ, расположенныхъ по обѣ стороны полотна. Поднимая или опуская поперечины домкратами, съ соотвѣтственнымъ измѣненіемъ положенія штырей, можно придать полотну любой уклонъ; въ желѣзнодорожномъ мосту металлическія поперечныя балки трубчатаго сѣченія прикрѣплены къ гайкѣ безконечнаго вертикальнаго винта, приводимаго въ движеніе колесомъ съ рукояткой; винты діаметромъ $d = 63$ м. укрѣплены между парными стойками, перекрытыми насадкой. Площадь каждаго понтона 63,4 кв. м.; длина 20,60 м. и ширина 4,75 м.; желѣзная дорога занимаетъ ширину 4,25 метр., а мостовое полотно подъ обыкновенную дорогу, расположенное по обѣ стороны желѣзной дороги, имѣетъ ширину по 3,5 м.; продольный разрѣзъ понтона указанъ на рис. 180. Каждый элементъ моста состоитъ изъ трехъ понтоновъ и представляетъ длину въ 21 м. Осадка отъ подвижного груза 0,19 м., а отъ постоянной нагрузки 0,39 м. Вѣсъ понтона 16800 кил.; вѣсъ проѣзжей части 1200 кил. на пог. метръ. При опредѣленіи осадки отъ подвижного груза предположено было, что нагрузка эта, занимающая элементъ моста, принимается не только этимъ элементомъ, но и передается на два сосѣднихъ элемента, предполагая, что между элементами соединеніе шарнирное. Тогда, считая вѣсъ куб. метра воды въ 1000 кил., искомая добавочная осадка y опредѣляется изъ:

$$\left[3 + 2 \times \frac{18{,}2}{21} + 2 \times \frac{10{,}5}{21} + 2 \times \frac{2{,}8}{21}\right] 63{,}4 \times 1000 \times y = 21 \times 2500 + 8000 \text{ кил.};$$

откуда:

$$y = 0{,}19 \text{ метр.}$$

Въ приведенномъ уравненіи 21—выражаетъ длину тройного элемента; 2,8; 10,5 и 18,2—разстоянія оси каждаго понтона отъ края элемента; 2500 кил. подвижную нагрузку на пог. метръ

пути желѣзнодорожнаго моста; 8000 кил.—подвижную нагрузку моста подъ обыкновенную дорогу, на всю длину элемента.

Подобное же приспособленіе было примѣнено при устройствѣ пристани на Дунаѣ въ Рени въ кампанію 1877—78 г. (рис. 180′). Отличіе состояло въ томъ, что на подвѣсныхъ болтахъ поддерживались не отдѣльныя поперечины, а подвѣсныя фермы—длиною отъ 5°,5 до 6°.

Если берегъ обдѣлапъ набережной, то пользуются качающейся рамой (фиг. 33, табл. 5), или при большой разности горизонтовъ,—качающейся фермой (фиг. *E*, табл. 5 bis).

На (фиг. 33, табл. 5) показано приспособленіе на прежнемъ Исаакіевскомъ мосту. Рама составлена по длинѣ изъ двухъ частей, взаимно соединенныхъ за-

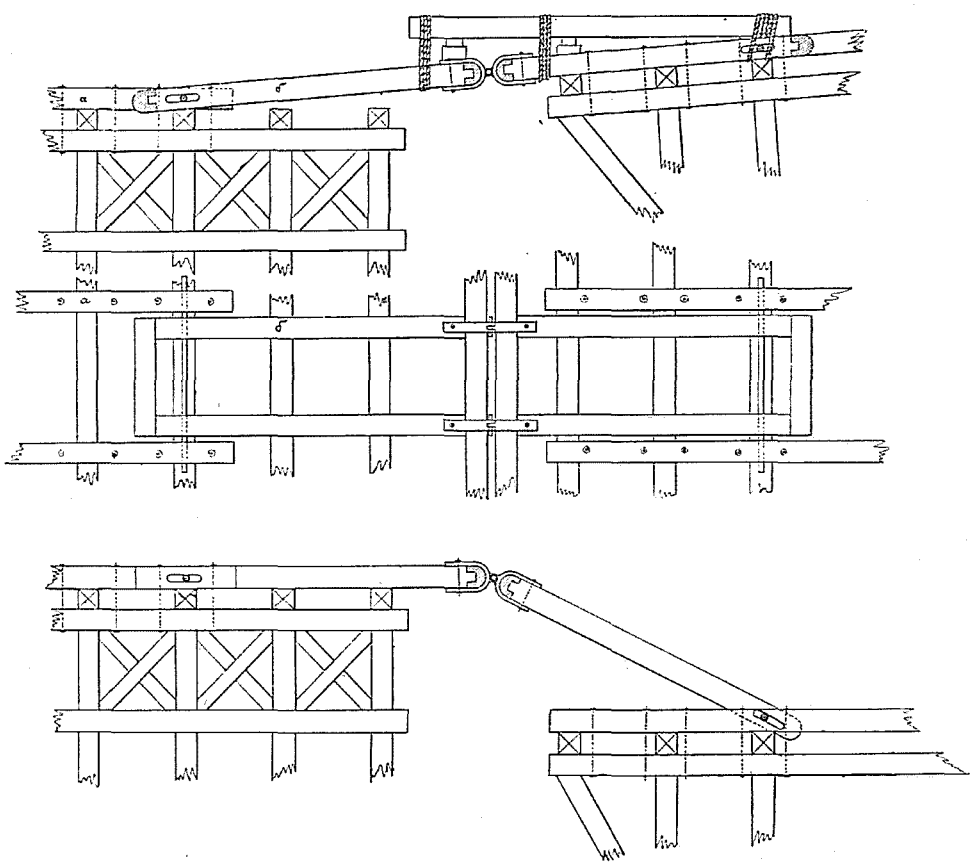


Рис. 179. — *Детали устройства сопряженія плашкоута съ пристанью.*

кидным крюкомъ. Часть рамы, приходящаяся надъ плашкоутомъ, имѣетъ неподвижную ось вращенія, установленную надъ среднимъ поперечнымъ брусомъ плашкоута; къ концамъ прогоновъ рамы повѣшенъ на оси толстый желѣзный крюкъ. Прогоны рамы, расположенной надъ устоемъ, имѣютъ обдѣланныя желѣзомъ оконечности; сквозь передній конецъ прогона продѣта металлическая ось, за которую закидывается крюкъ; въ другомъ концѣ прогона, тоже обдѣланномъ желѣзомъ, имѣется продольный прорѣзъ, въ который вставлена металлическая ось; эта послѣдняя вставлена въ проушины планокъ, задѣланныхъ неподвижно въ кладку. Такимъ образомъ—корень береговой рамы можетъ имѣть незначительное горизонтальное перемѣщеніе и вращеніе около металлической оси. При нормальномъ положеніи горизонта обѣ рамы горизонтальны и упираются

на рядъ поперечныхъ брусьевъ; при попиженіи горизонта (фиг. 33), береговая рама остается горизонтальной, а рѣчная наклоняется впизъ; при повышеніи горизонта, рѣчная рама остается горизонтальной, а береговая получаетъ уклонъ вверхъ; въ обоихъ этихъ случаяхъ появляются два перелома, а при короткой

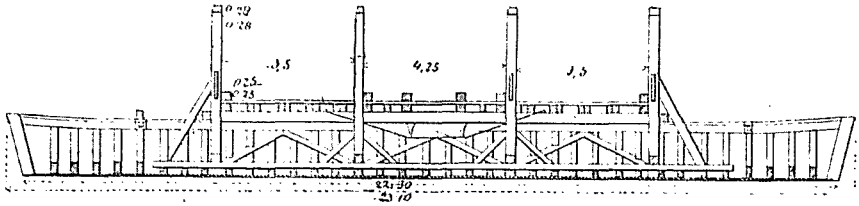


Рис. 180. — Продольный разрѣзъ понтона Максаускаго моста.

рамѣ и довольно крутой уклонъ (болѣе 0,07 допускать не слѣдуетъ). На Петербургскихъ мостахъ, гдѣ горизонтъ Невы большею частью выше иормальпаго, и гдѣ слѣдовательно преобладаетъ второй случай, съ одной стороны съ цѣлью уменьшенія уклона въѣзда па мостъ, а съ другой,—чтобы избѣжать крутого перелома полотна,—примѣняется *вага* (фиг. 34 а и рис. 179), помощью которой первый плашкоутъ принимаетъ паклоппое положеніе. На рис. 179 изображена деталь этого устройства въ Дворцовомъ мосту. Деревяпный устой выдвинутъ изъ-за набережной въ рѣку; прогоны (*а*) постоянной части устоя пе доходятъ до конца устоя; рядомъ съ ними помѣщены прогоны рамы, соединенные въ концѣ общей обвязкой, а въ корневой части—лишь попарно; около корня рамы въ прогонахъ сдѣланы продольные прорѣзы, сквозь которые проходитъ металлическая ось, продѣтая и чрезъ прогоны постоянной части моста; то же устройство примѣнено и въ рѣчной рамѣ; концы прогоновъ обѣихъ рамъ обдѣланы желѣзной скобой съ проушиной и шкворнемъ; надъ крайними прогонами рамы помѣщена вага, прикрѣпленная однимъ концемъ къ средней поперечинѣ понтопа; другой же конецъ, приподнятый, связанъ канатомъ съ прогонами обѣихъ рамъ и расклиненъ клиньями такъ, что прогоны рѣчной рамы имѣютъ тотъ же уклонъ, какъ прогоны береговой рамы.

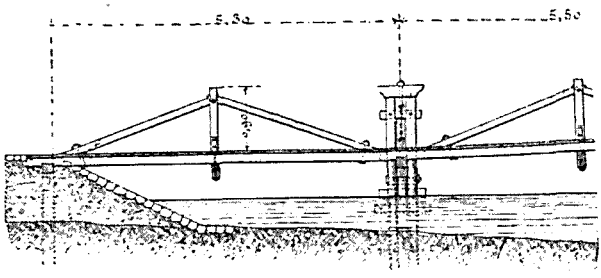


Рис 180′ — Сопряженіе пристани на Дунаѣ въ Рени съ берегомъ.

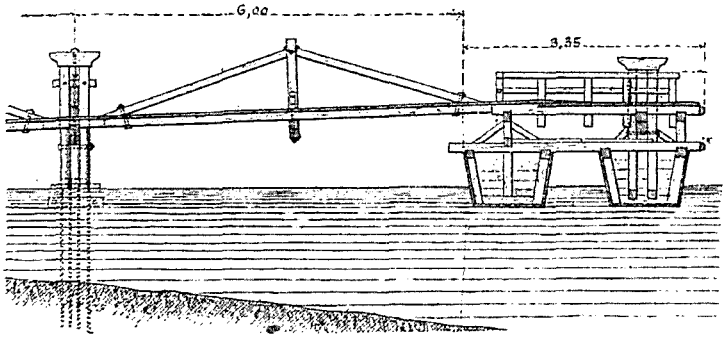


Рис. 180″ — Сопряженіе пристани на Дунаѣ въ Рени съ берегомъ.

При значительной разницѣ горизонтовъ примѣняютъ качающіяся фермы съ неподвижной осью вращенія на устоѣ или па плашкоутѣ (фиг. 41, табл. 6). На (фиг. *Е*, табл. 5 bis) показано устройство сопряженія па мосту чрезъ р. Оку

въ Нижнемъ Новгородѣ. Длина качающейся деревянной фермы параболической системы: 8°; высота фермы 0°,80; число фермъ — 8; неподвижная опора фермы находится на понтонѣ, а подвижная—на устоѣ.

Наведенный мостъ удерживается на мѣстѣ *якорными канатами* и *одержниками*. Въ зависимости отъ глубины якорный канатъ имѣетъ длину отъ 60 до 70 сажень и толщину около 12 д.; иногда же канатъ замѣняется цѣпью, приготовленною изъ круглаго желѣза толщиною $^5/_8$ д. Одинъ конецъ каната прикрѣпляется къ якорю, вѣсомъ отъ 20 до 35 пудовъ, а другой конецъ навертываютъ на брашпиль (воротъ), помѣщенный въ плашкоутѣ, гдѣ его и закрѣпляютъ наглухо. Каждый плашкоутъ стоитъ на двухъ якоряхъ. Носовой или верхній якорный канатъ сопротивляется дѣйствію струи, кормовой же или нижній удерживаетъ плашкоутъ во время низовыхъ вѣтровъ. Кромѣ этихъ постоянныхъ усилій, якорные канаты должны еще выдерживать напоръ судовъ, часто наплывающихъ на мостъ вслѣдствіе неосмотрительности судорабочихъ, а также и напоръ осенняго льда. Кормовые канаты, не подверженные этимъ временнымъ уеиліямъ, часто замѣняются болѣе тонкими въ 6 д. или въ 8 д. *Одержниками* называются 16 д. канаты, протянутые вдоль всего моста и прикрѣпленные къ каждому плашкоуту $2^1/_2$ дюйм. снастями. Ихъ помѣщаютъ подъ тротуаромъ у самаго края; одинъ конецъ одержниковъ обвертываютъ два или три раза около палъ, забитыхъ у пристани того берега, къ которому отводятъ мостъ, и потомъ закрѣпляютъ за рымъ, т. е. за кольцо, вдѣланное въ набережную, если таковая имѣется. Все это закрѣпленіе называется *корнемъ моста* или *корнемъ одержниковъ*.

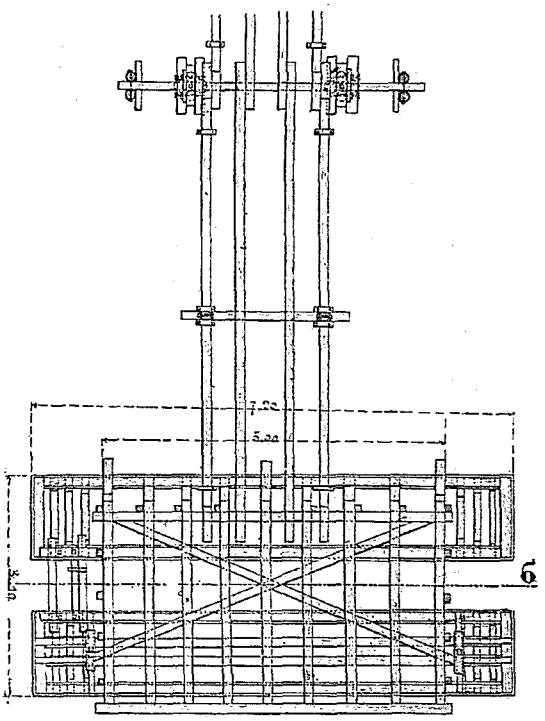


Рис. 180‴ — Сопряженіе пристани на Дунаѣ въ Рени съ берегомъ.

Корневые одержники, хотя имѣющіе длину, соотвѣтствующую длинѣ всего моста, протягиваются при наведенномъ положеніи моста вдоль всего моста лишь до выводной части, крѣпятся къ стойкамъ ближайшаго выводнаго плашкоута, и свободные концы располагаются на плашкоутѣ, ближайшемъ къ выводной части; этимъ способомъ выводная часть приводится въ связь съ корневымъ крыломъ моста. Второй плашкоутъ выводнаго элемента связанъ самостоятельнымъ одержникомъ съ плашкоутомъ около пристани.

Передъ ледоходомъ понтонный мостъ отводится къ берегу Для сего предварительно принимаютъ рядъ мѣръ, чтобы разомъ можно было начать вращеніе моста, а именно—вынимаютъ болты, соединяющіе пловучую часть съ пристанями и временно скрѣпляютъ ихъ канатами; затѣмъ открѣпляютъ якорные канаты отъ брашпилей и перекидываютъ черезъ валъ шпиля лишь одну петлю; наставляютъ длинными перлинями (8 д. канатъ) якорные канаты среднихъ плашкоутовъ и наиболѣе удаленныхъ отъ корневой части; протягиваютъ одержники, идущіе отъ

корневой части чрезъ выводные плашкоуты до послѣдняго плашкоута, гдѣ ихъ и закрѣпляютъ. Передъ поворотомъ рубятъ канаты, соединяющіе временно пловучую часть съ пристанями, и начинаютъ травить якорные канаты, нарощенные пер-

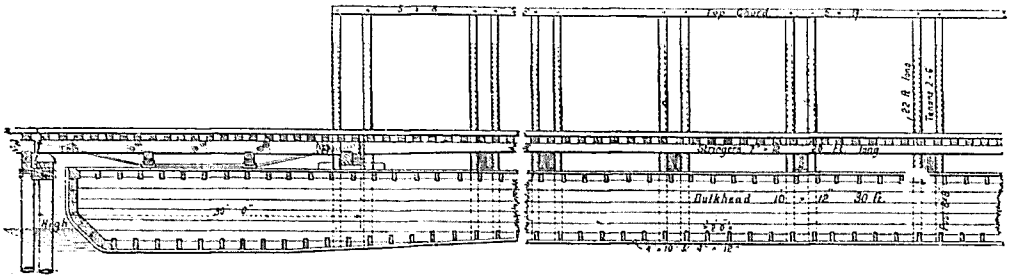


Рис. 181*а*. — Продольный разрѣзъ понтона черезъ рукавъ р. Миссисипи.

линями, а также и корень одного изъ одержниковъ, уложеннаго съ внѣшней стороны. Дѣйствіемъ теченія мостъ цѣльнымъ крыломъ описываетъ $^1/_4$ окружности.

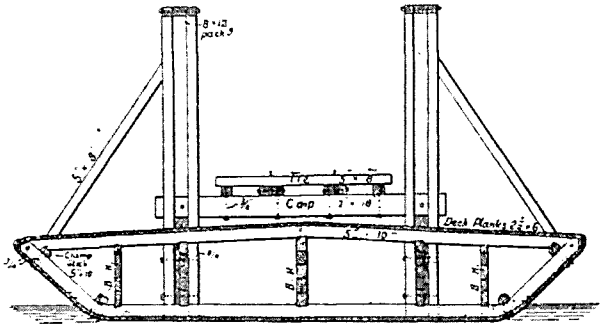


Рис. 181*б*. — Поперечный разрѣзъ понтона.

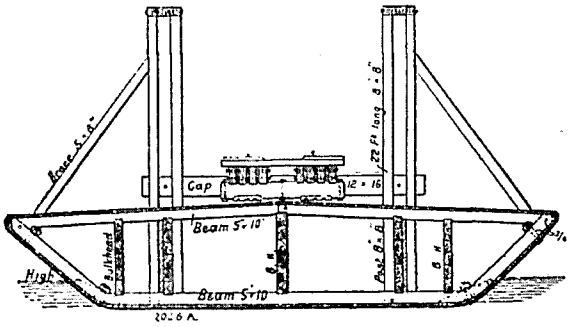


Рис. 181*в*. — Поперечный разрѣзъ понтона по шпренгельному мосту.

На (рис. 181) изображенъ оригинальный деревянный понтонный мостъ черезъ рукавъ р. Миссисипи, подъ жел. дорогу. Мостъ состоитъ изъ одного понтона, поставленнаго поперекъ рѣки.

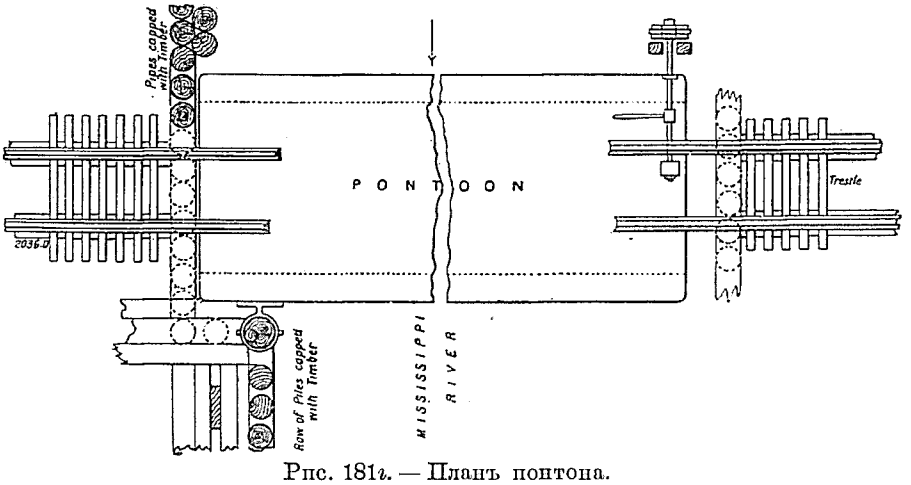


Рис. 181*г*. — Планъ понтона.

Длина понтона—124,4 метр., ширина—8,53 метр., высота—1,37 метр., осадка измѣняется отъ 0,28—0,46 метровъ, причемъ наибольшую осадку понтонъ имѣетъ по концамъ, для того, чтобъ уменьшить перекашиваніе понтона при вступленіи на него поѣзда. Непрерывное сопряженіе съ берегомъ при измѣненіи горизонта достигается при помощи шпренгельнаго моста, свободно опирающа-

тося на пристань и неразрывно соединеннаго шарнирной связью съ прогонами, уложенными по понтону. При значительномъ колебаніи горизонтовъ — уклоны съѣзда на мостъ уменьшаются соотвѣтственнымъ поднятіемъ поперечинъ полотна моста, которыя можно передвигать вверхъ между направляющими рамами, и удерживать на извѣстной высотѣ, подводя подъ нихъ короткіе бруски. При необходимости пропуска судовъ — понтонъ отводится въ сторону дѣйствіемъ теченія, причемъ онъ описываетъ четверть окружности. Обратная установка понтона совершается путемъ навиванія на воротъ каната, прикрѣпленнаго къ якорю.

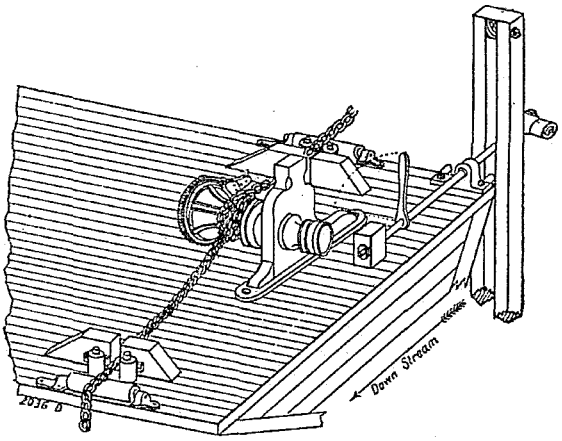


Рис. 181*д*. — Деталь закрѣпленія понтона.

Въ *металлическихъ понтонныхъ мостахъ* понтоны имѣютъ большею частью сѣченіе и устройство корпуса плоскодоннаго желѣзнаго судна, а иногда представляютъ и цилиндрическое сѣченіе; въ послѣднемъ случаѣ обыкновенно каждые два понтона неразрывно соединяются съ поставленными на нихъ металлическими фермами со свѣсами, такъ что элементъ моста состоитъ изъ двухъ планкоутовъ.

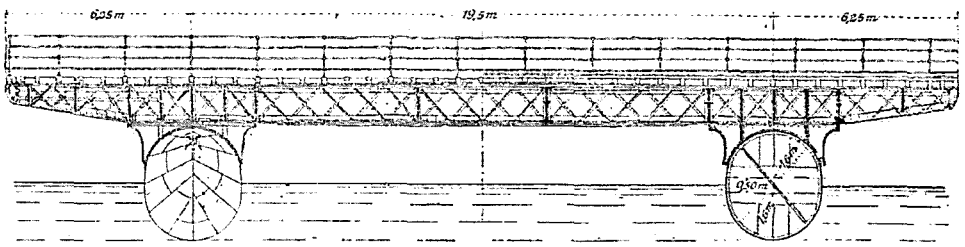


Рис. 182. — Элементъ металлическаго понтоннаго моста въ Ригѣ.

Такъ напр. въ изображенномъ на рис. 182, 183 и 184 понтонномъ мосту въ Ригѣ черезъ р. З. Двину—опоры представляютъ въ сѣченіи овалъ, составленный изъ

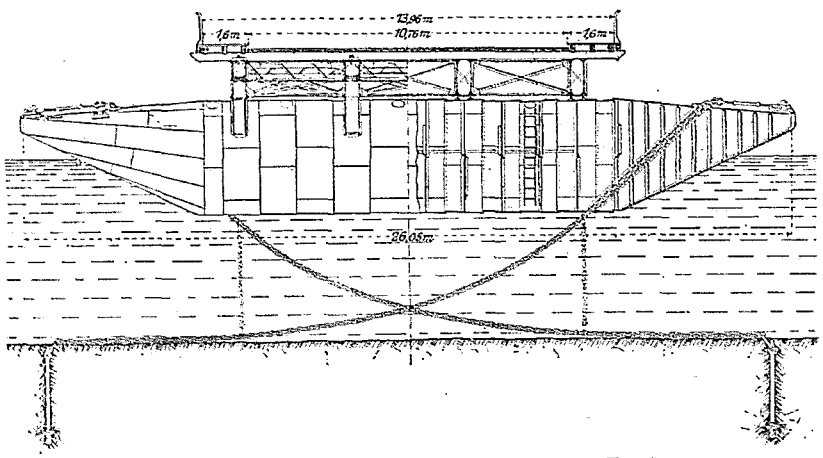


Рис. 183. — Опора понтоннаго моста въ Ригѣ.

двухъ полуокружностей радіуса 1,6 м. и изъ прямой вставки въ 0,5 м. (въ дѣйствительности вставка не прямая, а выпуклая со стрѣлою въ 2 сант.) По обоимъ концамъ понтоны заострены; полная длина каждаго изъ нихъ 26,05 м. Въ по-

перечномъ сѣченіи корпусъ подраздѣленъ водонепроницаемыми переборками съ лазами для осмотра. Кромѣ того имѣется рядъ шпангоутовъ изъ углового желѣза, къ которымъ прикрѣплена оболочка толщиною 8 мм. Прикрѣпленіе понтоновъ къ ложу рѣки сдѣлано помощью мертвыхъ якорей, завинченныхъ подъ понтонами, а не съ верховой и низовой стороны. Цѣпи, составленныя изъ $1^1/_2$ д. звеньевъ, пропущены крестообразно съ обоихъ концовъ понтона по цилиндрической трубѣ. Подобное расположеніе цѣпей, отличное отъ обыкновеннаго, имѣетъ то преимущество, что въ началѣ ледохода льдины не наваливаются на канаты,

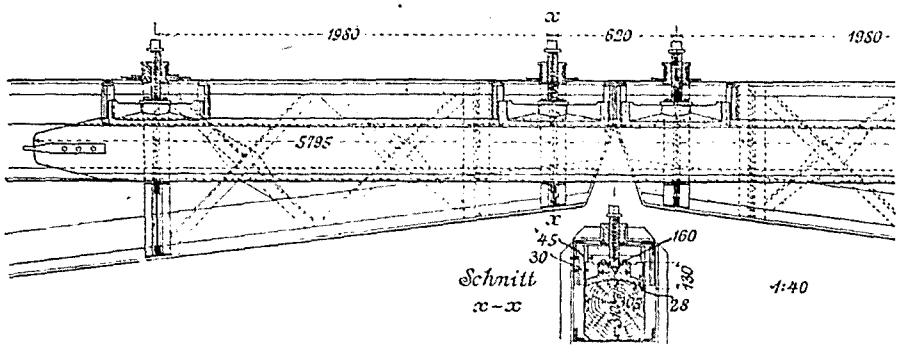


Рис. 184. — Деталь сопряженія элементовъ.

не рвутъ ихъ, а, подплывая подъ носовую часть понтона и стремясь его приподнять, ломаются около нижняго ребра передней части, подобно тому, какъ это бываетъ въ ледорѣзахъ.

Каждый элементъ моста состоитъ изъ двухъ понтоновъ, разставленныхъ на взаимное разстояніе 19,5 м., на которомъ укрѣплены четыре рѣшетчатыя фермы со свѣсами по 6,25 м. Элементы взаимно стыкаются свѣсами. Соединеніе достигается тѣмъ, что внутри свѣсовъ устроено (рис. 184) коробчатое огражденіе, куда вставляется деревянный брусъ сѣченія 31 × 31 сант., закрѣпляемый па-

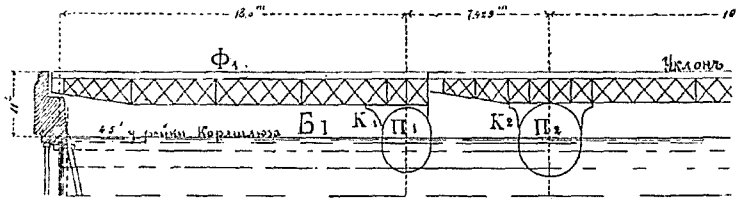


Рис. 184′. — Сопряженіе понтоннаго моста въ Ригѣ съ берегомъ.

жимными винтами. Выводной элементъ состоитъ изъ двухъ понтоновъ и представляетъ длину: $11 + 2 \times 3{,}625 = 18{,}25$ м. Всего по ширинѣ моста поставлены непосредственно надъ переборками четыре фермы рѣшетчатой системы, которыя поддерживаютъ мостовое полотно шириною 13,96 м., въ томъ числѣ на два тротуара по 1,6 м. Сопряженіе съ берегомъ сдѣлано помощью качающейся фермы, длиною 18 м., опирающейся однимъ концомъ на устой, а другимъ на спеціальный понтонъ. На рис. 184′ и 184″—показаны сопряженія съ правымъ и лѣвымъ берегомъ, причемъ наибольшій уклонъ полотна не превосходитъ: $i = 0{,}028$. Вѣсъ понтона опредѣлился въ 22,3 топ. съ подъемной силой въ 180 тоннъ. Вѣсъ фермъ со свѣсами составляетъ на каждый элементъ 60,6 тн. или на пог. метръ 1,9 топ. При расчетѣ нагрузка принята въ 400 кил. на кв. метръ экипажнаго проѣзда и въ 560 кил. для тротуаровъ.

На рис. 185 показанъ понтонный металлическій пѣшеходный мостъ близъ Кобленца, въ Мозельской гавани. Діаметръ цилиндрическихъ понтоновъ 1,5 м., толщина оболочки 4 мм., а въ головныхъ частяхъ 6 мм. Сопряженіе съ берегомъ сдѣлано помощью откидной платформы съ осью вращенія на понтонѣ; конецъ платформы на берегу опирается на чугунные катки, діаметромъ 200 м.; къ концу

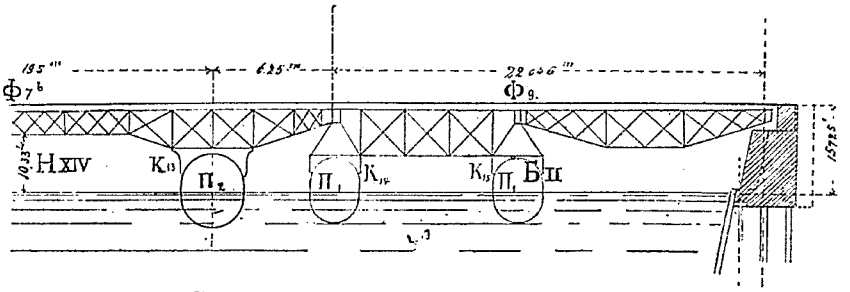


Рис. 184II. — Сопряженіе понтоннаго моста съ берегомъ въ Ригѣ.

платформы прикрѣпленъ канатъ, перекинутый черезъ высокія стойки и прикрѣпленный къ валу зубчатки. Въ виду звачительнаго колебанія горизонта, до 5,6 м., устроены рядомъ двѣ пристани высокаго и низкаго уровня. Подъемная сила 280 кил. на кв. метръ.

Изъ другихъ мостовъ съ желѣзными понтонами слѣдуетъ упомянуть о Мангеймскомъ мостѣ черезъ р. Рейнъ, въ которомъ длина понтоновъ 15 м., ширина 3 м., высота 1,2—1,35 м.; толщина обшивки 3,75 мм., вѣсъ 3.000 кил.; а также о мостѣ Hoogly въ Калькуттѣ, съ парными понтонами, разставленными на 11 м. ось отъ оси, длиною 38,5 м., шириною 3 м. и высотою 2,4—3,3 м.; въ виду такого малаго отношенія ширины понтона къ длинѣ, каждый понтонъ въ отдѣльности неустойчивъ.

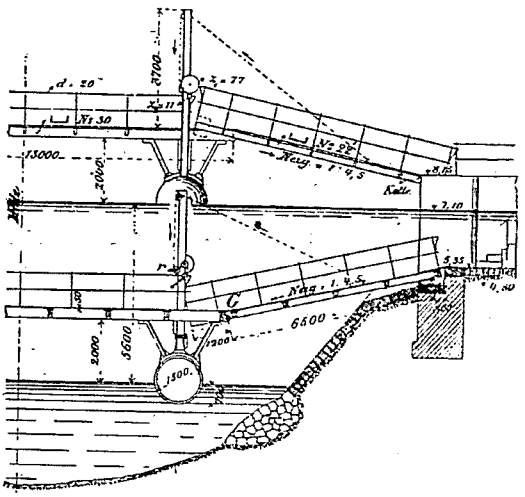


Рис. 185. — Сопряженіе понтоннаго моста съ берегомъ близъ Кобленца.

Третью группу подвижныхъ мостовъ составляютъ: **летучіе мосты, т. е. паромы, самолеты и передвижныя платформы.** Летучіе мосты характеризуются присутствіемъ особаго приспособленія, направляющаго движеніе судна или платформы. По роду устройства этого приспособленія паромы и самолеты могутъ быть раздѣлены на двѣ категоріи, причемъ движеніе судна удерживается въ извѣстномъ направленіи: а) подвѣснымъ канатомъ, перекинутымъ поперекъ рѣки, или закиднымъ канатомъ; б) цѣпью, уложенною по дну рѣки и навиваемою на ось барабана, помѣщеннаго на суднѣ. Въ передвижныхъ платформахъ, перемѣщаемыхъ постоянной паровой машиной, установленной на берегу, движеніе напрявляется рельсовымъ путемъ, устроеннымъ по дну рѣки или канала, какъ напр. между С.-Мало и С.-Серванъ (фиг. 36, табл. 6) или путемъ, уложеннымъ на постоянномъ мосту высокаго уровня, какъ напр. въ Португалеттѣ (рис. 141).

Движеніе судна можетъ быть произведено обыкновенной греблей, паровой силой, или же силою теченія. Въ послѣднемъ случаѣ—паромы называются *самолетами*. Разсмотримъ этотъ типъ паромовъ.

Дѣйствіемъ теченія перемѣщаются поперекъ рѣки одна или двѣ взаимно соединенныя лодки, перекрытыя общимъ помостомъ. Для возможности поперечнаго пере-

мѣщенія продольная ось лодки должна составлять съ направленіемъ теченія уголъ около 55°. Удобнѣе пользоваться для сего узкими, длинными лодками съ вертикальными бортами; вѣсъ лодокъ должеиъ значительно превосходить вѣсъ каната. При выборѣ мѣста для переправы слѣдуетъ отдавать преимущество прямымъ участкамъ рѣки, съ правильнымъ теченіемъ, скорость котораго должна быть во всякомъ случаѣ не менѣе 3 фут. въ сек. Полезно устраивать на обоихъ берегахъ причальные помосты, снабдивъ вмѣстѣ съ тѣмъ паромъ откидными щитами.

Переправа можетъ быть совершена при помощи: а) подвѣснаго каната, и б) закидного каната.

Первый пріемъ можно употреблять при ширинѣ рѣки до 20 саж., пользуясь при этомъ предѣлѣ проволочнымъ кабелемъ (фиг. *F* и *G*, табл. 5 bis). На обоихъ берегахъ рѣки прочно устанавливаются стойки, вершины которыхъ приспособлены для проведенія по нимъ кабеля, закрѣпляемаго въ землѣ, какъ указано на фиг. (*H* и *I*). Низшая точка кабеля должна быть выше наиболѣе высокаго горизонта рѣки. Вблизи опоръ пологость кабеля наименьшая, въ виду чего для удобства перемѣщенія ролика опоры слѣдуетъ отставлять возможно дальше отъ урѣза воды. Отъ парома идутъ двѣ пары канатовъ (фиг. *G*), закинутыхъ за блокъ передвижного ролика (фиг. *K* и *G*), перемѣщающагося по натянутому поперекъ рѣки кабелю. Для того, чтобы лодки сохраняли опредѣленное наклоненіе къ направленію теченія, необходимо все время пользоваться рулемъ. При указанномъ на фиг. *G* положеніи, паромъ перемѣщается справа на лѣво; для обратнаго движенія длинная вѣтвь каната должна быть прикрѣплена къ другой сторонѣ парома. Вмѣсто одиночнаго ролика употребляются иногда парные ролики (фиг. *G*).

Наивыгоднѣйшій уголъ наклоненія α парома къ направленію теченія опредѣлится слѣдующимъ образомъ (фиг. *N*, табл. 5 bis).

Если l — длина парома; α — искомый уголъ; k — коэффиціентъ пропорціональности, то сила удара струи на паромъ: $kl \sin \alpha$.

[Если F — площадь сѣченія парома, подверженная дѣйствію струи; v — скорость струи; δ — вѣсъ куб. единицы воды, то сила удара: $P = \mu \frac{v^2}{2g} . F\delta = 0{,}37 . \frac{v^2}{2g} F\delta$, причемъ если h — средняя осадка, то $F = hl \sin \alpha$]. Составляющая, нормальная къ парому: $M = kl \sin^2 \alpha$, разложится въ свою очередь на двѣ силы; одна, нормальная къ направляющему канату, вызоветъ треніе въ ролшкахъ, а другая, параллельная канату: $N = kl \sin^2 \alpha \cos \alpha = kl (1 - \cos^2 \alpha) \cos \alpha$, произведетъ перемѣщеніе. Наибольшее значеніе этой силы найдется изъ:

$$\frac{dN}{d\alpha} = -\sin \alpha + 3 \cos^2 \alpha \sin \alpha = 0;$$

откуда: $$\cos \alpha = \sqrt{1/3} = 0{,}58 \text{ или } \alpha = 54° 30'.$$

Въ самолетахъ съ закидпымъ канатомъ послѣдній долженъ быть въ $1^1/_2$—2 раза длиннѣе ширины рѣки и, если онъ получается очень длиннымъ, то поддерживается промежуточными бакенами (фиг. *L* и *M*) такъ, чтобы не касался воды. Длина якорныхъ цѣпей (считая отъ крайней лодки) должна быть не менѣе удесятеренной глубины рѣки; обыкновенно употребляются два или три якоря вѣсомъ отъ 7 до 12 пуд. Конецъ каната прикрѣпляется къ серединѣ парома, или, какъ указано на фиг. *L*, къ канату-бухтѣ длиною въ три раза больше длины парома, или же его прикрѣпляютъ къ задней части парома по направленію продольной оси (рис. 186), причемъ, чтобы не задѣвать за пассажировъ, канатъ отъ ворота перекинутъ черезъ перекладину, укрѣпленную на стойкахъ. Стойки удерживаются въ неизмѣнномъ положеніи тяжами, а перекладина сдѣлана изъ

двухъ брусьевъ, образующихъ пазъ, въ которомъ скользитъ брусокъ съ каната томъ, причемъ послѣдній помощью руля устанавливается подъ угломъ около 55°.

Перемѣщеніе парома совершается аналогично съ движеніемъ маятника; вмѣсто силы тяжести дѣйствуетъ лишь сила теченія рѣки. Слѣдовательно для того, чтобы перемѣщеніе имѣло мѣсто, необходимо, чтобы направленіе закидного каната со-

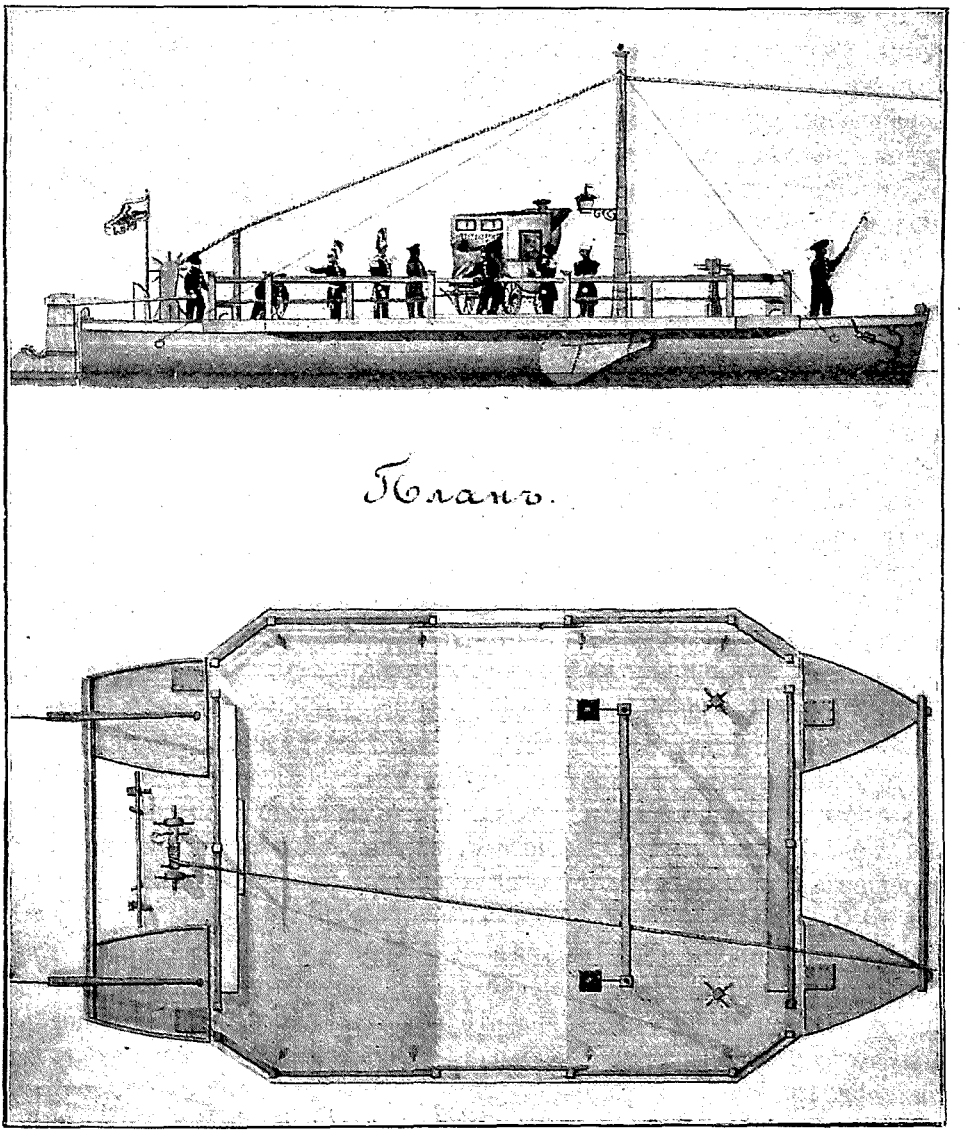


Рис. 186. — Паромъ самолетъ въ Двинскѣ.

ставляло извѣстный уголъ съ направленіемъ теченія; когда оно сдѣлается параллельнымъ—паромъ можетъ продолжать дальнѣйшее перемѣщеніе, лишь расходуя пріобрѣтениую скорость.

При очень узкой и быстрой рѣкѣ закидной канатъ прикрѣпляется къ берегу (фиг. *О*), и слѣд. необходимо имѣть два каната и четыре причальныхъ помоста. Въ этомъ случаѣ закидной канатъ приметъ направленіе, параллельное теченію, лишь въ концѣ перемѣщенія; слѣдов., во все время движенія те-

ченіе воды будетъ вызывать перемѣщеніе парома. Если ширина рѣки довольно значительна, то пользуются нѣсколькими закидными канатами, съ якорями, прикрѣпленными на обоихъ берегахъ и кромѣ того въ нѣсколькихъ мѣстахъ по ширинѣ рѣки; при этомъ устанавливаютъ на якоряхъ одну или нѣсколько промежуточныхъ причальныхъ лодокъ, и движеніе совершается отъ берега къ первой причальной лодкѣ, отъ нея ко второй и т. д. При переходѣ отъ одного перегона къ другому, конецъ закидного каната оставляется на причальной лодкѣ, и къ парому прикрѣпляется закидной канатъ слѣдующаго перегона; это повторяется до тѣхъ поръ, пока не будутъ пройдены всѣ перегоны. Если не устанавливать береговыхъ якорей съ закидными канатами, а лишь одинъ якорь по серединѣ рѣки, то теченіемъ воды можно будетъ пользоваться только для перехода первой половины ширины рѣки; вторую половину придется проходить на веслахъ, пользуясь вмѣстѣ съ тѣмъ пріобрѣтенной скоростью отъ предыдущаго періода.

Къ отдѣлу паромовъ слѣдуетъ причислить желѣзнодорожные паромы, имѣющіе назначеніемъ перемѣщать желѣзнодорожные поѣзда съ одного берега на другой. Вагоны желѣзнодорожнаго поѣзда устанавливаются или на палубу баржъ, буксируемыхъ пароходомъ, или же на палубу парохода.

При измѣнчивости горизонта воды устраиваются особыя приспособленія для спуска или подъема поѣзда на палубу судна. Такъ, напр. пользуются наклонными плоскостями, по которымъ движется платформа съ горизонтальной площадкой, служащая посредствующимъ звеномъ между палубой судна и наклонной плоскостью (фиг. 37, табл. 6). Передняя часть платформы выше задней, такъ что, будучи поставлена на наклонную плоскость, верхняя площадка горизонтальна. На площадкѣ уложены рельсы, выступающіе надъ заднею осью платформы и срѣзанные на нѣтъ въ концѣ для лучшаго соприкасанія съ головкою путевого рельса, уложеннаго на наклонной плоскости; на другомъ концѣ платформы имѣется небольшой подъемный мостикъ съ противовѣсомъ; мостикъ необходимъ, чтобы спустить или вкатить вагонъ съ платформы на палубу судна.

Вмѣсто наклонныхъ плоскостей устраиваютъ на берегу подъемныя башни, внутри которыхъ поднимаются или опускаются вагоны до горизонта палубы судна (фиг. 38, табл. 6). Упомянутое приспособленіе (на Рейнѣ близъ Рурорта) состоитъ въ слѣдующемъ. На берегу рѣки устроена каменная башня, примыкающая одной стороной къ рѣкѣ, а противуположной — къ полотну желѣзной дороги. Какъ со стороны пути, такъ и со стороны рѣки въ стѣнахъ башни сдѣланы сводчатыя отверстія, настолько значительныя, что вагоны могутъ свободно проходить; низъ отверстія со стороны пути помѣщенъ на горизонтѣ полотна дороги, а со стороны рѣки — примѣрно на горизонтѣ палубы парохода. Внутри башни можетъ перемѣщаться желѣзная платформа въ предѣлахъ горизонтовъ полотна дороги и палубы судна; платформа помощью желѣзныхъ штангъ подвѣшена къ четыреугольной рѣшетчатой рамѣ, а эта послѣдняя въ свою очередь штангами же прикрѣплена къ стержню поршня гидравлическаго пресса, помѣщеннаго по серединѣ башни выше крайняго верхняго положенія платформы на желѣзныхъ балкахъ, перекинутыхъ съ одной стѣны на другую. Къ стержню поршня прикрѣплены кромѣ того проволочные канаты съ противовѣсами; канаты перекинуты черезъ блоки, поставленные на верху стѣнъ, причемъ противовѣсы могутъ свободно перемѣщаться въ вертикальныхъ каналахъ, сдѣланныхъ въ стѣнахъ башни. Противовѣсы такъ расчитаны, что они немного легче вѣса платформы съ вагонами. Въ сторонѣ отъ башни поставленъ аккумуляторъ, собирающій запасъ воды подъ значительнымъ давленіемъ. Гидрав-

лическій прессъ имѣетъ внизу два отверстія, помощью которыхъ онъ по произволу можетъ быть приведенъ въ сообщеніе или съ аккумуляторомъ, или съ наружнымъ воздухомъ. Когда платформа, занимающая нижнее положеніе въ уровнѣ палубы судна, должна быть поднята вверхъ, то закрываютъ кранъ трубки, сообщающійся съ наружнымъ воздухомъ, и открываютъ кранъ другой трубки, сообщающійся съ аккумуляторомъ; вода, устремляясь въ прессъ, поднимаетъ поршень, а вмѣстѣ съ нимъ и платформу съ поставленными на нее вагонами; когда она поднимется до уровня рельсовъ, вагоны выкатываются на путь, а взамѣнъ ихъ

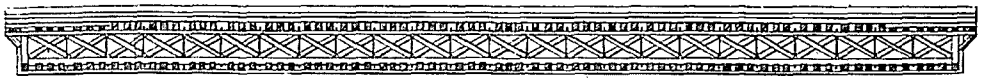


Рис. 187. — Продольный разрѣзъ барки желѣзнодорожной переправы черезъ р. Волгу близъ Ярославля.

ставятъ другіе, назначенные для переправы на другой берегъ рѣки. Тогда закрываютъ кранъ другой трубки; избыткомъ вѣса платформы съ вагонами надъ противовѣсами платформа опускается медленно внизъ, причемъ постоянное присутствіе подъ поршнемъ пресса вытекающей воды препятствуетъ значительному увеличенію скорости опусканія.

Иногда же имѣется приспособленіе на суднѣ для поднятія и опусканія палубы, какъ напримѣръ въ Египтѣ черезъ р. Нилъ.

На рис. 187 и 188 показано въ продольномъ и поперечномъ разрѣзѣ судно, служившее для переправы черезъ р. Волгу у Ярославля паровоза съ тендеромъ и 6—7 вагоновъ (на Ярославско-Вологодской ж. д.). Непосредственно подъ рельсами поставлены были на днищѣ судна фермы Гау. Для спуска и подъема паровоза съ судна на полотно устроена была наклонная плоскость и телѣжка, установленная на скаты съ колесами различныхъ діаметровъ.

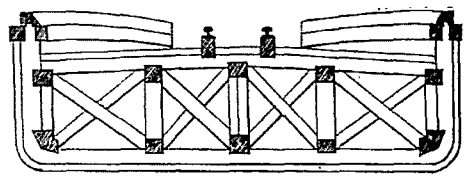


Рис. 188.

На фиг. 40, 41, 42, табл. 6 — изображенъ въ общихъ чертахъ пароходъ для паровой переправы желѣзнодорожныхъ поѣздовъ черезъ заливъ у С.-Франциско на Тихоокеанской желѣзной дорогѣ. Устройствомъ этой переправы значительно сокращенъ путь съ одного берега залива на другой; до устройства переправы поѣзда должны были проходить по берегу залива. Пароходъ, принимающій на себя поѣздъ и названный «Solano», имѣетъ длину 494 фута 8 дюймовъ, а въ ширину 116 футъ. Подъемная сила—3540 тонн. Пароходъ приводится въ движеніе двумя паровыми машинами, въ 2000 паровыхъ лошадей. Діаметръ колесъ парохода—30 футъ. На палубѣ помѣщается 4 пути, на которыхъ могутъ установиться 48 товарныхъ вагоновъ или 24 пассажирскихъ вагона съ паровозомъ и тендеромъ. Всѣ четыре пути могутъ быть поднимаемы помощью гидравлическаго пресса, въ зависимости отъ высоты горизонта воды; пути опираются на фермы системы Пратта. Желѣзнодорожные поѣзда, устанавливаемые на путь, уложенный по набережной съ каменной подпорной стѣнкой, вступаютъ на палубу парохода съ кормовой части при помощи перекинутаго съ набережной моста, длиною 100 футъ и вѣсомъ 150 тонн; фермы этого моста — параболической системы съ верхнимъ горизонтальнымъ поясомъ и могутъ свободно вращаться около горизонтальной оси, помѣщенной на набережной; другой конецъ фермы поддерживается плавающей опорой. Переходъ въ 1,74 километра совершается въ теченіе 20 минуть, включая всѣ необходимыя операціи.

На рис. 189, 190 и 191 показанъ туэръ, служившій для переправы чрезъ Дунай паровозовъ и вагоновъ въ кампаніи 1877—1878 гг., а также и устройство приспособленія для вкатыванія подвижного состава на палубу туэра, состоявшее изъ телѣжки, перемѣщавшейся по наклонному пути, уложенному на каменныхъ стѣнкахъ.

Говоря о подъемной машинѣ Рурортской переправы, слѣдуетъ кстати упомянуть о весьма остроумномъ пріемѣ для перемѣщенія судовъ изъ одного бассейна въ другой съ значительной разницей горизонтовъ, примѣненномъ въ водопроводномъ мосту при Андертонскомъ шлюзѣ въ Шотландіи (фиг. 39, табл. 6). Верхній бьефъ при помощи водопроводнаго моста продолженъ настолько, что конецъ его находится непосредственно надъ нижнимъ бьефомъ. Водопроводный мостъ раздѣленъ продольной вертикальной стѣнкой на двѣ половины; въ концѣ каждой половины имѣется подвиж-

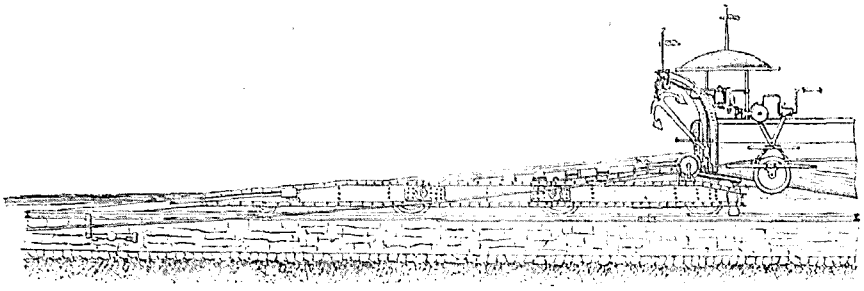


Рис. 189.

ная камера, въ которую впускается изъ водопроводнаго моста вода вмѣстѣ съ судномъ. По вводѣ судна опускаются затворы, разъединяющіе камеру отъ моста, и камера съ судномъ опускается внизъ до уровня нижняго бьефа; по открытіи затворовъ судно выводится въ нижній бьефъ, затѣмъ вводится другое судно изъ нижняго бьефа для подъема въ верхній и т. д. Въ то время, какъ одна камера поднимается, другая опускается, и подъемъ совершается на счетъ избытка вѣса одной камеры надъ другой, что достигается впускомъ въ одну камеру на 0,15 метра воды

Рис. 190.

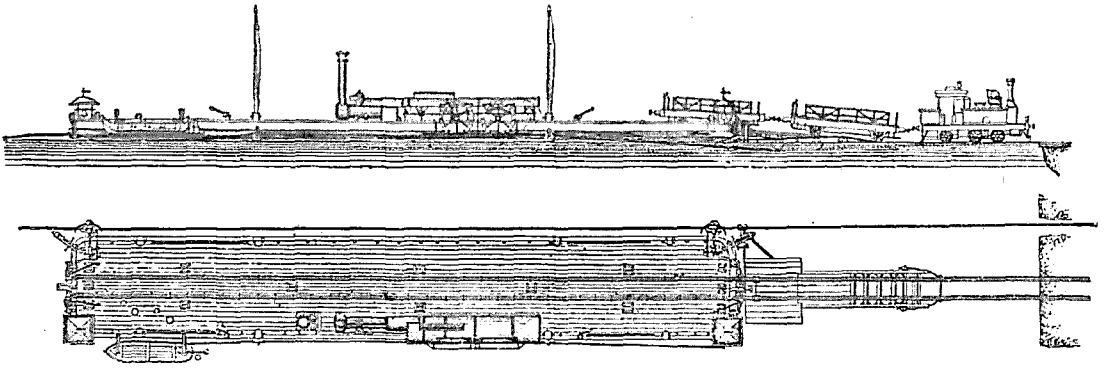


Рис. 191. — Туэръ желѣзнодорожной переправы черезъ р. Дунай.

болѣе, чѣмъ въ другую камеру. Высота подъема 50,3 фута, длина и ширина камеры 22,9 метра и 4,7 метра, наибольшій вѣсъ груза судна около 2500 центнеровъ = 7500 пуд.

Механизмъ подъема очень простой и состоитъ въ слѣдующемъ:

Пространство, внутри котораго происходитъ опусканіе и подъемъ камеръ, ограждено чугунными колоннами, которыя служатъ направляющими движенія. Дно камеры, при помощи консолей, опирается на металлическій (полый) стержень—діаметромъ 0,914 метра = 3 фут. Этотъ стержень, который играетъ роль поршня, входитъ во внутрь чугуннаго цилиндра, опущеннаго во флютбетъ и наполненнаго водой. Верхнее сѣченіе цилиндра находится въ уровнѣ съ днемъ нижняго бьефа.

Длина стержня (поршня) и высота цилиндра равняются высотѣ подъема, т. е. 50,3 фута.

Давленіе, передаваемое на стержень (поршень), составляетъ около 38 атмосферъ. Оба цилиндра соединены между собой трубой діаметромъ 127 миллиметровъ = 5 дюймовъ, чрезъ которую, по открытіи крана, вода можетъ перемѣщаться изъ одного цилиндра въ другой.

Если впустить въ верхнюю камеру воду на 0,15 метра болѣе, чѣмъ въ нижнюю, то верхняя камера начинаетъ опускаться, выдавливая воду изъ цилиндра, которая черезъ соединительную трубу вступаетъ во второй цилиндръ и поднимаетъ нижнюю камеру. Послѣ того, какъ верхняя камера

начнетъ уже погружаться въ нижній бьефъ, она теряетъ значительную часть своего вѣса, такъ что не представляетъ уже достаточнаго перевѣса въ отношеніи второй камеры. Въ это время закрываютъ кранъ въ соединительной трубѣ, т. е. прерываютъ сообщеніе между обоими цилиндрами; затѣмъ помощью особыхъ кранов приводятъ въ сообщеніе первый цилиндръ съ нижнимъ бьефомъ,



Рис. 192.

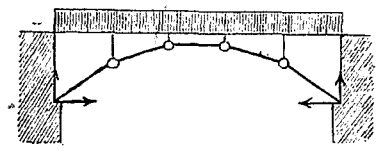


Рис. 193.

а второй цилиндръ—съ аккумуляторомъ. При этомъ первая камера, выдавливая воду въ бьефъ, опускается до своего нижняго положенія, а вторая камера поднимается до верху давленіемъ воды, впущенной изъ аккумулятора.

Паровая машина въ 10 силъ накачиваетъ воду въ аккумуляторъ. Запасъ силы, скопленной имъ, необходимъ только на поднятіе второй камеры послѣ того, какъ первая начнетъ погружаться въ воду. Въ данномъ случаѣ величина погруженія составляетъ 2 метра, и, очевидно, какъ бы ни была велика высота подъема, запасъ силы въ аккумуляторѣ, а слѣдовательно и сила паровой машины, находясь въ зависимости только отъ величины погруженія камеръ въ воду, остаются постоянными. Полный расходъ составляетъ въ недѣлю 200 марокъ=60 руб. металлич., а въ годъ 3.120 руб. металлич. Время подъема или спуска вмѣстѣ съ установкой судна составляетъ около 8 минутъ; скорость подъема собственно камеры составляетъ 20 метровъ въ 1 минуту или 1,09′ въ 1 секунду. По сравненію съ обыкновеннымъ многокамернымъ шлюзомъ, этотъ подвижной шлюзъ, построенный въ 1875 г., представляетъ большое сбереженіе, какъ во времени (вмѣсто 8 минутъ требовалось прежде $1^1/_2$ часа), такъ и въ расходѣ воды, которая теряется при проходѣ черезъ многокамерный шлюзъ; пропуская же

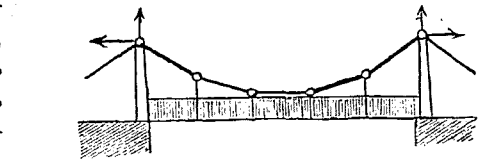


Рис. 194.

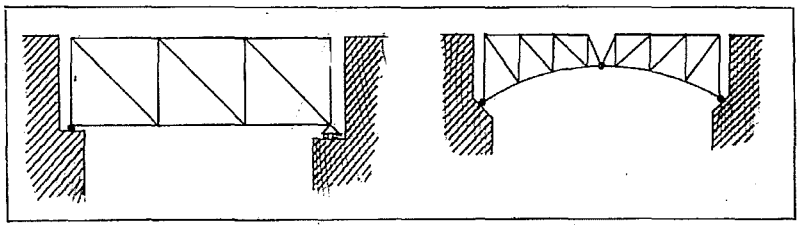


Рис. 194*a*.

способность въ 10 разъ больше. Въ виду того, что судно плаваетъ въ водѣ подвижной камеры, то, очевидно, на взаимное уравновѣшиваніе двухъ камеръ не имѣетъ никакого вліянія ни грузъ судна, ни присутствіе даже самаго судна, такъ что всегда теряется одно и то же количество воды (слой толщиною 0,15 метра), и расходуется одинаковая работа, независимо отъ того, поднимаются ли обѣ камеры пустыя, обѣ съ судами, или только одна изъ нихъ съ судномъ.

Классификація мостовыхъ фермъ на фермы, не производящія горизонтальнаго распора, на фермы съ горизонтальнымъ распоромъ прямого направленія и обратнаго.

По роду проявляющагося въ фермахъ напряженія при дѣйствіи вертикальной нагрузки *мостовыя фермы* могутъ быть подраздѣлены на три главные класса: 1) фермы, въ которыхъ одновременно проявляются вытягивающее и сжимающее напряженія; 2) фермы съ однимъ сжимающимъ напряженіемъ и 3) фермы съ однимъ вытягивающимъ напряженіемъ. Типомъ фермъ сплошныхъ или сквозныхъ перваго класса, называемыхъ обыкновенно *балочными* фермами, могутъ слу-

жить фермы, не производящія на опоры горизонтальнаго распора (рис. 192) при дѣйствіи вертикальной нагрузки; онѣ характеризуются прямолинейнымъ или мало отличающимся отъ прямолинейнаго направленіемъ своей оси и опираются

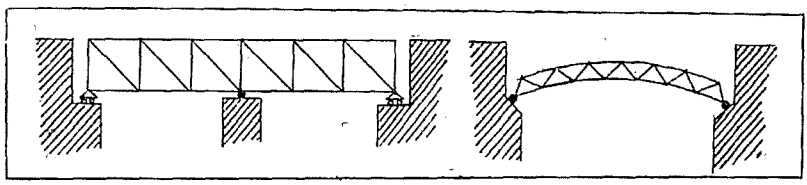


Рис. 194б.

свободно на опоры, причемъ съ одной изъ нихъ неподвижно скрѣплены. Ко второму классу относятся подкосныя и арочныя фермы (рис. 193), а къ третьему— висячія фермы (рис. 194). Въ двухъ послѣднихъ типахъ оси фермъ имѣютъ вы-

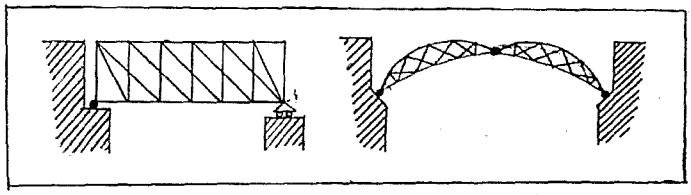


Рис. 194в.

пуклое и соотвѣтственно вогнутое очертаніе относительно линіи, соединяющей опорныя точки; двѣ или болѣе опорныхъ точекъ неразрывно соединены съ неподвижными или мало подвижными опорами, вслѣдствіе чего проявляется горизон-

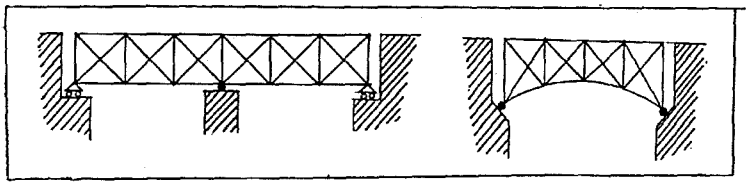


Рис. 194г.

тальное противодѣйствіе опоры (распоръ), направленное внутрь пролета—во второмъ типѣ и во внѣшнюю сторону — въ третьемъ типѣ фермъ.

Отъ соединенія типа (рис. 192) съ типами (рис. 193 и рис. 194), или отъ соединенія типовъ (рис. 193 съ рис. 194) получатся фермы, въ которыхъ рас-

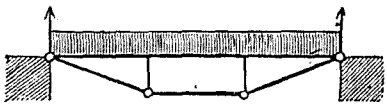


Рис. 195.

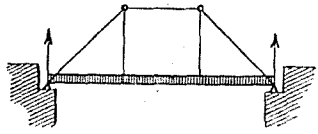


Рис. 196.

поръ сохраняется (рис. 197), или же онъ не оказываетъ вліянія на опоры, такъ какъ воспринимается горизонтальной балкой (рис. 195 и 196); наконецъ, въ типѣ, происшедшемъ отъ соединенія типовъ (рис. 193) и (рис. 194), оба распора равны и прямо противоположны, а потому и уничтожаются взаимно (рис. 198). Подобныя соединенія системъ, за исключеніемъ такихъ, гдѣ сохраняется проявленіе распора на опоры (рис. 197), слѣдуетъ также причислять

къ первому классу. Если же въ такихъ безраспорныхъ фермахъ оба основныхъ типа взаимно связаны системой раскосовъ (рис. 199 и 200), то получается балочная ферма съ обоими или съ однимъ криволинейнымъ поясомъ.

Въ отношеніи опредѣленія опорныхъ сопротивленій и усилій въ элементахъ

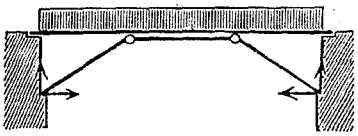


Рис. 197.

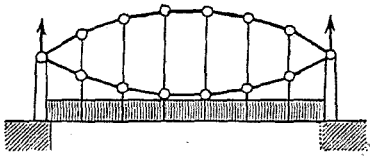


Рис. 198.

фермъ, эти послѣднія могутъ быть раздѣлены на двѣ главныя группы: 1) къ первой относятся всѣ фермы, въ которыхъ опорныя сопротивленія и усилія въ элементахъ фермъ могутъ быть опредѣлены на основаніи законовъ статики, т. е. число неизвѣстныхъ той и другой группы не болѣе трехъ; такія фермы назы-

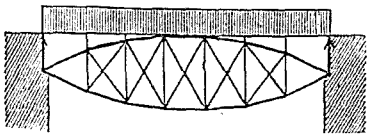


Рис. 199.

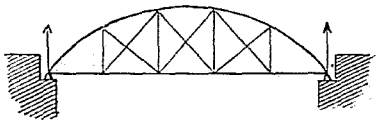


Рис. 200.

ваются *статически опредѣлимыми въ отношеніи опорныхъ сопротивленій* и *усилій въ элементахъ* фермы (рис. 194′а); 2) ко второй группѣ относятся фермы, въ которыхъ опорныя сопротивленія (194′б) или усилія въ элементахъ фермъ (194′в) или то и другое вмѣстѣ (194′г) не могутъ быть опредѣлены на основаніи только

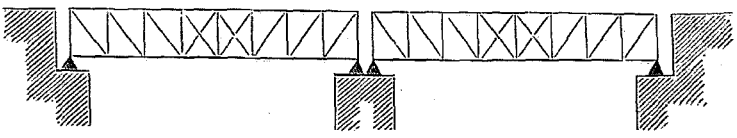


Рис. 201.

законовъ статики (т. е. общее число искомыхъ величинъ каждой группы болѣе трехъ), а необходимо пользоваться еще основными иоложеніями теоріи упругости; такія фермы называются вообще *статически неопредѣлимыми*.

Такъ какъ мосты могутъ быть объ одномъ или о нѣсколькихъ пролетахъ, то въ послѣднемъ случаѣ каждый изъ пролетовъ перекрывается или отдѣльными

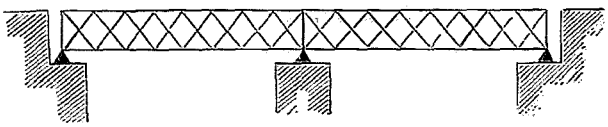


Рис. 202.

фермами, называемыми *разрѣзными* (рис. 201), или же нѣсколько пролетовъ перекрываются одной непрерывной фермой—*неразрѣзной* фермой (рис. 202). Неразрѣзныя фермы встрѣчаются въ каждомъ изъ упомянутыхъ трехъ классовъ. Неразрѣзныя балочныя фермы представляютъ извѣстное сбереженіе въ матеріалѣ по сравненію съ разрѣзными балочными фермами и облегчаютъ установку фермъ на мѣсто (путемъ накатки); но съ другой стороны усилія въ частяхъ неразрѣзныхъ фермъ за-

висятъ отъ отиосительнаго положенія высотъ опоръ, и поэтому расчетныя усилія могутъ въ дѣйствительности и не оправдаться; затѣмъ сопротивленія опоръ не могутъ быть опредѣлены, если пользоваться только основными уравненіями статики, выражающими условія равновѣсія силъ, т. о. всѣ неразрѣзныя балочныя фермы въ отношеніи опорныхъ сопротивленій—статически неопредѣлимыя.

Перечислимъ главнѣйшія системы каждаго изъ трехъ вышеупомянутыхъ классовъ.

1. Фермы, не производящія горизонтальнаго распора.

A) *Простая балочная ферма*, т. е. состоящая изъ деревянныхъ или изъ металлическихъ разрѣзныхъ пли неразрѣзныхъ балокъ сплошного сѣченія (фиг. 43 и 44, таб. 6) однообразной илп перемѣнной высоты.

B) *Шпренгельная ферма* (соединеніе балочной съ висячей), состоящая изъ балокъ, подпертыхъ между опорами въ одномъ или въ нѣсколькихъ мѣстахъ стойками, поддерживаемыми тяжами, прикрѣпленными къ нижнимъ концамъ стоекъ и къ поясу. Сюда относятся: α) *Простая шпренгельная ферма* (рис. 203), въ которой балка подперта въ одномъ илп въ двухъ мѣстахъ; нижніе концы подпорокъ соединяются тяжами между собою и съ поясомъ непосредственно надъ

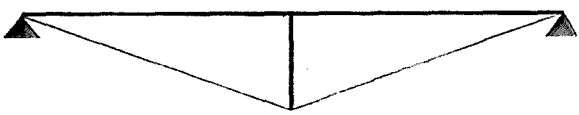


Рис. 203.



Рис. 204.

опорами (рис. 195). β) *Ферма Финка* (рис. 204, фиг. 45 и 46 таб. 6), въ которой горизонтальная балка раздѣлена на 2^m равныхъ частей и подпирается стойками въ $2^m - 1$ точкахъ, на равныхъ разстояніяхъ одна отъ другой. Нижніе концы стоекъ поддерживаются двумя тяжами, прикрѣпленными другимъ концомъ къ опредѣленнымъ точкамъ пояса. Для опредѣленія этихъ точекъ прикрѣпленія слѣдуетъ балку раздѣлить сначала только на двѣ части, подпереть въ серединѣ стойкой, нижніе концы которой соединить тяжами съ оконечностями пояса; затѣмъ повторить то же съ каждой половиной, соединивъ нижніе концы стоекъ съ окопечностями каждой изъ половинъ балки и т. д. Стойки могутъ быть одинаковой длины или различной, но одинаковой для стоекъ, симметрично расположенныхъ относительно середины. Нижніе концы стоекъ иногда соединяются общимъ тяжемъ, и между смежными подпорками помѣщаются кресты (рис. 57). γ) *Ферма Больмана*, въ которой балка, раздѣленная на произвольное число частей, подпирается подпорками, нижніе концы которыхъ соединяются тяжами только съ поясомъ надъ опорами (фиг. 47, тб. 6). Часто нижніе концы подпорокъ соединяютъ общимъ тяжемъ, съ помѣщеніемъ крестовъ между смежными подпорками (рис. 56′).

C) *Подвѣсная ферма съ затяжкой* или *обратная шпренгельная ферма*. Балка поддерживается въ одномъ или въ нѣсколькихъ мѣстахъ подвѣсками, верхніе концы которыхъ подпираются или однпми раскосами, врубленными въ балку надъ опорами, или же раскосами и ригелемъ (рис. 205 и фиг. 48, таб. 6).

D) *Балочная трубчатая ферма*, представляющая металлическую разрѣзную или неразрѣзную полую трубу прямоугольнаго поперечнаго сѣченія. Иногда про-

летиыя части образуютъ одну общую трубу, родъ тоннеля, внутри котораго располагается проѣзжая часть моста (фиг. 50 таб. 6), или же каждая изъ фермъ пролетиыхъ частей представляетъ въ сѣченіи трубу (фиг. 42, таб. 7).

Е) *Балочныя фермы со сквозною стѣнкою* — состоятъ изъ двухъ поясовъ, горизонтальныхъ или расположенныхъ по кривой или ломанной линіи, соединенныхъ между собою системою раскосовъ, или системою раскосовъ и стоекъ.

Балочиыя фермы со сквозною стѣнкой имѣютъ очень много разновидностей, какъ въ отношеніи наружнаго очертанія, такъ и устройства сквозного запол-

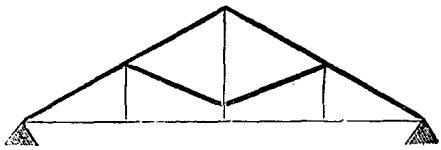


Рис. 205.

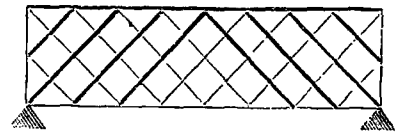


Рис. 206.

ненія. Въ *отношеніи наружнаго очертанія фермы* раздѣляются на: *а)* **фермы съ параллельными поясами**, *б)* **параболическія**, *в)* **гиперболическія**, *г)* **Паули**, *д)* **полупараболическія**, *е)* **полигональнаго очертанія**, *ж)* **стропильнаго очертанія**; *з)* **Лозе** и *и)* **Гербера**.

а) **Фермы съ параллельными поясами** по всему протяженію или со срѣзанными концами па протяженіи не болѣе одной большой панели (рис. 206, 206′, фиг. 60, 61 и 62, таб. 7). Эти фермы характеризуются тѣмъ, что усилія въ поясахъ увеличиваются по мѣрѣ приближенія къ сѣченіямъ съ наибольшимъ моментомъ, а усилія въ раскосахъ и стойкахъ — наибольшія въ сѣченіяхъ съ наибольшимъ перерѣзывающимъ усиліемъ. Фермы этого типа бываютъ разрѣзныя и неразрѣзныя.

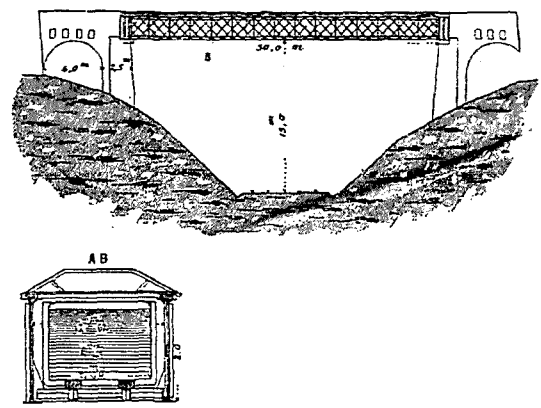


Рис. 206′. — Акведукъ черезъ ж. д. Paris-Lyon, съ фермами рѣшетчатой системы.

Если разсмотрѣть для простоты ферму безъ взаимнаго пересѣченія раскосовъ и съ параллельными поясами (рис. 208 и 208′), разсѣчь мысленно ее на двѣ части, и затѣмъ къ перерѣзаннымъ элементамъ фермы приложить по направленію элементовъ силы, выражающія усилія въ разсѣченныхъ ребрахъ, то при такихъ условіяхъ всѣ силы въ лѣвой или правой части фермы должны находиться въ равновѣсіи. Эти силы будутъ: *а)* данныя внѣшнія силы, *б)* предполагаемыя извѣстными сопротивленія опоръ и *в)* силы, приложенныя къ разсѣченнымъ ребрамъ. Въ виду взаимнаго равновѣсія всѣхъ силъ должно быть: $\Sigma X = 0$, $\Sigma Y = 0$, $\Sigma M = 0$. Примѣняя послѣднее условіе и называя чрезъ M_x моментъ данныхъ внѣшнихъ силъ,—включая и моментъ сопротивленія опоръ,— относительно точки встрѣчи направленія разсѣченнаго раскоса съ однимъ изъ разсѣченныхъ поясовъ, найдемъ, что усиліе 0_x другого разсѣченнаго пояса опредѣлится изъ: $\Sigma M = M_x \pm 0_x h = 0$; $\mp 0_x = \frac{M_x}{h}$, если h—постоянная высота фермы. Это выраженіе показываетъ, что 0_x увеличивается вмѣстѣ съ увеличеніемъ M_x — причемъ вытянутое или сжатое состояніе пояса обусловливается знакомъ момента. Если силы, направленныя вверхъ, и моментъ, вращающій по направленію часовой стрѣлки, обозначить положительными величинами и разсматривать всегда лѣвую отсѣченную часть, то, если моментъ положительная величина, изъ уравненія $M_x \pm O_x h = 0$ слѣдуетъ, что членъ $O_x h$ долженъ быть отрицательнымъ, т. е. что верхній поясъ сжать, а нижній—вытянутъ и обратно. Называя

далѣе чрезъ $\mathfrak{B}_x$ вертикальную проекцію данныхъ внѣшнихъ силъ и сопротивленія опоры—въ отрѣзанной части фермы—что есть очевидно перерѣзывающее усиліе въ разсматриваемомъ сѣченіи, а чрезъ N_x и φ—усиліе въ раскосѣ и уголъ, составляемый направленіемъ раскоса съ горизонталью, имѣемъ: $\Sigma Y = \mathfrak{B}_x \pm N_x \sin\varphi = 0$, откуда: $\mp N_x \sin\varphi = \mathfrak{B}_x$; слѣд., усиліе въ раскосѣ измѣняется одновременно съ перерѣзывающимъ усиліемъ. Засимъ, если для даннаго сѣченія $\mathfrak{B}_x$—положительная величина, то изъ уравненія $\mathfrak{B}_x \pm N_x \sin\varphi = 0$ слѣдуетъ, что $N_x \sin\varphi$ должна быть отрицательная величина и слѣдов. разсѣченный восходящій раскосъ сжатъ, а нисходящій—вытянутъ. При $\mathfrak{B}_x$—отрицательномъ—результаты обратные.

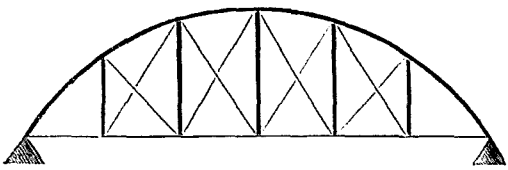


Рис. 207.

б) **Параболическія фермы,** въ которыхъ высота фермъ измѣняется по закону параболы. Параболическія фермы встрѣчаются *разрѣзныя* и *неразрѣзныя* и могутъ быть трехъ видовъ:

1) нижній поясъ горизонтальный; верхній—очерченъ по дугѣ параболы (рис. 207);
2) нижній поясъ парабола, верхній—горизонтальный (фиг. 51 тб. 7).
3) оба пояса изогнуты по дугѣ параболы.

Параболическія фермы удовлетворяютъ тому условію, что при сплошной нагрузкѣ, равномѣрно распредѣленной по всему пролету, раскосы не напряжены; горизонтальная проекція усилій обоихъ поясовъ во всѣхъ панеляхъ—величина постоянная, но различная по знаку въ томъ и другомъ поясѣ; при частной загрузкѣ пролета, соотвѣтствующей наибольшему усилію въ раскосахъ, горизонтальная проекція max. усилія всѣхъ раскосовъ—величина постоянная, а max. усилія въ раскосѣ—пропорціонально длинѣ раскоса.

Два первыхъ свойства могутъ быть легко доказаны. Если (рис. 209) h_x — перемѣнная высота фермы, то на основаніи предъидущаго: $M_x \pm O_x Cos\beta_x h_x = 0$, если β_x — уголъ, составлен-

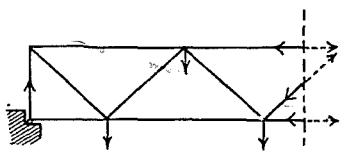


Рис. 208.

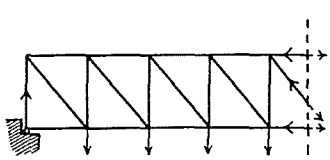


Рис. 208′.

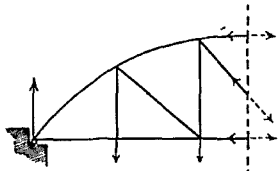


Рис. 209.

ный данной панелью криволинейнаго пояса съ горизонталью. Слѣд. $\mp O_x Cos\beta_x = \frac{M_x}{h_x}$. При равномѣрно распредѣленной по всему пролету нагрузкѣ M_x измѣняется по закону параболы; слѣд. если h_x измѣняется по тому же закону, то при данномъ параметрѣ: $\pm O_x Cos\beta_x$—можетъ имѣть произвольное постоянное значеніе по всей длинѣ фермы. Для горизонтальнаго пояса $\beta_x = 0$. Воспользовавшись далѣе условіемъ: $\Sigma X = 0$, имѣемъ, что горизонтальная проекція данныхъ внѣшнихъ силъ и сопротивленія опоръ, какъ силъ вертикальныхъ—сама по себѣ равна нулю. Слѣд. горизонтальная проекція усилій въ разсѣченныхъ ребрахъ тоже должна быть равна нулю; но горизонт. проекціи усилій съ обоихъ поясахъ равны между собою по численному значенію и противоположны по знаку; поэтому необходимо, чтобъ $N_x \cos\varphi = 0$ или $N_x = 0$.

Замѣтимъ, что упомянутое свойство, т. е. что горизонтальная проекція усилій въ поясахъ величина постоянная,—можетъ имѣть мѣсто лишь въ фермахъ, сквозное заполненіе которыхъ состоитъ изъ раскосовъ и стоекъ (рис. 209); если же заполненіе состоитъ изъ однихъ раскосовъ (фиг. 64 таб. 7), то проекція усилія криволинейнаго пояса не можетъ въ точности сохранить постоянства, благодаря тому, что промежуточныя точки между двумя узлами h_x не отвѣчаютъ въ точности ординатамъ параболы.

Особенность параболическихъ фермъ имѣть постоянное усиліе во всѣхъ панеляхъ горизонталь-

наго пояса побудила Кёрске предложить къ осуществленію параболическую ферму, въ которой нижній вытянутый поясъ подвергался бы искусственно постоянному сжимающему усилію, равному вытягивающему усилію отъ постоянной нагрузки; слѣд., при полной загрузкѣ моста подвижнымъ грузомъ нижній поясъ подвергался бы только вытягивающему усилію отъ подвижной нагрузки. Предложеніе это было осуществлено (1878 г.) въ мостѣ чрезъ р. Эльбу (рис. 212) близъ Riesa путемъ помѣщенія въ углубленіи устоя массивнаго колѣнчатаго рычага, одинъ конецъ котораго упирался въ конечную точку фермы, а другой нагружался грузомъ.

Очертаніе *неразрѣзной параболической фермы, или иначе фермы Рупперта*, получается изъ того условія, чтобы при полной сплошной нагрузкѣ неразрѣзной балки со сквозной стѣнкой напряженіе раскосовъ было равно нулю, а слѣдо-

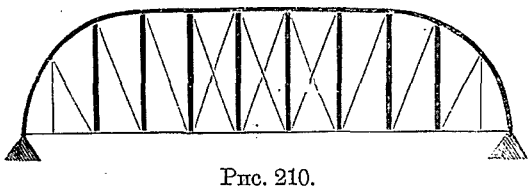


Рис. 210.

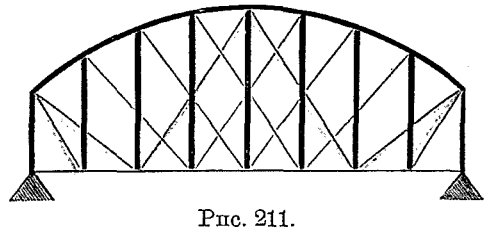


Рис. 211.

вательно, чтобы горизонтальная проекція усилій обоихъ поясовъ — была величина постоянная (ферма равнаго сопротивленія). Условіе будетъ удовлетворено, если измѣнять высоту фермы пропорціонально моменту изгиба, т. е. пропорціонально ординатамъ параболы, выражающей законъ измѣненія моментовъ въ неразрѣзной балкѣ. Ферма можетъ имѣть одинъ поясъ горизонтальный и другой — криволинейный, или оба пояса могутъ быть криволинейными, и въ этомъ случаѣ, при симметричномъ откладываніи ординатъ, получатся двѣ взаимно

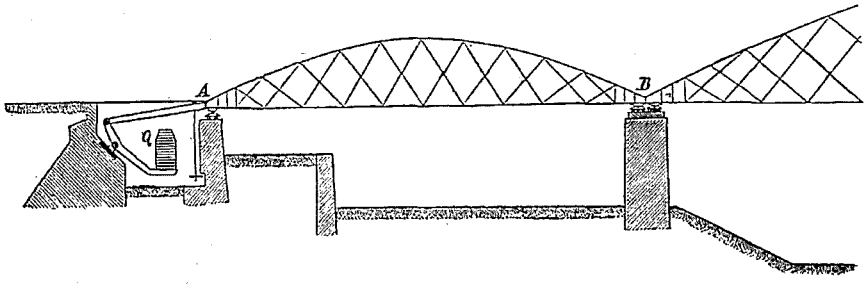


Рис. 212. — Мостъ черезъ р. Эльбу близъ Riesa съ параболическими фермами и съ приспособленіями Кёрске.

пересѣкающіяся параболы (фиг. 71, тб. 8). Въ мѣстахъ пересѣченія кривыхъ высоту фермы приходится нѣсколько увеличить, имѣя въ виду частную загрузку фермы, при которой нулевыя точки незначительно перемѣстятся.

По этой системѣ проектированъ Руппертомъ мостъчерезъ Босфоръ со среднимъ пролетомъ въ 205 метровъ = 96,35 саж. и съ двумя крайними въ 162 метра = 76,14 саж.

Если въ извѣстныхъ случаяхъ неразрѣзная ферма работаетъ, какъ балка, задѣланная однимъ концомъ и свободная на другомъ—напр., при поворотныхъ моетахъ, то наибольшая высота отвѣчаетъ тому сѣченію, гдѣ получается наибольшій момеитъ, т. е. надъ средней опорой (рис. 132′).

в) **Гиперболическія фермы** (Шведлера), въ которыхъ нижній поясъ обыкновенно горизонтальный, верхній состоитъ изъ двухъ гиперболическихъ дугъ, соединенныхъ въ средней части фермы прямой, параллельной нижнему поясу (рис. 210). Ферма удовлетворяетъ тому условію, что въ части фермы съ перемѣнной высотой при нагрузкѣ, соотвѣтствующей min. перерѣзывающихъ усилій, раскосы

не напряжены. Подобно тому, какъ и въ параболической фермѣ, горизонтальная проекція max. усилій раскосовъ—величина постоянная, но только вдвое болѣе, чѣмъ въ параболической фермѣ того же пролета и высоты. Фермы Шведлера могутъ быть проектированы съ верхнимъ горизонтальнымъ и нижнимъ частью криволинейнымъ, частью прямолинейнымъ поясами.

г) **Фермы Паули.** Онѣ по внѣшнему виду напоминаютъ параболическія фермы съ обоими криволинейными поясами или только съ однимъ криволинейнымъ поясомъ; отличаются только очертаніемъ кривой поясовъ, опредѣленной изъ условія, чтобы при сплошной равномѣрной нагрузкѣ всего пролета не горизонтальная проекція, а дѣйствительныя усилія поясовъ были одинаковы во всѣхъ панеляхъ. Уравненіе кривой, по которой должны измѣняться пояса фермы, получается довольно сложное; законъ измѣненія высотъ близко подходитъ къ параболѣ.

д) **Полупараболическія фермы**,—одинъ изъ поясовъ очерченъ по дугѣ параболы, другой иоясъ горизонтальный, при чемъ верхній и нижній пояса не пересѣкаются на опорахъ, а опорная стойка дѣлается высотою около $^1/_2$—$^3/_4$ высоты фермы по серединѣ пролета (рис. 211 и фиг. 54, тб. 7), соотвѣтствующей сѣченію съ наибольшимъ моментомъ, при разрѣзныхъ фермахъ. Если полупараболическая ферма должна въ извѣстныхъ случаяхъ работать, какъ балка, задѣланная однимъ концомъ и свободная на другомъ (какъ напр. въ фермахъ поворотныхъ мостовъ), то наибо́льшая высота отвѣчаетъ тому сѣченію, гдѣ получается наибо́льшій моментъ, что при двухпролетной балкѣ соотвѣтствуетъ сѣченію надъ средней опорой (рис. 131).

е) **Фермы полигональнаго очертанія**, въ которыхъ на протяженіи нѣсколькихъ большихъ панелей высота фермы измѣняется по закопу однообразной прямой линіи (фиг. 55 и 58, тб. 7).

ж) **Фермы стропильнаго очертанія**, въ каждой половинѣ которыхъ высота фермы, начиная отъ нуля, измѣняется однообразно по закону прямой линіи (фиг. 56 и 57, тб. 7).

Въ этихъ фермахъ, при полной загрузкѣ пролета, горизонтальная проекція усилія раскосовъ—величина постоянная. Если m—число панелей, n—номеръ панели, d—величина панели, h—высота фермы противъ n—1-го узла; H—высота фермы по серединѣ пролета; α—уголъ наклоненія раскоса къ горизонтали, N—усиліе въ раскосѣ, то, написавъ моментъ силъ относительно сѣченія, совпадающаго съ опорой, имѣемъ:

$$\pm N.nd\sin\alpha = pd\,[d + 2d + \ldots (n-1)\,d] = pd^2\frac{n\,(n-1)}{2};$$

$$\pm N = \frac{pd\,(n-1)}{2\sin\alpha};$$

$$\pm N\cos\alpha = \frac{pd\,(n-1)}{2}\,ctg\,\alpha = \frac{pd\,(n-1)}{2}\,\frac{d}{h} = \frac{pd^2\,(n-1)}{2h} = \frac{pd^2\,(n-1)\,m}{2\,.\,H\,(n-1)\,.\,2} = \frac{pd^2\,.\,m}{4H}.$$

з) **Ферма Лозе** (соединеніе висячей съ арочной) (фиг. 80, таб. 9 и рис. 96). Въ виду отсутствія раскосовъ—поясъ верхней половины фермы, представляющій арку, долженъ быть непрерывный и жесткаго сѣченія; такого же сѣченія дѣлается для симметріи и нижній поясъ. Въ существующемъ примѣрѣ (мостъ чрезъ р. Эльбу близъ Гамбурга) каждый изъ поясовъ фермы составленъ въ свою очередь изъ двухъ поясовъ, взаимно связанныхъ рѣшеткой; между верхнимъ и нижнимъ поясами фермы помѣщены только однѣ стяжки.

и) **Ферма Гербера**—имѣющая цѣлью сохранить преимущества неразрѣзныхъ

балочныхъ фермъ, безъ присущихъ послѣднимъ недостатковъ—представляетъ собою рядъ фермъ, свободно опирающихся на опоры со свѣшивающимися концами (консолями), на которые опираются обыкновенныя разрѣзныя балочныя фермы. Переходъ отъ неразрѣзной параболической фермы (рис. 71, тб. 8) къ фермѣ Гербера того же очертанія изображенъ на фиг. 72 и 73, таб. 8, причемъ въ одиомъ случаѣ шарниры помѣщены въ четныхъ иролетахъ, а въ другомъ случаѣ—въ нечетныхъ пролетахъ. Фермы Гербера могутъ имѣть однообразную высоту (рис. 105, 101), перемѣнную высоту, измѣняющуюся по закону прямой линіи (рис. 108, 110, фиг. 74, 75, 76), или перемѣнную высоту, измѣняющуюся по закону кривой линіи (рис. 214, 94, 98, 99, 100). Въ типѣ (рис. 98) имѣется въ дѣйствительности рядъ фермъ, закрѣпленныхъ по серединѣ, съ двумя свѣшивающимися концами, на которые опираются свободныя фермы. Часть фермъ можетъ имѣть прямолинейное очертаніе, а другая—криволинейное (рис. 215). Къ числу разновидностей фермъ Гербера относятся фермы, въ которыхъ свѣсы не соединены неразрывно съ фермой смежнаго пролета, а поддерживаются тяжемъ, перекинутымъ чрезъ высокую опору и прикрѣпленнымъ къ этой фермѣ (рис. 109, 102, 214′); такой типъ называется фермой Гербера со свободными консолями.

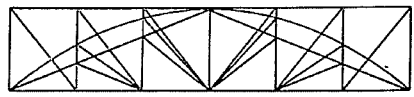


Рис. 213.

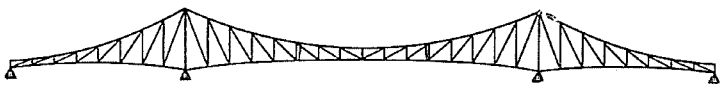


Рис. 214.

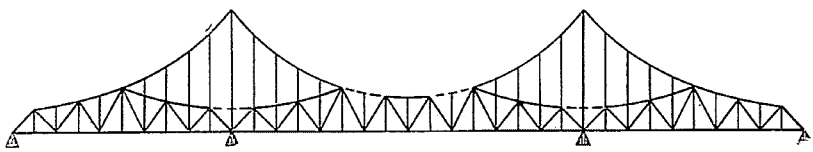


Рис. 214′.

Если въ типѣ фермъ, изображенныхъ на рис. 214, длину свободной балки въ среднемъ пролетѣ уменьшить до нуля и оба встрѣчные свѣса связать шарниромъ, то получимъ типъ фермы, предложенный Eiffel'емъ для Троицкаго моста въ Петербургѣ. По этому же типу построенъ фирмой Кайль пѣшеходный мостъ въ Passy.

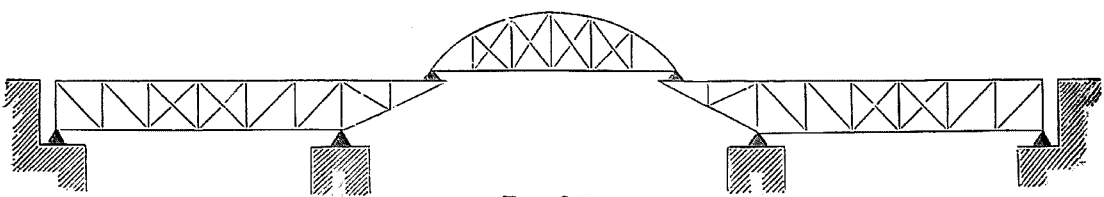


Рис. 215.

Кромѣ указанныхъ основныхъ типовъ фермъ существуетъ еще много разновидностей. Такъ напр., оба пояса можно ограничить по дугѣ эллипса (рис. 81), или одинъ изъ поясовъ по дугѣ круга (рис. 230 и 231) (ферма Pegram'a), или вообще измѣнять высоту фермы по какому либо опредѣленному закону, задаваясь извѣстными условіями, которымъ должна удовлетворять ферма

Изображенные на фиг. 78 и 79 тб. 9-ой единственные примѣры своеобразныхъ фермъ мостовъ, сооруженныхъ Брюнелемъ чрезъ р. Wye близъ Chepstow и чрезъ р. Tamar близъ Saltash, относятся—первый къ фермамъ полупараболическимъ, а второй—къ параболическимъ, но имѣютъ ту особенность, что верхній поясъ трубчатаго сѣченія — общій для двухъ нижнихъ поясовъ. Тѣ же мосты изображены на рис. 92, 93, 85 и 86; первый подъ два пути, а второй подъ одинъ путь.

Разсматривая совмѣстно фермы съ параллельными поясами, параболическую и стропильную, при одинаковыхъ пролетахъ и наибольшей высотѣ, и сравнивая ихъ въ отношеніи усилій въ раскосахъ одного направленія при равномѣрно распредѣленной по длинѣ фермы нагрузкѣ (рис. 213), легко видѣть—что параболическая ферма находится какъ бы на рубежѣ между двумя классами фермъ. Такъ напр. въ параболической фермѣ раскосы нисходящаго къ серединѣ пролета направленія—при полной нагрузкѣ иролета—ие напряжены. Раскосы того же наиравленія въ фермѣ съ параллельными поясами вытянуты, а въ стропильной фермѣ—сжаты. Еслибы раскосы имѣли восходящее къ серединѣ пролета направленіе, то въ параболической фермѣ они также не были бы напряжены, а въ двухъ остальныхъ были бы соотвѣтственно сжаты и вытянуты. Въ своемъ мѣстѣ будетъ доказано, что замѣченная особенность относится пе только къ фермамъ съ параллельными поясами и соотвѣтственно къ стропильнымъ,—но и вообще ко всѣмъ фермамъ, для которыхъ параболическое очертаніе является объемлемымъ или соотвѣтственно объемлющимъ.

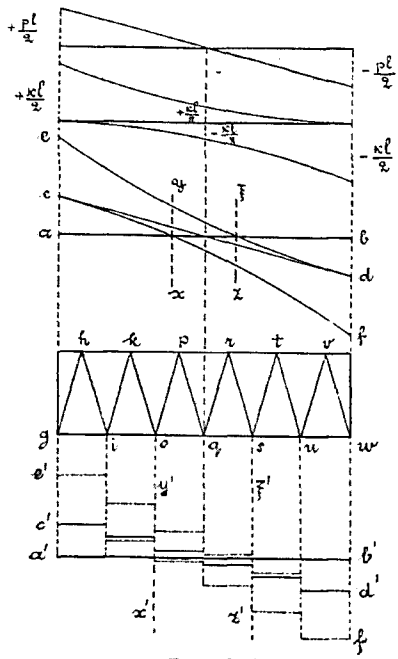


Рис. 216.

Въ отношеніи *устройства сквозного заполненія* фермы со сквозной стѣнкой раздѣляются: на *а)* **рѣшетчатыя**, *б)* **раскосныя** и *в)* **на фермы сложной системы**, составленной изъ двухъ раскосныхъ.

а) **Рѣшетчатыя** фермы характеризуются присутствіемъ двухъ системъ одновременно работающихъ раскосовъ безъ взаимнаго пересѣченія или со многими пересѣченіями и отсутствіемъ вертикальныхъ стоекъ и стяжекъ (фиг. 61, 63 и 64). Если эти послѣднія иногда и встрѣчаются, то онѣ ие составляютъ существенной части фермы, а имѣютъ побочную цѣль—какъ напр. служатъ для предупрежденія выпучиванія стѣнокъ (фиг. 59, тб. 7), для прикрѣпленія проѣзжей части, для уменьшенія панелей и уменьшенія свободной длины сжатаго пояса (фиг. 62, 76 и 75). Во всякомъ случаѣ стойки ие составляютъ существенной части фермъ.

То или другое направленіе раскоса—*нисходящее* или *восходящее* въ зависимости отъ знака перерѣзывающаго усилія и очертанія фермы—опредѣляетъ собою родъ усилія (вытянутаго или сжатаго).

Разсмотримъ для простоты ферму съ параллельными поясами, въ которой болѣе наглядна зависимость усилій раскосовъ отъ перерѣзывающаго усилія.

Пусть (фиг. 216) имѣемъ ферму безъ взаимнаго пересѣченія раскосовъ. Если p и k постоянная и подвижная нагрузка на пог. единицу, то наибольшее значеніе положительнаго перерѣзывающаго усилія и наименьшее значеніе отрицательнаго перерѣзывающаго усилія выразится:

$$max\,\mathfrak{B} = p\left(\frac{l}{2} - x\right) + k\left(\frac{l-x}{2l}\right)^2,$$

что представлено кривой ed.

Наибольшее отрицательное значеніе перерѣзывающаго усилія и наименьшее положительное, что мы назовемъ чрезъ $min\ \mathfrak{B}$ — выразится чрезъ:

$$min\ \mathfrak{B} = p\left(\frac{l}{2} - x\right) - \frac{kx^2}{2l},$$

и что изображено кривой cf.

Слѣд. для раскосовъ, которые находятся между лѣвой опорой и сѣченіемъ xy, $max\ \mathfrak{B}$ и $min\ \mathfrak{B}$— будутъ всегда положительны; поэтому восходящіе раскосы будутъ всегда сжаты, а нисходящіе вытянуты; для раскосовъ, расположенныхъ въ участкѣ между xy и $z\xi$, $max\ \mathfrak{B}$ — будетъ положительнымъ, а $min\ \mathfrak{B}$— отрицательнымъ.—Слѣд. въ зависимости отъ положенія подвижной нагрузки каждый изъ этихъ раскосовъ будетъ сжатъ или вытянутъ; наконецъ для раскосовъ въ участкѣ между $z\xi$ и правой опорой — $max\ \mathfrak{B}$ и $min\ \mathfrak{B}$ — всегда величина отрицательная, т. е. восходящіе раскосы будутъ вытянуты, а нисходящіе сжаты.

Если же перейти къ нагрузкамъ, сосредоточеннымъ въ узлахъ, и предположить, что постоянная (pd) и подвижная (kd) нагрузки сосредоточены въ нижнихъ узлахъ, число панелей обозначить чрезъ m, величину панели чрезъ d, то $max\ \mathfrak{B}$ и $min\ \mathfrak{B}$ для какого либо сѣченія $x = nd$, непосредственно влѣво отъ узла:

$$max\ \mathfrak{B} = pd\frac{(m-1)}{2} - (n-1)pd + \frac{kd\,[d + 2d + \ldots (m-n)\,d]}{md} =$$

$$= pd\frac{(m-2n+1)}{2} + \frac{kd\,(m-n+1)\,(m-n)}{2m}.$$

$$min\ \mathfrak{B} = pd\,\frac{(m-2n+1)}{2} + \frac{kd\{[m-(n-1)]\,d + [m-(n-2)]\,d + \ldots (m-1)\,d]\}}{md} -$$

$$- kd\,(n-1) =$$

$$= pd\frac{(m-2n+1)}{2} + \frac{kd^2m\,(n-1)}{dm} - \frac{kd^2(n-1)\,n}{2md} - kd\,(n-1) =$$

$$= pd\frac{(m-2n+1)}{2} - \frac{kdn\,(n-1)}{2m}.$$

Слѣд. законъ измѣненія $max\ \mathfrak{B}$ и $min\ \mathfrak{B}$ представляется ступенчатой линіей $c'd'$ и $c'f'$. Такимъ образомъ: раскосы gk, ik, tu и vw — будутъ всегда сжаты и должны быть проектированы жесткаго сѣченія; раскосы ki, ko, ts и nv—всегда вытянуты и могутъ быть плоскаго или крутлаго сѣченія, а раскосы, заключающіеся между сѣченіемъ $x'y'$ и $z'\xi'$ — въ зависимости отъ положенія подвижной нагрузки могутъ быть сжатыми и вытянутыми, отчего они называются сжато-вытянутыми и должны быть проектированы жесткаго сѣченія.

Рѣшетчатыя фермы имѣютъ много разновидностей:

а) ферма *Варрена* (рис. 83) — безъ взаимнаго пересѣченія раскосовъ и составленная изъ равносторонихъ треугольниковъ;

б) ферма *Невилля*—тоже, но треугольники—равнобедренные;

в) ферма съ *нѣсколькими пересѣченіями* раскосовъ, причемъ одна система раскосовъ плоскаго сѣченія, другая — жесткаго или обѣ системы жесткаго сѣченія (рис. 215, фиг. 60, 63, 76). Если панели одинаковы и уголъ наклоненія раскосовъ постоянный — то раскосы перемѣннаго сѣченія. Постоянство сѣченія раскосовъ достигается иногда назначеніемъ неравныхъ панелей при постоянномъ углѣ наклоненія, или неравными панелями при неодинаковомъ углѣ наклоненія (фиг. 60). (Віадукъ Анина на Правительств. Австр. ж. дор.).

г) *Фермы съ весьма малыми панелями* и съ большимъ числомъ пересѣченій раскосовъ. Обѣ системы раскосовъ плоскаго сѣченія (фиг. 59). Проектированіе фермъ съ двумя системами плоскихъ раскосовъ въ настоящее время оставлено

по причинѣ нераціональности такой конструкціи (мостъ чрезъ р. Рейнъ въ Кельнѣ, чрезъ р. Бугъ на Варшавской ж. дор.).

Проектированіе рѣшетчатыхъ фермъ съ нѣсколькими пересѣченіями раскосовъ имѣетъ между прочимъ цѣлью уменьшить малую панель при сохраненіи опредѣленнаго угла наклоненія раскосовъ и уменьшить сѣченіе каждаго изъ раскосовъ. Но при этомъ—если не соблюсти извѣстныхъ правилъ въ начертаніи рѣшетки — всѣ такія фермы въ отношеніи опредѣленія усилій въ частяхъ фермы обращаются въ статически неопредѣлимыя. Такъ напр. для того, чтобы рѣшетчатая ферма съ нѣсколькими пересѣченіями раскосовъ была статически опредѣлимой, необходимо рѣшетку составить такъ, чтобы, проводя непрерывную ломаную линію по всѣмъ раскосамъ, начиная отъ верхней или нижней точки опорной стойки, можно было придти къ нижней или соотвѣтственно верхней точкѣ той же или другой опорной стойки. Этому условію удовлетворяютъ: а) всѣ рѣшетчатыя фермы съ *четнымъ* числомъ простыхъ системъ, заключающія въ себѣ $n + \frac{1}{2}$ малыхъ панелей, гдѣ n — произвольное цѣлое число (рис. 217); б) тѣ изъ рѣшетчатыхъ фермъ съ *нечетнымъ* числомъ простыхъ системъ, въ которыхъ содержится n или $n + \frac{1}{2}$ малыхъ панелей, если притомъ n или $n + \frac{1}{2}$ не равно $\alpha \cdot \frac{m}{2}$, гдѣ m — нечетное число простыхъ системъ и α—произвольное цѣлое число (рис. 218 и 219). Ферма, изображенная на фиг. 220, не удовлетворяетъ этому условію — и она статически

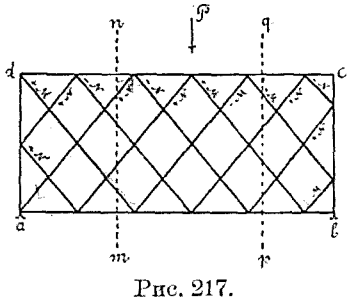


Рис. 217.

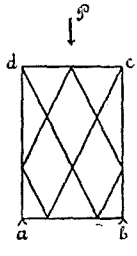


Рис. 218.

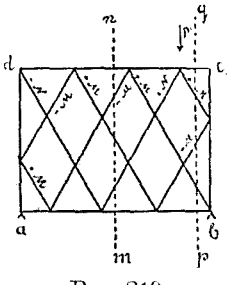


Рис. 219.

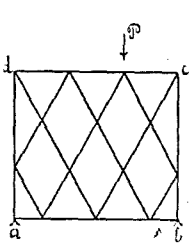


Рис. 220.

неопредѣлима. Легко видѣть, что грузъ P, помѣщенный въ какомъ либо узлѣ фермы первой группы (фиг. 217 и 219), разбиваясь на двѣ неизвѣстныя части N и M, сжимаетъ оба раскоса, сходящіеся у этого угла,—одинъ усиліемъ, пропорціональнымъ N, и другой усиліемъ, пропорціональнымъ M. Каждый изъ этихъ раскосовъ, доведенный до пересѣченія съ промежуточной точкой пояса или опорной стойки, встрѣчаетъ симметричный раскосъ и передастъ ему усиліе, пропорціональное N или соотвѣтственно M, причемъ сжимающее усиліе $(+N)$ переходитъ въ вытягивающее $(-N)$ и т. д., пока послѣдовательная передача не дойдетъ до верхней или нижней опорной стойки. При этомъ оказывается, что *каждый* изъ раскосовъ фермы будетъ напряженъ усиліемъ, пропорціональнымъ M или N. Для опредѣленія этихъ величинъ имѣемъ два уравненія: первое $P = M + N$ и второе $\Sigma Y = 0$, примѣненное къ мысленно разсѣченной части фермы. Такъ напр. для случая загрузки, указанной на фиг. 217 для лѣвой отсѣченной части, имѣемъ:

$$\Sigma Y = A - 3N + M = 0,$$

гдѣ сопротивленіе опоры:

$$A = \frac{P_x 2{,}5}{5{,}5} = 0{,}4545\,P,$$

и силы, направленныя вверхъ, обозначены положительными величинами. Рѣшая совмѣстно:

$$P = M + N \text{ и } 0{,}4545P - 3N + M = 0,$$

найдемъ:

$$N = 0{,}3636\,P;\ M = 0{,}3664\,P.$$

Деревянные мосты этой системы, т. е. съ частой плоской рѣшеткой, называются по имени изобрѣтателя — фермами системы Тауна (рис. 40).

д) Ферма *Варрена-Петти* или *Финка* (рис. 88, 221, 222 и фиг. 62, табл. 7),

въ которой большая панель подраздѣлена второстепенными стяжками, подпорками и раскосами на нѣсколько частей. При такихъ условіяхъ достигается умеиьшеніе длины малыхъ панелей, т. е. уменьшаются размѣры продольныхъ и поперечиыхъ балокъ, съ увеличеніемъ числа ихъ, но ферма остается статически опредѣлимой, хотя сѣченія въ элементахъ основной простой фермы получаются почти такими же, какъ еслибы не было второстепенныхъ стяжекъ.

Примѣненіе добавочныхъ стяжекъ съ цѣлью уменьшенія малой панели встрѣчается и въ рѣшетчатыхъ фермахъ съ однимъ пересѣченіемъ раскосовъ (фиг. 75 и 76, табл. 8).

б) **Раскосныя** фермы имѣютъ одну систему раскосовъ—наклонную, а другую вертикальную (стойки, стяжки), или незначительно уклоняющуюся отъ верти-

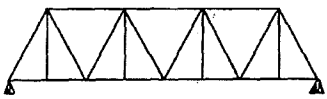


Рис. 221.

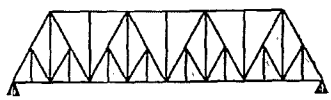


Рис. 222.

кальнаго направленія. Въ данномъ случаѣ стойки составляютъ существенную часть фермы и принимаютъ участіе въ передачѣ усилій (рис. 223 и 224, фиг. 65 и 74).

Въ фермахъ этого типа одновременно работаютъ стойки или стяжки и система вытянутыхъ или соотвѣтсвенно сжатыхъ раскосовъ; поэтому въ такихъ фермахъ въ каждой части ея встрѣчаются раскосы только одного опредѣленнаго направленія. Если въ нѣкоторыхъ случаяхъ и приходится помѣщать раскосы двухъ направленій (напр. въ среднихъ панеляхъ—фермы съ параллельными поя-

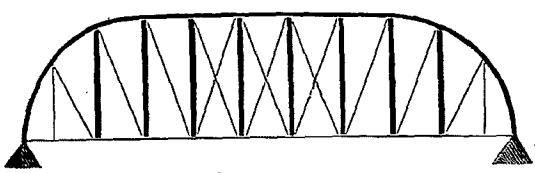


Рис. 223.

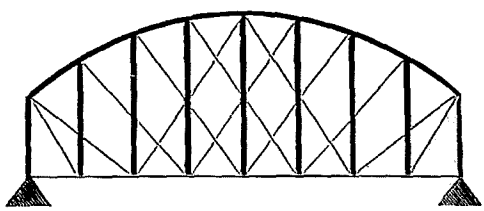


Рис. 224.

сами, или во всѣхъ панеляхъ—параболической фермы) или если вторая система раскосовъ помѣщается во всѣхъ панеляхъ по конструктивнымъ соображеніямъ (напр. въ фермахъ Гау), то *одновременно* работаетъ только *одна* изъ системъ раскосовъ. Возможность осуществленія этого условія достигается или соотвѣтственнымъ подборомъ сѣченія, или деталями конструкціи.

Такъ напр., если положеніе и направленіе раскоса таковы, что онъ работаетъ преимущественно на растяженіе и можетъ иногда подвергаться сжимающему усилію, но съ другой стороны если не желательно, чтобы онъ подвергался такому усилію—то достаточно проектировать раскосъ сѣченія съ незначительнымъ моментомъ инерціи. При такихъ условіяхъ раскосъ приметъ изъ сжимающаго усилія столько, сколько онъ можетъ вынести, не подвергаясь выпучиванію. Какъ только произойдетъ выпучиваніе, укорачиваніе раскоса, т. е. укорачиваніе одной діагонали четыреугольника, такъ другая діагональ, гдѣ помѣщенъ другой раскосъ, начинаетъ удлиняться, т. е. послѣдній раскосъ начинаетъ подвергаться растяженію. Если обратно раскосъ преимущественно работаетъ на сжатіе, а въ извѣстныхъ случаяхъ можетъ работать на растяженіе, то достаточно,придавая ему жесткое сѣченіе, вставить его *свободно* между узлами фермъ, не соединяя неразрывно съ узломъ (фермы Гау, Ридера и проч.), при каковыхъ условіяхъ онъ очевидно не можетъ подвергнуться растяженію.

Если имѣть въ виду только *постоянную* нагрузку, то при четномъ числѣ панелей, при параллельныхъ поясахъ—направленіе растянутыхъ раскосовъ будетъ такое, какъ указано на рис. 225; это легко объяснить, пользуясь условіемъ $\Sigma Y = O$, имѣя притомъ въ виду, что въ лѣвой половинѣ фермы перерѣзывающее усиліе — величина положительная, а въ правой—отрицательная, при чемъ нулевое значеніе совпадаетъ съ серединой пролета.

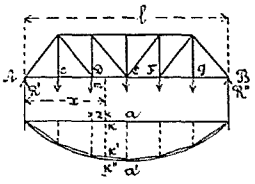


Рис. 225.

При такихъ же условіяхъ, при нечетномъ числѣ панелей, между средними стойками можно было бы и не ставить раскосовъ, такъ какъ они не будутъ напряжены. Въ стропильной фермѣ, какъ указано было ранѣе, получаются обратные результаты: въ лѣвой половинѣ фермы раскосы нисходящаго направленія будутъ сжаты (фиг. 56, тб. 7), а восходящаго (фиг. 57) — вытянуты; въ правой половинѣ фермы — обратно.

Но мостовая ферма подвергается дѣйствію не только постоянной, но и подвижной нагрузки. Слѣдовательно, здѣсь будутъ участки, гдѣ перерѣзывающее усиліе бываетъ иногда положительнымъ, иногда отрицательнымъ.

Поэтому, если (фиг. 226) ступенчатыя линіи *ed* и *cf* выражаютъ законъ измѣненія max. $\mathfrak{B}$ и min. $\mathfrak{B}$, то для типа фермъ съ вытянутыми раскосами и сжатыми стойками (фиг. 226*а*) въ двухъ крайнихъ панеляхъ достаточно помѣстить раскосы одного направленія и слѣд. раскосы *gh*, *ik*, *uv* и *ts* — будутъ при всякомъ положеніи подвижной нагрузки вытянуты; въ среднихъ панеляхъ, гдѣ перерѣзывающее усиліе бываетъ и положительнымъ и отрицательнымъ—слѣдуетъ помѣстить раскосы обоихъ направленій, причемъ при положительномъ значеніи перерѣзывающаго усилія будутъ работать на растяженіе раскосы *op* и *qs*, а при отрицательномъ значеніи — раскосы *kq* и *pr*. Въ типѣ фермъ съ сжатыми раскосами (фиг. 226*б*) имѣемъ—обратное.

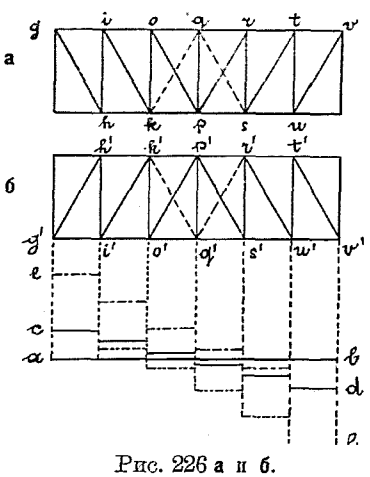


Рис. 226 а и б.

Подобно тому, какъ въ рѣшетчатыхъ фермахъ, такъ и въ данномъ случаѣ, для уменьшенія панели при сохраненіи опредѣленнаго угла наклоненія раскосовъ, можно составлять ферму изъ двухъ простыхъ однородныхъ системъ (фиг. 58 и 65) или изъ трехъ и болѣе системъ (фиг. 54), причемъ ферма обращается уже въ статически неопредѣлимую. Если желательно сохранить ферму статически опредѣлимою, то для той же цѣли можно подраздѣлять большую панель добавочными стяжками и подпорками — на нѣсколько частей (фиг. 69, 70, 55, рис. 91).

Какъ указано было ранѣе, всѣ раскосныя фермы можно раздѣлить на два класса: на фермы съ одними *вытянутыми* раскосами, или же съ одними *сжатыми* раскосами. Выборъ той или другой системы находится въ зависимости отъ матеріала, изъ котораго предполагается изготовить ферму. Такъ напр. если ферма устраивается вся изъ желѣза, то выгоднѣе дать раскосамъ такое направленіе, чтобы они работали на вытягиваніе, такъ какъ сжатыми частями сквознаго заполненія будутъ тогда наиболѣе короткіе элементы,—что вдвойнѣ выгодно. Если же ферма изготовляется изъ дерева и желѣза, или изъ чугуна и желѣза, тогда наоборотъ—выгоднѣе дать раскосамъ направленіе, при которомъ они работали бы на сжатіе,—употребляя для раскосовъ дерево или чугунъ, какъ относительно дешевый матеріалъ, и исполняя изъ желѣза только стяжки, т. е. наиболѣе короткіе элементы сквознаго заполненія съ нормальнымъ коэфиціентомъ напряженія, не уменьшеннымъ на продольный изгибъ.

Перечислимъ главнѣйшіе типы фермъ каждаго изъ двухъ классовъ.

1) Фермы, въ которыхъ встрѣчаются *вытянутые* раскосы и *сжатыя* стойки:

а) Фермы съ параллельными поясами (фиг. 65, тб. 8), называмыя въ этомъ случаѣ фермами *Моніэ* или *Голландскими*. Въ Америкѣ онѣ извѣстны подъ названіемъ фермъ *Пратта*, если ферма однораскосная, и фермъ *Мэрфи*, *Виппля* и *Линвилля*, если ферма двухраскосная. Въ фермахъ Виппля—сжатыя части изъ дерева или желѣза, а въ фермахъ Линвилля—изъ чугуна.

Если въ двухраскосной фермѣ вторая система раскосовъ, плоскихъ или изъ болтоваго желѣза, помѣщена во всѣхъ панеляхъ, то получается ферма системы *Ридера*. Помѣщеніе второй системы раскосовъ (contre-tirants) во всѣхъ панеляхъ вызывается конструктивными соображеніями, и то только въ случаѣ примѣненія болтовыхъ шарнирныхъ соединеній. Если въ длинѣ главныхъ раскосовъ (tirants) есть уклоненіе отъ нормальной длины, что имѣло бы послѣдствіемъ неодинаковую натянутость раскосовъ, то—этимъ послѣднимъ сообщается одинаковая натянутость при помощи обратныхъ раскосовъ, снабженныхъ натяжными муфтами; муфтами слѣдуетъ дѣйствовать, пока ферма находится еще на подмостяхъ. Въ фермахъ съ заклепочными соединеніями и въ фермахъ съ болтовыми соединеніями, но съ раскосами, изготовленными точно въ мѣру — помѣщеніе обратныхъ раскосовъ по всей длинѣ фермы—безполезно.

б) Фермы полигональнаго очертанія (фиг. 74) и въ частномъ случаѣ фермы параболическія (фиг. 51), Шведлера (рис. 89), Паули (фиг. 52), полупараболическія (фиг. 54), а также фермы стропильныя (фиг. 57) и проч.

Въ обѣихъ группахъ фермъ для уменьшенія панелей могутъ быть второстепенныя подвѣски (системы *Петти*) (рис. 227, фиг. 69, 70 тб. 8, фиг. 55 тб. 7),

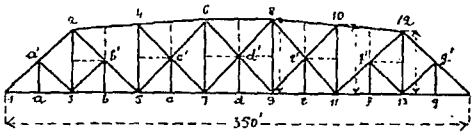


Рис. 227.

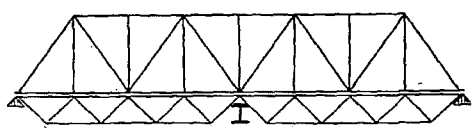


Рис. 228.

прикрѣпленныя къ серединѣ раскоса, причемъ во избѣжаніе изгиба главнаго раскоса къ той же точкѣ долженъ быть прикрѣпленъ еще второстепенный раскосъ—вытянутый (фиг. 70), или сжатый (рис. 227, двѣ крайнія панели).

Съ цѣлью разгрузки фермы отъ подвижного груза инженеромъ *Зотиковымъ* предложенъ типъ фермъ, въ которыхъ по длинѣ фермы помѣщается одна, двѣ или три поперечныя балки (рис. 228). При такихъ условіяхъ часть подвижной нагрузки передается чрезъ длинныя продольныя балки непосредственно на опоры, а остальная часть, чрезъ одну, двѣ или три поперечныя балки—на главныя фермы. Фермы этого типа осуществлены на Московско-Казанской желѣзной дорогѣ—съ сбереженіемъ матеріала около $10^0/_0$.

в) Фермы *Поста* и *Пеграма*. Эти фермы характеризуются тѣмъ, что стойки не вертикальны, а наклонны, причемъ уголъ наклоненія стоекъ (сжатыхъ раскосовъ) значительно круче угла наклоненія вытянутыхъ раскосовъ, такъ что этотъ классъ фермъ можно также причислить къ рѣшетчатымъ, въ которыхъ раскосы обѣихъ системъ имѣютъ различные углы наклоненія. Фермы *Поста*—обыкновенно съ параллельными поясами, двухраскосной или трехраскосной системъ (рис. 229 и фиг. 68, тб. 8), съ четнымъ числомъ панелей верхняго пояса и нечетнымъ числомъ (на единицу болѣе) нижняго пояса; среднія стойки сходятся вершинами и наклонены большею частью такъ, что горизонтальная проекція наклонныхъ стоекъ равняется половинѣ малой панели, а проекція раскосовъ соотвѣтствуетъ полуторной длинѣ малой панели въ двухраскосныхъ фермахъ (рис. 229) или въ два съ половиною раза болѣе малой панели—въ трехраскосныхъ фермахъ (фиг. 68, тб. 8).

Въ нѣкоторыхъ примѣрахъ вторая система раскосовъ, contre-tirants, помѣщается не только въ среднихъ панеляхъ, гдѣ она необходима (рис. 229), но и во всѣхъ остальныхъ панеляхъ (фиг. 68, таб. 8). Назначеніе этихъ раскосовъ то же, какъ и въ фермахъ Ридера.

Фермы *Неграма* имѣютъ горизонтальный нижній или верхній поясъ, паклоипыя опорныя стойки и очерченный по дугѣ круга верхній или нижиій поясъ (рис. 230 и 231). Число панелей въ верхнемъ и нижнемъ поясахъ одинаково, по величина панелей въ верхнемъ поясѣ менѣе, нежели въ нижнемъ; длина хорды верхняго пояса короче нижняго на $1^1/_4$—$1^1/_2$ панели; уголъ наклоненія наклонныхъ стоекъ—перемѣиный; высота фермы по серединѣ, по сравиенію съ высотой въ первомъ

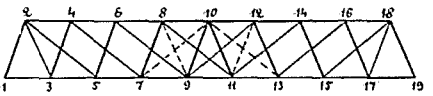


Рис. 229.

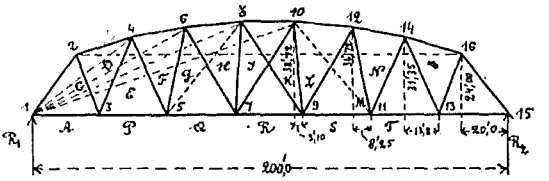


Рис. 230.

узлѣ, выбирается такъ, чтобы стойки были по возможности одинаковой длины, или чтобъ длина незначительно уменьшалась къ опорамъ.

2) Фермы, въ которыхъ встрѣчаются *сжатые* раскосы и *вытянутыя* стяжки.

а) Фермы *Пальмера*; въ нихъ всѣ элементы фермъ — изъ дерева; сюда относятся только фермы съ параллельными криволинейными поясами, съ деревянными стяжками и съ одиой системой сжатыхъ раскосовъ (рис. 31).

б) Фермы *Лонга*—всѣ элементы также изъ дерева; параллельные прямые пояса; одна система сжатыхъ брусчатыхъ раскосовъ и такія же стяжки. Кромѣ того встрѣчается еще видоизмѣненіе фермы Лоига съ досчатыми стяжками и такими же сжатыми раскосами двухъ системъ.

в) Ферма *Гау*.—Параллельные прямые пояса изъ дерева или металлическія; желѣзныя стяжки и двѣ системы деревянныхъ раскосовъ во всѣхъ панеляхъ

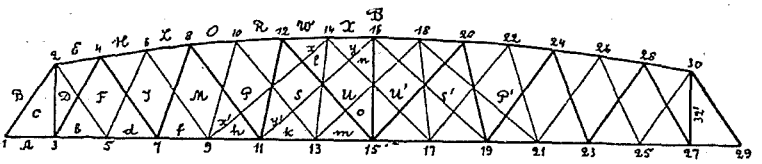


Рис. 231.

(фиг. 67, тб. 8, рис. 41, 42), способныхъ принять только сжимающее усиліе. Въ дѣйствительности, за исключеніемъ нѣкоторыхъ среднихъ панелей, работаетъ только одна система раскосовъ; но сохраненіе второй системы раскосовъ во всѣхъ панеляхъ полезно для того, чтобы уменьшить свободную длину раскосовъ первой системы. Если условія проектированія и точность сборки таковы, что нѣтъ основанія имѣть въ виду два послѣднія обстоятельства, то двѣ системы раскосовъ сохраняются только въ среднихъ панеляхъ, а въ неразрѣзныхъ фермахъ—въ тѣхъ сѣченіяхъ, гдѣ перерѣзывающее уеиліе бываетъ двухъ знаковъ. Если раскосы и верхній поясъ—изъ чугуна, а нижній поясъ и стяжки—изъ желѣза, то ферма называется фермою *Джонса*. Въ послѣдиее время въ Америкѣ распространяется видоизмѣненіе фермъ Гау съ одиой системой раскосовъ, состоящее въ примѣненіи приспособленія Пети—съ промежуточиыми стяжками и второстепенными короткими раскосами; такія фермы называются фермами *Грэндаля*.

г) Къ группѣ фермъ съ раскосами, способными принять только сжимающее усиліе, относится неудачная система *Шифкорна* (фиг. 77, тб. 9), состоящая изъ трехъ поясовъ: нижній и средній— изъ желѣза, верхній же—изъ чугунныхъ отдѣльныхъ частей, обжатыхъ по всей длинѣ фермы желѣзными полосами; раскосы чугунные. Двухъярусные раскосы играютъ здѣсь роль шпонокъ между тремя поясами.

в) **Сложныя раскосныя фермы** представляютъ собою соединеніе двухъ раскосныхъ простыхъ фермъ: съ вытянутыми раскосами и сжатыми стойками, и съ сжатыми раскосами и вытянутыми стяжками (рис. 232). Такимъ образомъ въ этомъ типѣ фермъ двѣ противоположныя системы раскосовъ встрѣчаются во всѣхъ панеляхъ и работаютъ *одновременно*. Поэтому детали соединеній и сѣченія раскосовъ должны быть таковы, чтобы одна система раскосовъ способна была принять вытягивающее усиліе, а другая — сжимающее. Этотъ типъ фермъ — статически неопредѣлимый въ отношеніи опредѣленія усилій въ частяхъ фермы.

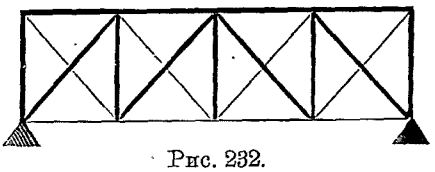


Рис. 232.

Указанная система сквознаго заполненія встрѣчается, какъ въ деревянныхъ фермахъ системы *Лонга*—съ досчатыми стойками и двумя системами раскосовъ, изъ которыхъ одна можетъ подвергаться вытягивающему усилію, а другая—сжимающему, такъ и въ металлическихъ фермахъ съ прямолинейными и криволинейными поясами.

---

2. Фермы съ горизонтальнымъ распоромъ прямого направленія.

А) *Ферма подкосной системы* (фиг. 24). Въ мостовыхъ сооруженіяхъ почти не встрѣчаются фермы собственно подкосной системы, т. е. состоящія только изъ двухъ взаимно стыкающихся наклонныхъ брусьевъ, или изъ трехъ взаимно стыкающихся брусьевъ, при чемъ въ послѣднемъ случаѣ крайніе брусья наклонны, а средній (ригель)—горизонтальный. Въ виду необходимости устроить мостовое полотно непрерывнымъ и съ малымъ подъемомъ, въ мостовыхъ сооруженіяхъ приходится обыкновенно пользоваться *составными* фермами изъ балочной и подкосной, хотя за такими фермами сохраняется названіе *подкосныхъ*; въ такомъ случаѣ балка помѣщается поверхъ подкосной фермы и, слѣдовательно, расіоръ не можетъ быть принятъ балкой (фиг. 81, тб. 9).

Еслибы балка была помѣщена ниже собственно подкосной фермы и подкосы были бы врублены въ балку, то получилась бы обыкновенная безраспорная подвѣсная ферма съ затяжкой. Еслибы подкосы не были соединены съ затяжкой или еслибы затяжки не существовали, то при ѣздѣ по низу имѣли бы распорную подвѣсную ферму безъ затяжки.

Б) *Арочная*, представляющая собою подкосную или подвѣсную (безъ затяжки) ферму съ большимъ числомъ реберъ, устраивается изъ дерева, камня и металловъ (фиг. 82, 83. 84, тб. 9).

Такъ какъ арочная ферма, если предположить ее гибкою, или составленною изъ отдѣльныхъ звеньевъ, соединенныхъ шарнирами, можетъ быть въ равновѣсіи только при одной опредѣленной какой-либо нагрузкѣ, то при измѣненіи послѣдней она не можетъ уже принять новаго положенія равновѣсія и, слѣдовательно, принадлежитъ къ числу неустойчивыхъ фермъ. Въ виду этого арочная ферма должна быть необходимо *жесткаго сѣченія*.

Въ случаѣ расположенія проѣзжей части поверхъ арки, жесткость послѣдней значительно увеличивается тѣмъ, что между аркою и верхнимъ горизонтальнымъ прогономъ существуетъ заполненіе для передачи давленія отъ прогона на арку. Это заполненіе можетъ быть или сплошнымъ (рис. 233), или сквознымъ (рис. 234, 25, 26, 48 и 49), можетъ состоять изъ отдѣльныхъ стоекъ, подпорокъ и колецъ (рис. 235, 51 и 53), или наконецъ изъ стоекъ и изъ раскосовъ (фиг. 84). Если заполненіе состоитъ только изъ стоекъ (рис. 117, 119, 120, 129, фиг. 85в, тб. 9) или, въ случаѣ расположенія проѣзжей части по низу, — изъ однѣхъ подвѣсокъ (рис. 121, 122), т. е. когда эти стойки или подвѣски имѣютъ второстепенное значеніе и не составляютъ необходимой принадлежности арочной фермы, то арка должна быть жесткаго, достаточно солиднаго сѣченія, такъ какъ арочная ферма ограничивается собственно предѣлами арки. Если же сквозное заполненіе между верхнимъ поясомъ и аркой состоитъ изъ раскосовъ и стоекъ, и когда эти послѣдніе (фиг. 85с, тб. 9) составляютъ необходимую составную часть арочной фермы,—элементы собственно арки, дуги — могутъ быть сравнительно меньшихъ размѣровъ. Сама арка въ свою очередь можетъ быть или сплошная (рис. 233 и 129), сквозная (рис. 19), или же состоять изъ двухъ дугообразныхъ реберъ, взаимно соединенныхъ рѣшеткой (рис. 121, 122, 123).

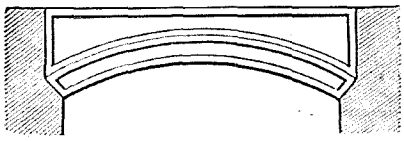


Рис. 233.

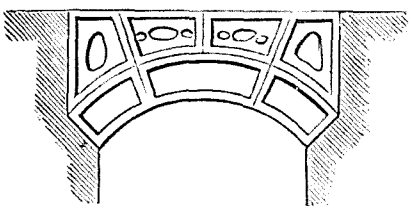


Рис. 234.

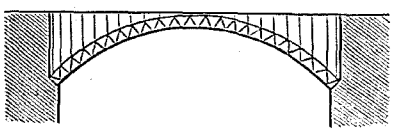


Рис. 235.

Арочныя фермы устраиваются: а) *съ задѣланными пятами*, б) *съ двумя шарнирами* (въ пятахъ) и в) *съ тремя шарнирами* (въ пятахъ и въ ключѣ). Двѣ первыя группы, въ отношеніи опредѣленія опорныхъ сопротивленій, принадлежатъ къ статически неопредѣлимымъ, а послѣдняя—къ статически опредѣлимымъ фермамъ. Первая группа (фиг. 85а, тб. 9, рис. 127) отличается наименьшимъ искаженіемъ вида фермы отъ дѣйствія нагрузки и наибольшимъ вліяніемъ температуры на величину распора; фермы второй группы (фиг. 85б, тб. 9, рис.

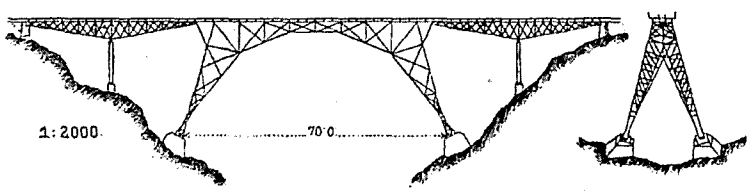


Рис. 235'. — Віадукъ Blaauw-Krantz въ Капландѣ.

115, 123, 126 и 235') проявляютъ нѣсколько большее искаженіе вида фермы, и измѣненіе температуры оказываетъ меньшее вліяніе на значеніе распора; наконецъ арочныя фермы съ тремя шарнирами (фиг. 85с, тб. 9, рис. 129) наиболѣе чувствительны къ измѣненію вида; но съ другой стороны температура не оказываетъ никакого вліянія на распоръ.

Инженеромъ Souleyre (Annales des ponts et chaussées 1895 г.) предложенъ еще четвертый типъ арокъ съ задѣланными пятами и съ шарниромъ въ ключѣ.

Къ этому типу приближаются арочныя фермы со свѣсами (рис. 125 и 235″).

Всѣ эти три типа арокъ встрѣчаются преимущественно въ металлическихъ конструкціяхъ; до послѣдняго времени каменныя и деревянныя арочныя фермы устраивались лишь по типу съ задѣланными пятами; но нынѣ уже нерѣдко примѣняются типы съ двумя и тремя шарнирами къ каменнымъ и деревяннымъ фермамъ. Для уменьшенія или уничтоженія вліянія распора на опоры пользуются соотвѣтствующими приспособленіями. Такъ для *уменьшенія* распора на промежуточныя опоры арочная ферма съ двумя и тремя шарнирами снабжается *свѣсами* на подобіе фермъ Гербера (фиг. 85d, тб. 9, рис. 124, 125 и 235″); для уничтоженія вліянія распора на промежуточныя и крайнія опоры арочныя фермы снабжаются затяжками, помѣщаемыми въ уровнѣ пятъ, на которыя передается распоръ; въ этомъ случаѣ, очевидно, необходимо, чтобы арка была связана съ затяжкой; если такой связи не существуетъ (рис. 29), то распоръ не уничтожится. Если затяжка помѣщена выше пятъ (рис. 126), то затяжкой уничтожается вообще только часть распора; въ извѣстныхъ случаяхъ можно такъ распредѣлить составные элементы фермы, что затяжка, помѣщенная выше пять, принимаетъ на себя весь распоръ (фиг. 85f, тб. 9). Для уничтоженія вліянія распора на промежуточныя опоры арочныя фермы устраиваются неразрѣзными, при чемъ оиѣ свободно опираются на промежуточныя опоры (фиг. 85e, тб. 9).

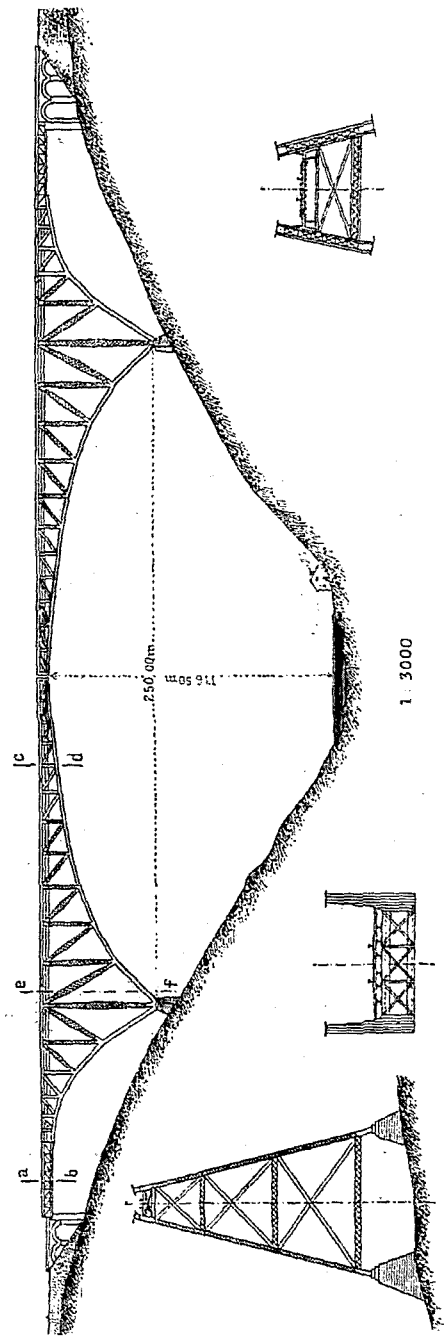


Рис. 235″. — Віадукъ черезъ р. Viaur во Франціи.

Къ *составнымъ* арочнымъ фермамъ относятся соединенныя системы арочныхъ и балочныхъ фермъ и арочныхъ и висячихъ. Въ послѣднемъ типѣ (фермы Лозе рис. 96), при равенствѣ стрѣлъ подъема и провѣса, распоры двухъ составляющихъ фермъ взаимно уничтожаются. Въ первомъ типѣ, при расположеніи балочной фермы подъ арочной, распоръ воспринимается балочной фермой. Въ случаѣ же помѣщенія балочной фермы выше арочной — распоръ передается на опоры.

3. Фермы съ горизонтальнымъ распоромъ обратнаго направленія.

Висячая ферма (фиг. 86, тб. 9) есть обращенная арочная ферма и отличается отъ послѣдней тѣмъ, что при измѣненіи нагрузки она въ состояніи принимать различныя положенія равновѣсія, а потому принадлежитъ къ системѣ устойчивыхъ фермъ и можетъ быть устроена гибкою или изъ отдѣльныхъ звеньевъ, соединенныхъ шарнирами.

Для возможности же производить сообщеніе по мосту, фермы котораго принадлежатъ къ системѣ висячихъ, необходимо уменьшить подвижность такой



Рис. 236.



Рис. 237.

фермы, т. е. увеличить ея жесткость. Съ этою цѣлью дѣлаютъ: а) проѣзжую часть моста жесткою (рис. 236) примѣненіемъ жесткой рѣшетки, въ случаѣ прикрѣпленія подвѣсиыхъ прутьевъ къ поперечинамъ, или прикрѣпляютъ подвѣсные прутья къ прогону; б) дѣлаютъ проѣзжую часть съ подъемомъ; в) располагаютъ



Рис. 238.

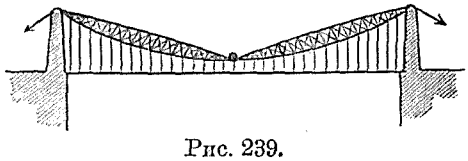


Рис. 239.

подвѣсные прутья не въ вертикальной, а въ наклонной плоскости (рис. 70); г) соединяютъ въ нѣсколькихъ мѣстахъ прогонъ проѣзжей части съ вершиною устоя помощью вантъ изъ проволочныхъ канатовъ (рис. 237 и 72)., что особенно часто встрѣчается въ Америкѣ; д) дѣлаютъ цѣпь жесткою, располагая двѣ цѣпи одну подъ другою и соединяя ихъ рѣшеткою (рис. 238), или же составляютъ цѣпь изъ двухъ отдѣльиыхъ серповидныхъ фермъ (рис. 239), соединенныхъ по серединѣ шарниромъ; нижній поясъ каждой такой фермы состоитъ изъ отдѣльныхъ звеньевъ, а верхній склепанный, жесткаго коробчатаго сѣченія; между обоими поясами — рѣшетка. Для этой же цѣли помѣщаютъ взаимно-пересѣкающіеся раскосы между привѣсными прутьями (рис. 240), или наконецъ цѣпь дѣлаютъ жесткаго, сплошного сѣченія, склепывая ее съ раскосами и стойками, которые въ свою очередь склепаны съ нижнимъ прогономъ (рис. 67 и фиг. 87, тб. 9).

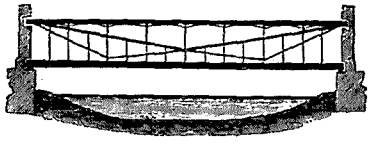


Рис. 239′. — Мостъ черезъ каналъ рѣки Дуная въ Вѣнѣ (Augarten-brücke).

Такимъ образомъ висячія фермы можно раздѣлить на слѣдующіе типы:

1) На *гибкія* висячія фермы безъ фермъ жесткости (рис. 59 и 60) и съ фермами жесткости (фиг. 86, тб. 9, рис. 61 и 62), съ вантами (рис. 69 и 72) и безъ вантъ.

2) На *жесткія* висячія фермы со сквознымъ заполненіемъ, причемъ сквозное заполиеніе помѣщается: а) между гибкою или жесткою цѣпью, нижнимъ прогономъ и подвѣсками (рис. 241); б) между двумя поясами цѣпи серповиднаго очертанія съ шарниромъ по серединѣ (рис. 130, 239) и в) между двумя параллельными поясами цѣпи (рис. 238).

3) на *составныя* висячія фермы изъ висячей и балочной. Если балочная ферма помѣщена выше висячей, то распоръ висячей фермы воспринимается балочной фермой; если же балочная ферма помѣщена ниже висячей (фиг. 88, тб. 10), то опоры ие освобождаются отъ распора. Къ числу разновидностей этого типа слѣдуетъ причислить и висячія фермы Ордиша (рис. 63), въ которыхъ балочная ферма поддерживается въ нѣсколькихъ промежуточныхъ точкахъ одиночными или парными прямолинейными наклонными струнами. Такой типъ



Рис. 240.

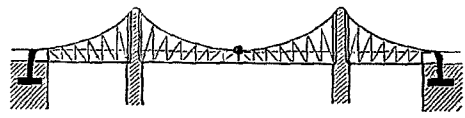


Рис. 241.

фермъ представляетъ собою обращенную подкосную ферму, въ которой прогонъ подпертъ въ нѣсколькихъ мѣстахъ одиночными (фиг. 81, тб. 9) или парными подкосами (фиг. 230, тб. 30).

Изображенныя на (рис. 239′) фермы моста черезъ каналъ р. Дуная въ Вѣнѣ (Augartenbrücke), при величинѣ пролета въ 58,3 мет., принадлежатъ къ тому же типу. Балочная ферма подвѣшена помощью подвѣсокъ къ двумъ отдѣльнымъ цѣпямъ; распоръ цѣпей передается на особую распорку, къ которой кромѣ того подвѣшена балочная ферма. Конструкція эта неудачна; по расчету Винклера, по сравненію съ рѣшетчатой фермой излишекъ затраченнаго матеріала составляетъ 34%.

Какъ во всякомъ сооруженіи, такъ и въ мостовыхъ фермахъ всякая правильно проектированная ферма должна быть выполнена изъ матеріала, наиболѣе соотвѣтствующаго по своимъ качествамъ проявляющимся въ ней усиліямъ. Такъ напр., камень и чугунъ пригодны лишь для такихъ фермъ, гдѣ преобладаютъ исключительно сжимающія усилія.

II.

Мѣстныя данныя для составленія проекта моста.

Опредѣленіе площади бассейна, плана перехода рѣки, положенія горизонтовъ воды, уклоновъ и площади живого сѣченія. Опредѣленіе скоростей по эмпирическимъ формуламъ и наблюденіями. Опредѣленіе расхода воды въ большихъ рѣкахъ. Опредѣленіе расхода воды въ малыхъ ручейнахъ и въ долинахъ средней величины въ зависимости отъ ливней.

Къ такимъ даннымъ относятся слѣдующія свѣдѣнія:

1) о наибольшемъ расходѣ для опредѣленія отверстія искусственнаго сооруженія;

2) о направленіи теченія и о конфигураціи прилегающей мѣстности — для составленія проекта регуляціонныхъ работъ;

3) о геологическомъ строеніи почвы, возвышеніи полотна, положеніи горизонта высокихъ водъ и ледохода, а также о родѣ судоходства, что необходимо для составленія проекта опоръ въ связи съ избраннымъ отверстіемъ моста и для выбора типа пролетнаго строенія;

4) свѣдѣнія о стоимости матеріаловъ и рабочихъ рукъ.

Въ виду сего предварительно составленія проекта опредѣляютъ:

а) *Площадь бассейна рѣки*, рѣчки или оврага—въ предѣлахъ до пересѣченія полотномъ дороги. При бассейнахъ менѣе 50 кв. верстъ — площадь слѣдуетъ

опредѣлить возможно точно, т. о. съемкой, такъ какъ при малыхъ бассейнахъ наибольшій расходъ опредѣляется почти исключительно въ зависимости отъ площади бассейна. При бассейнахъ же бо́льшихъ 50 кв. вер. можно ограничиваться измѣреніемъ площади по картамъ,—въ виду того, что наибольшій расходъ въ такихъ случаяхъ опредѣляется другимъ путемъ; опредѣленіе же расхода по бассейнамъ служитъ лишь контролемъ.

б) *Планъ перехода рѣки или водостока.* Чѣмъ неправильнѣе теченіе, тѣмъ бо́льшій районъ долженъ быть снятъ выше и ниже перехода. За наименьшій предѣлъ слѣдуетъ считать 250 саж. въ обѣ стороны, при чемъ во всякомъ случаѣ планъ долженъ обнимать достаточный районъ для правильнаго выясненія характера регуляціонныхъ работъ. Съемка должна представлять подробный планъ мѣстности въ горизонталяхъ, планъ главнаго русла, съ поймой, со старорѣчьями, островами и проч., а также съ показаніемъ на планѣ предѣла разлива и, если возможно, направленія теченія при высокомъ горизонтѣ съ соотвѣтственными скоростями.

в) *Горизонты низкихъ меженныхъ и самыхъ высокихъ водъ, а также и горизонтъ ледохода.* Горизонты меженныхъ водъ могутъ быть опредѣлены по горизонту льда. При опредѣленіи горизонта высокихъ водъ приходится пользоваться или показаніями мѣстныхъ жителей, или отъискивать слѣды, оставленные этимъ горизонтомъ по разливу на крутыхъ берегахъ или на стволахъ деревьевъ и проч.

При опредѣленіи высокаго горизонта рѣки слѣдуетъ выяснить—есть ли это естественное повышеніе или это результатъ зажоръ и вліянія подпора; послѣднее можетъ имѣть мѣсто напримѣръ въ томъ случаѣ, если изучаемая рѣка составляетъ притокъ другой рѣки и если мѣсто пересѣченія выбрано недалеко отъ устья. Съ другой стороны необходимо установить—совпадаютъ ли высокія воды и время вскрытія на главномъ руслѣ и на притокахъ. Весьма существенное значеніе имѣетъ положеніе бассейна относительно странъ свѣта: такъ напр. если рѣка течетъ съ сѣвера на югъ, то сначала вскрываются низовья рѣки, а затѣмъ уже верховья, вслѣдствіе чего проходъ весеннихъ водъ бываетъ здѣсь болѣе равномѣрный. При обратномъ же направленіи теченія, напримѣръ въ рѣкахъ Сибири, вскрываются впачалѣ верховья рѣкъ, что имѣетъ результатомъ поднятіе льда низовыхъ частей рѣки огромными площадями, взаимное нагроможденіе льдинъ съ неизбѣжными зажорами. Равнымъ образомъ на болѣе или менѣе быстрое повышеніе горизонта имѣетъ вліяніе близость горъ, строеніе почвы, характеръ растительности, лѣса и проч.

При опредѣленіи горизонта высокихъ водъ горныхъ рѣкъ слѣдуетъ поступать осмотрительно, такъ какъ дно такихъ рѣкъ очень подвижно: оно или углубляется, врѣзаясь въ почву, или повышается отъ складыванія (накопленія) наносовъ, и легко можетъ быть, что опредѣленный такимъ образомъ горизонтъ высокихъ водъ вовсе не соотвѣтствуетъ состоянію рѣки во время изысканій. Въ первомъ случаѣ будетъ опредѣленъ чрезмѣрный расходъ, а во второмъ—меньше дѣйствительнаго. Въ такихъ сомнительныхъ случаяхъ слѣдуетъ опредѣлять наибо́льшій расходъ различными способами и сравненіемъ результатовъ открыть ошибку. Во всякомъ случаѣ, независимо отъ собираемыхъ свѣдѣній относительно горизонта высокихъ водъ—необходимо непосредственно опредѣлить измѣненіе горизонта во время высокихъ водъ въ теченіе одного періода или, если возможно, то въ теченіе цѣлаго ряда лѣтъ. Для сего до начала вскрытія устанавливаютъ на берегу въ защищенномъ отъ ледохода мѣстѣ—рейки на сваяхъ, забитыхъ ручной бабой, и ежедневно во время прохода весеннихъ водъ, черезъ опредѣленные промежутки

времени, раза три въ день замѣчаютъ положеніе горизонта до спада водъ. Одновременно съ симъ должны быть отмѣчены начало и конецъ ледохода, толщина льдинъ, размѣры ихъ и примѣрная скорость.

Въ извѣстныхъ случаяхъ высокія воды повторяются до двухъ разъ въ годъ; такъ напр. въ Сибирскихъ рѣкахъ кромѣ весеннихъ высокихъ водъ наблюдаются еще лѣтнія воды, болѣе высокія, возвышаемыя таяніемъ снѣговъ на горахъ, окаймляющихъ южную границу Сибири.

Если на рѣкѣ или на притокахъ имѣются плотины, то слѣдуетъ собрать свѣдѣнія о горизонтѣ воды во время спуска водъ и во время прорыва плотины; во всякомъ случаѣ слѣдуетъ имѣть въ виду послѣднее обстоятельство при опредѣленіи отверстія моста и системы укрѣпленій.

г) *Уклонъ горизонтовъ воды и лога.* Для опредѣленія уклона рѣки забиваютъ въ установленный моментъ по обоимъ берегамъ колья въ уровень съ горизонтомъ воды, выбирая для наблюденія по возможности прямой участокъ рѣки внѣ вліянія подпора и безвѣтреное время; колья—при взаимномъ разстояніи около 50—100 саж.—должны быть забиты на протяженіи отъ $1^1/_2$ до 2 в. для большихъ рѣкъ и отъ $^1/_2$ в. до 1 в. на малыхъ рѣкахъ. Сигналъ для одновременной забивки кольевъ можетъ быть опредѣленъ временемъ или поданъ выстрѣломъ. По разбивкѣ кольевъ слѣдуетъ тщательно промѣрить и пронивеллировать разстоянія между кольями, дѣлая первую и послѣднюю установки реекъ на забитые колья. Къ сожалѣнію, не всегда оказывается возможнымъ опредѣлить уклонъ рѣки при самомъ высокомъ горизоитѣ; уклонъ опредѣляется при нѣкоторомъ среднемъ горизонтѣ. Иногда, впрочемъ, удается по оставшимся слѣдамъ высокихъ водъ или по указаніямъ свидѣтелей выяснить этотъ уклонъ. Если есть возможность опредѣлить уклонъ при разныхъ горизонтахъ, то обязательно должно это исполнить, чтобы имѣть данныя для заключенія о законѣ измѣненія уклоновъ въ зависимости отъ измѣненія положенія горизонта и чтобы затѣмъ вычислить съ нѣкоторой вѣроятностью уклонъ при наивысшемъ горизоитѣ. Если такихъ дополнительныхъ наблюденій не было сдѣлано, то приходится принять для высшаго горизонта тотъ же уклонъ, какъ и для наблюдаемаго горизонта, такъ какъ не существуетъ никакихъ общихъ указаній относительно зависимости величины уклона отъ повышенія горизонта. Если бы впрочемъ оказалось, что при высокомъ горизонтѣ теченіе направляется не вдоль извилинъ русла, а по прямому сокращенному пути, то за уклонъ высокихъ водъ можно принять уклонъ, опредѣленный изъ разности отмѣтокъ для наблюдаемаго горизонта въ началѣ и въ концѣ извилины и отнесенный къ прямолинейному или вообще сокращенному разстоянію между пунктами наблюденія.

Уклонъ потока въ оврагѣ по необходимости приравнивается къ уклону дна оврага; уклоиъ послѣдняго опредѣляютъ нивеллировкой, производя таковую на протяженіи до 200 саж. вверхъ и внизъ отъ сооруженія или вообще до рѣзкаго измѣненія профиля.

д) *Живое сѣченіе.* Значеніе ω_0, ω_1, . . . ω_n частныхъ площадей всего живого сѣченія; $\omega = \omega_0 + \omega_1 + \ldots + \omega_n$ легко опредѣляются изъ промѣровъ глубины рѣки чрезъ опредѣленные промежутки. Если ширина рѣки не велика, то, натянувши съ берега на берегъ веревку, легко промѣрить, какъ общую длину, такъ и разстояніе между точками, въ которыхъ дѣлаются промѣры глубины. Если ширина рѣки въ разливѣ значительная, то провѣшиваютъ на берегу базу и нормально къ ней створъ; устанавливаютъ угломѣрный инструментъ на берегу, на

опредѣленной точкѣ измѣренной базы, засѣкаютъ мѣсто стояиокъ лодки, устанавливаемой по створу и въ которой сидитъ наблюдатель съ гирею для опредѣленія глубины; такимъ образомъ разстоянія между пунктами промѣра, которыя вообще не должны превышать 10 с., будутъ опредѣлены вычисленіемъ.

Вѣсъ гири, смотря по скорости теченія, измѣияется отъ 20 фунт. до 2 пудовъ; къ гирѣ привязывается достаточной длины кусокъ проволоки толщиною около — 3 — 4 мм., намотанной на барабанъ, укрѣпленный въ станкѣ. Если теченіе будетъ относить гирю, то проволоку слѣдуетъ развивать до тѣхъ поръ, пока гиря ие упадетъ на дно, и затѣмъ уже начать по немногу натягивать проволоку, пока она ие будетъ въ достаточно натянутомъ положеніи. Принимая тогда въ расчетъ наклоненіе проволоки, можно приблизительно опредѣлить глубину рѣки въ данномъ мѣстѣ. Всего удобнѣе производить промѣры со льда рѣки.

Живыя сѣченія, включая пойму и старорѣчья, вычерчиваются въ опредѣленномъ масштабѣ съ нанесеніемъ горизонта низкихъ, межеинихъ, наблюденныхъ и высокихъ водъ. Обыкновенно опредѣляютъ три живыхъ сѣченія: одно — по оси моста и два — выше и ниже моста, и затѣмъ для дальнѣйшихъ расчетовъ берется среднее изъ трехъ значеній живого сѣченія и подводнаго периметра.

е) *Скорости.* Что касается значенія средней скорости v всего живаго сѣченія, то оно опредѣляется или: 1) по эмпирическимъ формуламъ, выражающимъ зависимость между среднею скоростью, живымъ сѣченіемъ, уклономъ и подводнымъ периметромъ, 2) по эмпирическимъ формуламъ, представляющимъ зависимость между среднею скоростью всего сѣчешія и наибольшею скоростью на поверхности, опредѣляемой иепосредствеппыми измѣреніями, или же: 3) значеніе v опредѣляется по формулѣ:

$$v = \frac{v_0\omega_0 + v_1\omega_1 + \ldots}{\omega}.$$

Значенія частныхъ среднихъ скоростей v_0, v_1, v_2, . . . опредѣляются на основаніи эмпирическихъ формулъ, выражающихъ зависимость между наблюдаемою на поверхности и среднею скоростью той же вертикали, или помощью измѣренія скорости на извѣстной глубинѣ, выбранной такимъ образомъ, чтобы соотвѣтственная скорость совпадала довольно близко со среднею скоростью данной вертикали, или непосредственными измѣреніями скорости въ части живого сѣченія между двумя вертикальными линіями при помощи особаго рода поплавковъ.

Приведемъ наиболѣе употребительныя эмпирическія формулы, выражающія скорость въ метрахъ при единицѣ времени равной 1 сек.

I) *Эмпирическія формулы, выражающія зависимость между среднею скоростью v всего сѣченія, живымъ сѣченіемъ ω, подводнымъ периметромъ p и уклономъ i (всѣ мѣры въ метрахъ).*

Если средній радіусъ $\frac{\omega}{p} = R$, то:

а) По Гоп'у:

$$R \,.\, i = av^2 + bv \,.$$

гдѣ

$$a = 0{,}00030931;\ b = 0{,}00004445,$$

откуда:

$$v = \sqrt{0{,}005162 + 3233\ Ri} - 0{,}07185 \text{ метра.}$$

б) По Eytelwein'y: $v = 50{,}93\ \sqrt{Ri}$

формула, дающая лишь приблизительное значеніе, такъ какъ изслѣдованія Ganguillet и Kutter'a показали, что коэффиціентъ предъ радикаломъ величина перемѣнная.

в) По Weisbach'у:

$$v = \sqrt{\frac{2g}{A}}\ \sqrt{Ri}\,, \text{ гдѣ: } A = 0{,}007409\left(1 + \frac{0{,}05853}{v}\right);$$

такъ, напримѣръ, при $g = 9{,}809$ метр.:

если $v = 0{,}1$ метр. — $A = 0{,}01175$,
$v = 0{,}4$ » — $A = 0{,}00849$,
$v = 0{,}8$ » — $A = 0{,}00795$,
$v = 3{,}0$ » — $A = 0{,}00755$.

г) По Hagen'у:

$$v = \sqrt{0{,}01758 + 4585{,}66\ Ri} - 0{,}01326;$$

$$v = 3{,}34\sqrt{R}\,.\sqrt[5]{i};\ v = 2{,}425\sqrt{R}\,.\sqrt[6]{i}.$$

д) По Humphreys'у и Abbot'у:

$$v = \left[\sqrt{0{,}0025\,m + \sqrt{68{,}62\,c\,.\sqrt{i}}} - 0{,}05\sqrt{m}\right]^2,$$

гдѣ: $m = \dfrac{0{,}933}{\sqrt{R} + 0{,}457}$; $c = \dfrac{\omega}{p + b}$; b—ширина рѣки.

Приблизительно:

$$v = 5{,}87\sqrt{R}\,.\sqrt[4]{i} - 0{,}22\sqrt[8]{i}\,.$$

По Grebenau (изъ формулы Abbot'a):

$$v = 8{,}28972\,.\,\beta\,.\sqrt{c}\,.\sqrt[4]{i}\,,$$

гдѣ: $c = \dfrac{\omega}{p + b}$ и β—перемѣнный коэффиціентъ,

при ω до 1 квадр. метръ . . . . . $\beta = 0{,}8543$,
» ω отъ 1 до 5 » » . . . . . $\beta = 0{,}8796$,
» ω отъ 5 до 10 » » . . . . . $\beta = 0{,}8890$,
» ω отъ 20 до 400 » » . . . . . $\beta = 0{,}9223$,
» ω — свыше 400 кв. метр. . . . $\beta = 0{,}9359$.

Для широкихъ рѣкъ: $b = p$; тогда:

$$c = \frac{\omega}{2p} = \frac{R}{2};$$

$$v = 8{,}29\,.\,\beta\sqrt{\frac{R}{2}}\ \sqrt[4]{i},$$

или:

$$v = 5{,}86\,.\,\beta\sqrt{R\,.\sqrt{i}}\,.$$

е) По Bazin'у для земляного ложа рѣки:

$$\frac{Ri}{v^2} = 0{,}00028\left(1 + \frac{1{,}25}{R}\right).$$

ж) По Gauckler'у:

$$\sqrt{v} = \alpha \sqrt[3]{R} \cdot \sqrt[4]{i} \text{ — для } i > 0{,}0007;$$

$$\sqrt[4]{v} = \beta \sqrt[3]{R} \cdot \sqrt[4]{i} \text{ — для } i < 0{,}0007;$$

гдѣ $\alpha = 5{,}0 - 5{,}7$; $\beta = 6{,}4 - 7{,}0$.

з) По *Шези:*

$$v = c\sqrt{Ri},$$

въ которой по Дарси-Базену (въ метрахъ):

1) для очень гладкихъ стѣнокъ (притертый цементъ, выстроганныя доски):

$$\frac{1}{c^2} = 0{,}00015\left(1 + \frac{0{,}03}{R}\right);$$

2) для гладкихъ стѣнокъ (тесовый камень, доски):

$$\frac{1}{c^2} = 0{,}00019\left(1 + \frac{0{,}07}{R}\right);$$

3) для мало-сглаженныхъ стѣнокъ (бутовая кладка)

$$\frac{1}{c^2} = 0{,}00024\left(1 + \frac{0{,}25}{R}\right);$$

4) для земляныхъ стѣнокъ:

$$\frac{1}{c^2} = 0{,}00028\left(1 + \frac{1{,}25}{R}\right).$$

и) По Ganguillet и Kutter'у:

$$v = c \cdot \sqrt{R \cdot i} \quad . \quad . \quad . \quad (\alpha),$$

гдѣ

$$c = \frac{23 + \frac{1}{n} + \frac{0{,}00155}{i}}{1 + \left(23 + \frac{0{,}00155}{i}\right)\frac{n}{\sqrt{R}}},$$

при чемъ: $n = 0.025 - 0.030$.

Формулы Humphreys'a и Abbot'a, Ganguillet и Kutter'a считаются въ настоящее время наиболѣе достовѣрными.

Замѣтимъ, что значеніе входящаго въ формулу Kutter'a коэффиціента n *)

---

*) Выпишемъ значенія коэффиціента n — въ зависимости отъ степени шероховатости омываемаго периметра:

1) для очень гладкихъ стѣнокъ (тщательно выстроганное дерево, притертый цементъ) 0,010
2) для стѣнокъ досчатыхъ 0,012
3) для стѣнокъ изъ тесанаго камня, или кирпича со тщательно расшитыми швами 0,013
4) для стѣнокъ изъ бутоваго камня 0,017
5) для земляного русла 0,025
6) для ручьевъ съ крупнымъ гравелистымъ грунтомъ и съ зарослями 0,030

можно для каждой данной рѣки непосредственно опредѣлить, пользуясь той же формулой, при условіи, что скорость будетъ опредѣлена измѣреніемъ, предполагая, кромѣ того, что значенія R и i—извѣстны *).

Часто пользуются болѣе упрощенной формулой Ganguillet, вида:

$$v^{мет.} = \frac{\alpha}{1 + \frac{\beta}{\sqrt{R}}} \cdot \sqrt{Ri},$$

причемъ α и β имѣютъ слѣдующія значенія для различныхъ уклоновъ и для значеній:

$$n = 0{,}025 \text{ и } n = 0{,}03:$$

i	Дл. $n = 0{,}025$.		Дл. $n = 0{,}03$.	
	α	β	α	β
0,000001	1613,0	39,325	1606,3	47,190
0,000010	218,0	4,450	211,3	5,340
0,00005	94,0	1,350	87,3	1,620
0,00010	78,5	0,962	71,8	1,155
0,00015	73,3	0,833	66,7	1,000
0,0002	70,7	0,769	64,1	0,922
0,0005	66,1	0,652	59,4	0,783
0,0010	64,55	0,614	57,88	0,736
0,0020	63,77	0,594	57,10	0,713
0,0050	63,31	0,583	56,64	0,699
0,008	63,19	0,580	56,52	0,696
0,010	63,15	0,579	56,48	0,694
0,02	63,08	0,577	56,41	0,692
0,03	63,05	0,576	56,38	0,691
0,05	63,03	0,576	56,36	0,691
∞	63,00	0,575	56,33	0,690

Примѣненіе указанныхъ формулъ возможно, если живое сѣченіе имѣетъ правильное однообразное очертаніе; въ противномъ случаѣ, напр. когда рѣка имѣетъ широкій разливъ неремѣнной и разнообразной глубины, необходимо живое сѣченіе разбить по ширинѣ на нѣсколько частей болѣе или менѣе правильнаго очертанія, и для каждой части опредѣлить соотвѣтственную скорость.

II) *Эмпирическія формулы, выражающія зависимость между наибольшею скоростью на поверхности тах. v_0 и между среднею скоростью всего сѣченія v, а также между среднею скоростью $v_{\frac{r}{2}}$, измѣренной на половинѣ глубины нѣсколькихъ вертикалей, и между среднею скоростью v всего сѣченія.*

а) По Weisbach'у въ каждой вертикали живого сѣченія средняя скорость составляетъ 0,915 отъ соотвѣтствующей скорости на поверхности, а средняя скорость

*) Если v и R выражены въ саженяхъ, то видъ формулы Ganguillet и Kutter'a:

$$v^{саж.} = \frac{23 + \frac{1}{n} + 0{,}00155}{1{,}4607 + \left(23 + \frac{0{,}00155}{i}\right)\frac{n}{\sqrt{R}}} \cdot \sqrt{Ri} \cdot$$

на поверхности составляетъ 0,915 отъ наибольшей скорости на поверхности; такъ что если max v_0 эта наибольшая скорость, то:

$$v = (0{,}915)^2 \; max.\; v_0 = 0{,}837 \; max.\; v_0 .$$

б) По Hagen'у средняя скорость составляетъ $^6/_7$ отъ наибольшей скорости на поверхности и находится на $^5/_9$ глубины.

в) По Dubuat:

$$\frac{v}{max.\; v_0} = 0{,}67 \text{ до } 1{,}00 .$$

г) По Prony:

$$\frac{v}{max.\; v_0} = 0{,}8164 \text{ и } \frac{v}{max.\; v_0} = \frac{2{,}372 + max.\; v_0}{3{,}153 + max.\; v_0} ,$$

а для скоростей свыше 1,5 метр. слѣдуетъ взять 0,8 отъ исчисленной величины.

д) По Boileau:

$$\frac{v}{max.\; v_0} = 0{,}82 .$$

е) По Destrem'у для Невы:

$$\frac{v}{max.\; v_0} = 0{,}78 .$$

ж) По Baumgartner'у

$$\frac{v}{max.\; v_0} = 0{,}80 .$$

з) По Brünings'у:

$$\frac{v}{max.\; v_0} = 0{,}72 \text{ до } 0{,}98, \text{ въ среднемъ} — 0{,}85.$$

и) По Bazin'у:

$$v = max.\; v_0 - 14 \sqrt{Ri} \; *).$$

і) Новѣйшія изслѣдованія показали, что *не существуетъ* постоянной зависимости между *наибольшею скоростью на поверхности* и *среднею скоростью всего сѣченія*, но что между среднею скоростью каждой вертикали и скоростью на половинѣ глубины той же вертикали дѣйствительно существуетъ постоянное отношеніе, измѣняющееся отъ 0,34 до 0,48.

Grebenan, на основаніи своихъ изслѣдованій, дополнилъ упомянутый законъ прибавивъ, что это отношеніе не зависитъ отъ глубины и ширины рѣки, не зависитъ также и отъ иоложенія оси кривой скоростей, т. е. отъ неправильностей продольиаго очертаиія диа. Основываясь иа этихъ положеніяхъ, выведены формулы, выражающія зависимость между среднимъ значеніемъ измѣренныхъ скоростей на половинѣ глубины нѣсколькихъ вертикалей, по возможности равноуда-

---

*) Здѣсь, согласно Tiefenbacher'у, указано, что всѣ эти формулы выражаютъ зависимость между *среднею* скоростью всего сѣченія и наибольшею скоростью на поверхности. Слѣдуетъ, впрочемъ, оговориться, что многими тѣ же самыя формулы принимаются за выраженіе зависимости между *среднею* и *наибольшею* скоростью каждой вертикали. Такъ, напримѣръ, формулѣ Prony:

$$\frac{v}{max.\; v_0} = \frac{2{,}372 + max.\; v_0}{3{,}153 + max.\; v_0}$$

Tiefenbacher'омъ (Ermittelung der Durchflussprofile, стр. 74) и Woisbach'омъ (Lehrbnch der Ingenieur- und Maschinen-Mechanik, стр. 828) придано первое значеніе, а въ Handbnch der Ingenienr-Wissenschaften, von Sonne, Dritter Band, стр. 250, формулѣ дано второе значеніе.

леиныхъ, и между среднею скоростью всего сѣченія. Формула Grebenau слѣдующая:

$$v = \left[\sqrt{1{,}08\, v_{\frac{r}{2}} + 0{,}00061\, D} - 0{,}02484\, \sqrt{D}\right]^2,$$

гдѣ:

$$D = \frac{0{,}933}{\sqrt{c + 0{,}457}};$$

$v_{\frac{r}{2}}$ — среднее значеніе скоростей, измѣряемыхъ на *половинѣ* глубины *различныхъ* вертикалей, c — средняя гидравлическая глубина: $\frac{\omega}{p + b}$.

Для малыхъ рѣкъ средняя глубина опредѣляется непосредственными измѣреніями, а для большихъ рѣкъ она можетъ быть опредѣлена по формулѣ: $\frac{\omega}{2p}$.

III) *Эмпирическія формулы, выражающія зависимость между скоростью на поверхности v_o и среднею скоростью каждой вертикали v_n.*

а) По Weisbach'у:

$$v_n = 0{,}915\, v\ .$$

б) По Exner'у:

$$v_n = v_o\, \frac{1 + 0{,}2676\, \sqrt{h}}{1 + 0{,}4014\, \sqrt{h}},$$

гдѣ v_n и v_o — средняя скорость и скорость на поверхности въ каждой вертикали, глубина которой—h.

в) По Hagen'у:

$$v_n = \frac{1}{3}\left(2\, v_o + v_u\right),$$

гдѣ v_u — скорость по дну.

г) По Lahmeyer'у:

$$v_n = 0{,}937\, v_o - 0{,}0252\, v_o\ .$$

IV) *Эмпирическія формулы, выражающія зависимость между скоростью на поверхности v_o каждой вертикали и скоростью на опредѣленной глубинѣ v_x или по дну v_u на той же вертикали.*

а) По Weisbach'у:

$$v_x = \left(1 - 0{,}17\, \frac{h_x}{h}\right) v_o\,,$$

откуда для скорости по дну:

$$v_u = 0{,}83\, v_o\,.$$

Если $v_o = Max.\ v_o$, то *средняя скорость всего сѣченія* по Weisbach'у $v = 0{,}837\ max.\ v_o$; слѣд. она совпадаетъ довольно близко *со скоростью по дну* $v_u = 0{,}83\, v_o$ *вертикали, соотвѣтствующей наибольшей скорости на поверхности.*

б) По Molesworth'у, если v_o — скорость на поверхности *въ дюймахъ въ секунду*, то скорость по дну:

$$v_u = (v_o + 1) - 2\, \sqrt{v_o}\,,$$

средняя скорость вертикали:

$$v_n = (v_o + 0{,}5) - \sqrt{v_o}$$

или приблизительно $= 0{,}8\, v_o$.

По этимъ формуламъ составлена слѣдующая таблица скоростей въ каждой вертикали:

Скорость на поверхности.	Скорость по дну.	Средняя скорость.	Скорость на поверхности.	Скорость по дну.	Средняя скорость.	Скорость на поверхности.	Скорость по дну.	Средняя скорость.
дюйм.	дюймы.	дюймы.	дюйм.	дюймы.	дюймы.	дюйм.	дюймы.	дюймы.
4	1	2,5	36	25	30,5	68	52,5	60,2
8	3,3	5,6	40	28,3	34,1	72	56,0	64,0
12	6	9	44	31,7	37,8	76	59,5	67,7
16	9	12,5	48	35,1	41,5	80	63,1	71,5
20	12	16	52	38,5	45,2	84	66,6	75,3
24	15	19,5	56	42	49	88	70,2	79,1
28	18,4	23,2	60	45,5	52,7	92	73,7	82,8
32	21,6	26,8	64	49	56,5	100	81,0	90,5

в) По Humphreys'y и Abbot'y:

$$v_x = v_o - \sqrt{0{,}1856\, v_x} \left(\frac{h_x}{h} \right)^2 .$$

г) По Hagen'y:

$$v_x = v_u + \sqrt{\left(\frac{v_o - v_u}{h} \right) h_x} \, .$$

д) По Lahmeyer'y:

$$v_x = \left[h - (0{,}1383 + 0{,}0469\, h)\, h_x \right] \frac{v_n}{h} \, ,$$

гдѣ v_n — средняя скорость вертикали; для скорости по дну онъ даетъ формулу:

$$v_u = (0{,}8617 - 0{,}0469\, h) \, . \, v_n \, .$$

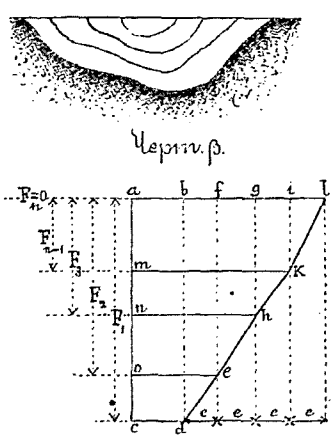


Рис. 242 и 243.

(Эта формула имѣетъ повидимому только ограниченное примѣненіе, для значеній h, измѣняющихся въ опредѣленныхъ предѣлахъ).

Упомянемъ еще о предложенномъ Кульманомъ способѣ опредѣлять расходъ помощью изотахій, т. е. помощью кривыхъ, показывающихъ расположеніе въ живомъ сѣченіи струекъ, имѣющихъ равныя скорости (рис. 242).

Объемъ воды, протекающей въ единицу времени чрезъ все живое сѣченіе, получится, если изъ каждой точки живого сѣченія возставить перпендикуляръ, отложить на немъ соотвѣтственную скорость и затѣмъ всѣ вершины ординатъ ограничить поверхностью.

Пусть рис. 243 представляетъ вертикальный продольный разрѣзъ этого объема, при чемъ: al, mk, nh, oe и cd—скорости на различной глубинѣ, выбранной такимъ образомъ, что разность скоростей въ двухъ смежныхъ слояхъ—величина постоянная; cd — скорость по дну. Объемъ $acdl$ при ширинѣ, равной единицѣ, и въ предположеніи, что въ предѣлахъ этой ширины изотахіи — горизонтальныя линіи, можетъ быть

разбить на слѣдующія составныя части: $abcd$, $bfed$, $fghe$ и т. д. Слѣдовательно упомянутый объемъ равенъ:

$$v = ac \times cd + \frac{(bd + ef)}{2} \cdot e + \frac{(fe + gh)}{2} \cdot e + \frac{(gh + ik)}{2} \cdot e + \frac{ik \cdot e}{2}.$$

Замѣняя теперь площади: $ac \times 1$, $bd \times 1$, $ef \times 1$, $gh \times 1$ и т. д. площадями, ограниченными соотвѣтственной изотахіей и горизонтальной линіей на поверхности воды и называя послѣднія площади черезъ: F_1, F_2.... F_n, а скорость по дну: $cd = v_n$, мы получимъ:

$$v = F_1 \cdot v_n + \frac{(F_1 + F_2)}{2} \cdot e + \frac{(F_2 + F_3)}{2} \cdot e + \ldots + \frac{(F_{n-1} + F_n)}{2} \cdot e,$$

при чемъ: $F_n = 0$). или:

$$v = F_1 \cdot v_n + e\left(\frac{F_1}{2} + F_2 + F_3 + \ldots + F_{n-1} + \frac{F_n}{2}\right) = F_1 \cdot v_n + e\left[\sum (F) - \left(\frac{F_1 + F_n}{2}\right)\right].$$

Если пренебречь скоростью по дну, то:

$$v = e\left[\sum (F) - \left(\frac{F_1 + F_n}{2}\right)\right].$$

Площади отдѣльныхъ изотахій опредѣляются планиметромъ.

Д) *Непосредственное измѣреніе скорости.* Смотря по тому, измѣряется ли: 1) скорость на поверхности, 2) на извѣстной глубинѣ, или 3) средняя скорость вертикали—употребляются три системы приборовъ.

1, а) Поплавки, состоящіе изъ жестяныхъ шаровъ отъ 4 до 12 дюймовъ въ діаметрѣ. [Очень тяжелые поплавки, какъ напримѣръ лодка и проч., дадутъ невѣрныя данныя, въ виду способности ихъ перемѣщаться быстрѣе воды]. Если замѣтить время, въ теченіе котораго поплавокъ проплылъ извѣстное разстояніе, то можно опредѣлить соотвѣтствующую скорость. Чѣмъ длиннѣе путь, пройденный поплавкомъ, тѣмъ точнѣе результатъ. Для болѣе точнаго опредѣленія пройденнаго разстоянія, слѣдуетъ пользоваться мензулой или какимъ либо угломѣрнымъ инструментомъ. Для сего выбираютъ по возможности прямой участокъ рѣки, близъ предполагаемаго моста, разбиваютъ на берегу базу и провѣшиваютъ въ перпендикулярномъ направленіи къ базѣ три или болѣе профиля A, B, C въ разстояніи отъ 35 до 40 саж. одинъ отъ другого. Установивъ на берегу вѣхи AA', BB' и CC' (рис. 244), по направленію перпендикулярному къ базѣ, наблюдатель съ инструментомъ помѣщается въ какой либо точкѣ D—базы и слѣдитъ инструментомъ за перемѣщеніемъ поплавка (а). Наблюдатель въ лодкѣ заѣзжаетъ выше профили A и выпускаетъ поплавокъ. Другіе наблюдатели становятся съ часами въ A, B и C и замѣчаютъ время прохода поплавка чрезъ створы AA', BB' и CC'; въ то же время они даютъ сигналъ,

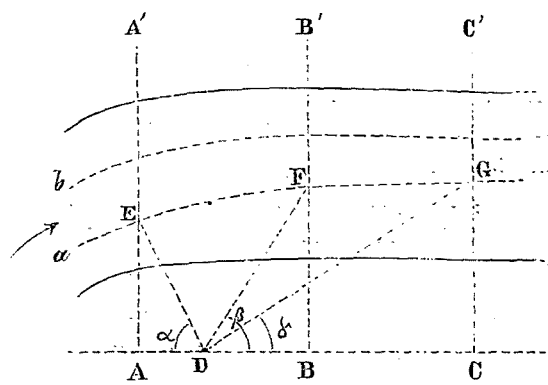


Рис. 244.

чтобы наблюдатель въ D снялъ углы α, β и γ. Зная эти углы и величины AD, DB и DC, — легко найти ED, DF, DG, а по нимъ и EF, FG. Подобныя же наблюденія дѣлаютъ съ поплавкомъ b и т. д.

1, б) Деревянный плоскій досчатый треугольникъ отъ 7 до 8 дюймовъ въ сторонѣ. Къ вершинамъ привязываются три короткихъ шнурка, соединенныхъ съ длиннымъ шнуромъ, на которомъ навязаны узлы чрезъ опредѣленные равные промежутки. Бросивъ дощечку въ воду съ неподвижной лодки или съ моста, держатъ въ рукѣ веревку за первый узелъ. Дождавшись, пока веревка получитъ достаточную натянутость, опускаютъ ее и замѣчаютъ время. По прошествіи 30—60 секундъ задерживаютъ поплавокъ за веревку и опредѣляютъ по числу узловъ путь, пройденный поплавкомъ. Способъ этотъ не обладаетъ, конечно, особенною точностью.

2, а) Поплавокъ для измѣренія скорости на опредѣленной глубинѣ состоитъ изъ пустого жестяного шара діаметромъ отъ 4—12 дюймовъ, на столько наполненнаго грузомъ, чтобы онъ могъ опуститься въ воду. Къ поплавку помощью цѣпи привязанъ значекъ, плавающій на поверхности воды. Установивъ двѣ или болѣе поперечныя визириыя линіи на разстояніи около 3-хъ минутъ хода поплавка одну отъ другой, бросаютъ поплавокъ впереди первой визирной линіи и поступаютъ, какъ указано въ пунктѣ 1. а. Этотъ способъ почти исключительно примѣняется для рѣкъ съ большой глубиной, для которыхъ вертушка Вольтмана и трубки Пито и проч. непримѣнимы.

Humphreys и Abbot при своихъ изслѣдованіяхъ надъ движеніемъ воды рѣки Миссисипи пользовались такимъ же понлавкомъ, состоявшимъ изъ обыкновенной бутылки, въ которую всыпалось столько дроби, чтобы она опускалась въ воду. Верхнимъ значкомъ служилъ пробковый кружокъ толщиною 3 дюйма, діаметромъ 8 дюймовъ. Верхній поплавокъ погружался на половину своей высоты; длина соединительной цѣпи соотвѣтствовала глубинѣ, на которой желали опредѣлить скорость. Обѣ визириыя линіи были установлены на разстояніи 25 саженъ одна отъ другой. Положеніе поплавка въ моментъ прохода опредѣлялось помощью теодолитовъ, установленныхъ на обѣихъ визирныхъ линіяхъ. Въ моментъ прохода поплавка чрезъ первую визирную линію первый наблюдатель давалъ знакъ второму, и этотъ послѣдній, слѣдя трубой за поплавкомъ, опредѣлялъ уголъ, который составлялъ въ этотъ моментъ поплавокъ съ базой. Помощью этого угла и длины базы можно было опредѣлить разстояніе понлавка отъ базы, измѣряемое по линіи створа. То же, сдѣлаиное въ моментъ прохода черезъ второй створъ, давало возможность опредѣлить разстояніе поплавка отъ базы при проходѣ второй визирной линіи, а затѣмъ можно было опредѣлить и путь, пройденный поплавкомъ.

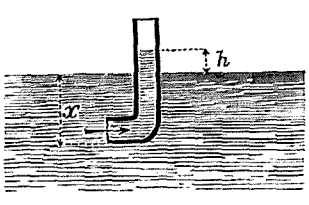


Рис. 245.

b) *Трубка Пито* (рис. 245). Если h — высота столба воды въ трубкѣ надъ горизонтомъ воды, скорость на глубинѣ x опредѣлится по формулѣ:

$$v_x = \mu \sqrt{2gh \cdot \frac{f_2}{f_1}},$$

гдѣ f_2—площадь вертикальнаго колѣна трубки; f_1—площадь входиаго отверстія; μ—коэффиціентъ, опредѣленный для каждаго инструмента изъ сравненія скоростей, опредѣленныхъ различными способами.

c) *Трубка Дарси*. Если разность горизонта въ двухъ трубкахъ h_1—h_2, иско-

мая скорость:

$$v_x = \mu \sqrt{h_1 - h_2},$$

гдѣ μ—коэффиціентъ, опредѣленный изъ опыта для каждаго инструмента.

d) *Вертушка Вольтмана.* Скорость опредѣляется по формулѣ Sasse:

$$v_x = \frac{1}{2} \cdot \frac{p}{t^2}\left(n \pm \sqrt{n^2 + \frac{4t^2}{p^2}}\right),$$

гдѣ n наблюдаемое число оборотовъ въ 1 сек.; t — продолжительность прохода пробнаго разстоянія протяженіемъ 1 метр., при чемъ крылья только что начинаютъ вращаться; t_1—продолжительность прохода того же разстоянія съ другой скоростью при соотвѣтственномъ числѣ оборотовъ — n_1; величина же p опредѣляется изъ:

$$t_1^2 = t^2 - pn_1.$$

Другая болѣе простая формула:

$$v_1 = \alpha + \beta \cdot n$$

гдѣ n—число оборотовъ. Коэффиціенты α и β должны быть опредѣлены рядомъ наблюденій для различныхъ скоростей, для чего выбираютъ гдѣ нибудь прудъ, со стоячей водой, около 10 — 15 саж. длины, устраиваютъ козлы съ проходомъ между ними и, опустивъ вертушку въ воду, перемѣщаются по доскамъ съ разною скоростью, замѣчая пройденное пространство s, время — t и число оборотовъ n, при чемъ $v = \frac{s}{t}$. Обыкновенно коэффиціенты α и β опредѣляютъ для извѣстной группы скоростей отъ 1 ф. до 3 ф. въ секунду, отъ 3 ф. до 5 ф. и т. д. и получаются различныя значенія. При наблюденіяхъ слѣдуетъ пользоваться коэффиціентами соотвѣтствениой группы, указаніемъ чему можетъ служить замѣчаемое число оборотовъ.

Измѣривъ тѣмъ или инымъ путемъ нѣсколько скоростей на различныхъ глубинахъ одной и той же вертикали, вычерчиваютъ въ большомъ маснтабѣ по ординатамъ кривую этихъ скоростей и опредѣляютъ площадь, ограниченную осью абсциссъ (глубина рѣки), кривою и двумя крайними ординатами. Раздѣливъ эту площадь иа глубину рѣки, получимъ искомую среднюю скорость вертикали. Для сокращенія работы можно ограничиться измѣреніемъ скорости поплавка, опущеннаго на такую глубину, дѣйствительная скорость которой совпадаетъ съ среднею скоростью вертикали. По Humphreys'у эта глубина находится на 0,66 всей глубины; по Hagen'у—этотъ коэффиціеитъ 0,5555, а по Heinemann'у—0,577.

3) *Поплавокъ Кабео* состоитъ изъ пустотѣлаго металлическаго цилиндра, нѣсколько длиннѣе глубины рѣки; онъ наполняется настолько дробью, чтобы опуститься на опредѣленную глубину нлн до дна, не касаясь его однако. Пріемы наблюденія тѣ же, какъ и съ обыкновеннымъ поплавкомъ.

Указавъ различные способы и пріемы опредѣленія скоростей, можемъ уже *вычислить расходъ* по одной изъ трехъ слѣдующихъ формулъ:

$$Q = \omega \cdot v;$$

$$Q = \omega_0 v_0 + \omega_1 v_1 + \omega_2 v_2 + \ldots;$$

$$Q = \Sigma \omega_0 v_0 + \Sigma \omega_1 v_1 + \Sigma \omega_2 v_2 + \ldots = \omega_0' v_0' + \omega_0'' v_0'' + \ldots +$$
$$+ \omega_1' v_1' + \omega_1'' v_1'' + \ldots,$$

гдѣ ω—площадь всего живаго сѣченія; v — средняя скорость всего сѣченія; ω_0, ω_1, ω_2, . . . , v_0, v_1, v_2 . . . частныя площадки всего живого сѣченія и соотвѣтственныя имъ среднія скорости; ω'_0, ω''_0, . . . ω_1, ω''_1 . . . частныя площадки, на которыя разбиты элементы ω_0, ω_1, . . . , av'_0, v''_0, . . , v'_1, v''_1, . . , соотвѣтственныя имъ скорости.

Если на данной рѣкѣ имѣется мостъ, устроенный выше или ниже по теченію, то, наблюдая выше моста подпоръ во время высокихъ водъ, можно опредѣлить расходъ по нижеслѣдующей формулѣ. Пусть (рис. 246) ширина съуженной части живого сѣченія (между опорами) — b; высота подпора — h; глубина воды ниже устоя — a. Тогда количество воды, протекающей слоемъ h:

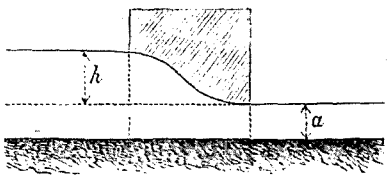


Рис. 246.

$$Q_1 = \frac{2}{3}\mu b\sqrt{2gh^3};$$

количество воды, протекающей слоемъ a:

$$Q_2 = \mu ba\sqrt{2gh}.$$

Итого: $$Q = Q_1 + Q_2 = \mu b\sqrt{2gh}\left(\frac{2}{3}h + a\right)\ ^{*)}.$$

Если подпоръ h не великъ и скорость протекающей воды довольно значительна, то, называя чрезъ k высоту, соотвѣтствующую этой скорости:

$$Q_1 = \frac{2}{3}\mu b\sqrt{2g}\left[(h+k)^{\frac{3}{2}} - k^{\frac{3}{2}}\right]; Q_2 = \mu ba\sqrt{2g}\,(h+k)\ ;$$

$$Q = \mu b\sqrt{2g}\left\{\frac{2}{3}\left[(h+k)^{\frac{3}{2}} - k^{\frac{3}{2}}\right] + a(h+k)^{\frac{1}{2}}\right\}\ ^{*)},$$

Опредѣливъ тѣмъ или другимъ путемъ Q для извѣстнаго мѣста рѣки, найдемъ величину расхода для даннаго сѣченія, прибавивъ или отнявъ отъ исчисленнаго Q то количество воды, которое доставляется рѣкѣ притоками, расположенными между даннымъ сѣченіемъ рѣки и тѣмъ, для котораго былъ опредѣленъ расходъ.

Что касается точности расчета расхода, опредѣленнаго по формуламъ:

$$Q = \omega v = \Sigma\omega_n \,.\, v_n \,.\, ,$$

то это будетъ зависѣть отъ болѣе или менѣе точнаго значенія скоростей. Формулы группы (I), т. е. выражающія зависимость между среднею скоростью всего живого сѣченія, между уклономъ и подводнымъ радіусомъ, могутъ служить только для приблизительнаго опредѣленія v, такъ какъ во многихъ рѣкахъ отношеніе $\frac{\omega}{p}$ значительно измѣняется для сѣченій рѣки, взятыхъ на довольно близкихъ разстояніяхъ другъ отъ друга, а также и потому, что упомянутыя формулы даютъ величину v независимо отъ очертанія рѣки въ планѣ, между тѣмъ какъ извѣстно, что значительная кривизна рѣки можетъ уменьшить среднюю скорость на $10^0/_0$ или $15^0/_0$.

Въ виду сего для опредѣленія расхода воды выбираютъ участокъ рѣки по возможности правильнаго очертанія въ прямой и наиболѣе узкой части, такъ

*) Выводъ этихъ формулъ приведенъ въ главѣ объ опредѣленіи отверстій открытыхъ мостиковъ.

чтобы живое сѣченіе не было растянуто на большомъ протяженіи *). На закругленіяхъ уклоны, опредѣленные на выпуклой или вогнутой части, неодинаковы, и, слѣдовательно, во избѣжаніе невѣрныхъ данныхъ, такіе участки слѣдуетъ исключить.

Всѣ вышеприведенные *пріемы* измѣренія скоростей и эмпирическія *формулы* примѣняются, какъ къ *высокимъ меженнимъ*, такъ и къ *низкимъ* водамъ. Къ сожалѣнію въ очень рѣдкихъ случаяхъ оказывается возможнымъ *измѣрять скорости* при *наивысшемъ* горизонтѣ, такъ какъ рѣдко время наблюденій сооотвѣтствуетъ наивысшему стоянію горизонтовъ. Эти скорости почти всегда приходится *опредѣлять расчетомъ*, пользуясь группой (I) эмпирическихъ формулъ; тѣмъ не менѣе *измѣренія* скоростей при *другихъ горизонтахъ* необходимы, какъ для провѣрки пригодности той или другой эмпирической формулы, которыми имѣется въ виду воспользоваться, такъ и для того, чтобъ найти, если окажется нужнымъ, соотвѣтственныя характеру данной рѣки, ложа ея и проч. значенія постоянныхъ, входящихъ въ различныя эмпирическія формулы, или, наконецъ, чтобъ получить рядъ измѣренныхъ скоростей и расходовъ при различныхъ горизонтахъ, для составленія по нимъ коэффиціентовъ формулы параболической зависимости расходовъ, о чемъ будетъ сказано ниже.

Во всѣхъ этихъ случаяхъ при опредѣленіи средней скорости при какомъ либо горизоитѣ воды рѣдко есть возможность *измѣрить* скорости на извѣстной *глубинѣ*, чтобы по нимъ, напр. по формулѣ Grebenau (группа II) вычислить среднюю скорость: приходится находить среднюю скорость расчетомъ, пользуясь измѣренною скоростью на *поверхности*. Если время позволяетъ, то вмѣсто того, чтобы измѣрить наибольшую при данномъ горизонтѣ скорость на поверхности и по ней опредѣлить по формуламъ группы (II) среднюю скорость всего сѣченія, а затѣмъ и расходъ по формулѣ:

$$Q = \omega \,.\, v\,,$$

лучше опредѣлить нѣсколько скоростей на поверхности для различныхъ вертикалей и затѣмъ по формуламъ группы (III) найти *среднія* скорости соотвѣтственныхъ вертикалей и вычислить расходъ по формулѣ:

$$Q = \omega_0 v_0 + \omega_1 v_1 + \ldots$$

Если наконецъ окажется невозможнымъ при данномъ горизоитѣ опредѣлить скорость на поверхности, тогда остается лишь опредѣлить паденіе рѣки, живое сѣченіе и подводный периметръ и по одной изъ эмпирическихъ формулъ группы (I) найти соотвѣтственную среднюю скорость всего сѣченія, а затѣмъ опредѣлить расходъ по формулѣ:

$$Q = \omega \,.\, v \quad \text{или} \quad Q = \Sigma \omega_n v_n\,.$$

Чѣмъ меньше уклонъ, тѣмъ точнѣе долженъ быть онъ опредѣленъ.

Нерѣдко расходъ рѣки при любомъ горизонтѣ опредѣляютъ, пользуясь формулой *параболической зависимости* расходовъ отъ отмѣтки горизонта воды. Предполагая, что расходъ въ рѣкѣ измѣняется въ зависимости отъ положенія горизонта по закону параболы, опредѣляютъ значеніе параметра, пользуясь цѣлымъ

*) Если избранное мѣстоположеніе моста не предотавляетъ вышесказанныхъ уеловій, и такъ какъ для другихъ цѣлей во всякомъ случаѣ необходимо знать очертаніе живого сѣченія въ мѣстѣ перехода рѣки, а также и распредѣленіе скоростей по разливу,—то полученный при этомъ расходъ можетъ быть провѣренъ опредѣленіемъ расхода въ ближайшемъ участкѣ рѣки съ правильнымъ очертаніемъ и пр.

рядомъ измѣренныхъ соотношеній между различными положеніями горизонта и соотвѣтственными значеніями расхода. Видъ этой формулы:

$$Q = \left(\frac{y - b}{p}\right)^2,$$

гдѣ Q — расходъ, соотвѣтствующій отмѣткѣ y надъ условнымъ уровнемъ; b — ордината вершины параболы, т. е. отмѣтка дна рѣки, при которой $Q = 0$; p — параметръ. Для опредѣленія двухъ неизвѣстныхъ b и p необходимо имѣть два измѣренныхъ расхода для двухъ какихъ либо горизонтовъ. Чѣмъ больше имѣется подобныхъ соотношеній, тѣмъ точнѣе будутъ опредѣлены коэффиціенты.

Опредѣливъ наименьшій и наибольшій расходъ рѣки по одному изъ вышеуказанныхъ способовъ, можно для контроля воспользоваться еще слѣдующими данными Ламейера, впрочемъ, весьма приблизительными. Для низкаго горизонта на каждую квадратную милю бассейна приходится:

а) въ гористой мѣстности, вблизи источниковъ отъ . $5^1/_2$ до 6 куб. фут.
б) въ холмистой мѣстности . . . . . $4^1/_2$ » »
в) въ ровной мѣстности . . . . . 4 » »

Если рѣка протекаетъ по песчаному грунту, то расходъ уменьшится въ холмистой мѣстности до 3 куб. фут., а въ ровной—до $2^1/_2$ куб. фут.

Для высокаго горизонта на квадратную милю бассейна слѣдуетъ считать:

а) въ очень гористой мѣстности . . . . . 600—700 куб. фут.
б) въ менѣе » » . . . . . 450—550 » »
в) въ холмистой мѣстности . . . . . 350—400 » »
г) въ ровной мѣстности . . . . . 250—300 » »

Такъ какъ наибольшій расходъ въ рѣкахъ наблюдается не во время ливней, а при таяніи снѣга, то Бломъ пытался вывести зависимость между расходомъ въ рѣкѣ весною — M и зимою — m, между продолжительностью непрерывныхъ морозовъ — D и продолжительностью весенняго разлива — T, при чемъ предлагаетъ формулу:

$$M = \frac{2 \cdot D \cdot m}{T},$$

выведенную въ томъ предположеніи, что изъ всего количества снѣга, выпадающаго во время морозовъ на данный бассейнъ, $^2/_3$ количества уносятся рѣкой во время половодья, и $^1/_3$ количества остается въ мѣстныхъ углубленіяхъ и проч., при чемъ это послѣднее количество, по его мнѣнію, соотвѣтствуетъ расходу рѣки во время морозовъ. Справедливость этихъ предположеній ничѣмъ не доказана, и поэтому едва ли можно довѣрять вышеприведенной формулѣ.

Вообще же наибольшее количество снѣговыхъ водъ наступаетъ: 1) когда въ теченіе непрерывнаго холоднаго времени (морозовъ) выпало значительное количество снѣга; 2) когда снѣгъ равномѣрно распредѣленъ по всей поверхности бассейна, представляя этимъ самыя выгодныя условія для таянія; 3) когда почва при наступленіи морозовъ была насыщена водой и 4) когда имѣетъ мѣсто дружное таяніе снѣга, сопровождаемое дождями.

Между наибольшимъ и наименьшимъ расходомъ воды нѣтъ опредѣленной зависимости, и существующіе примѣры показываютъ крайнее разнообразіе. Для Везера это отношеніе 70 : 1; для Эльбы 134 : 1; для Миссисипи у Чарлстоуна 4,7 : 1; для той же рѣки у Колумбіи 11 : 1; для Днѣпра у Кіева: 30 : 1.

Опредѣленіе расхода воды малыхъ ручейковъ и въ долинахъ средней величины, въ зависимости отъ ливней.

Для опредѣленія *расхода* воды ручейковъ при *низкомъ горизонтѣ* достаточно поставить поперекъ живого сѣченія какой либо щитъ или плотину и по толщинѣ переливающагося слоя найти расходъ по формулѣ:

$$Q = \frac{2}{3}\mu b \sqrt{2g}\left[\left(h + \frac{v^2}{2g}\right)^{\frac{3}{2}} - \left(\frac{v^2}{2g}\right)^{\frac{3}{2}}\right],$$

гдѣ $\mu = 0{,}65 - 0{,}68$; b — ширина водослива; h — высота подпертаго горизонта воды надъ порогомъ водослива; v — скорость притекающей воды.

Наибольшій расходъ воды въ малыхъ ручейкахъ и въ долинахъ незначительной площади, до 30 квадратныхъ верстъ, находится въ прямой зависимости отъ ливней. Расходъ, зависящій отъ таянія снѣга, здѣсь не слѣдуетъ принимать во вниманіе, такъ какъ *при малыхъ бассейнахъ наибольшій расходъ бываетъ во время ливней*, между тѣмъ какъ въ *рѣкахъ съ большими бассейнами наибольшій расходъ* наблюдается *при таяніи снѣга*. Одновременное совпаденіе обѣихъ причинъ едва ли можетъ имѣть мѣсто, по крайней мѣрѣ въ нашемъ климатѣ.

Количество дождевой воды, притекающей въ единицу времени къ данному искусственному сооруженію, зависитъ не только отъ количества дождя, выпавшаго въ единицу времени на всю площадь бассейна, но также отъ свойствъ почвы, т. е. отъ способности поглощенія, отъ рода и характера растительности, отъ очертанія бассейна въ планѣ, отъ продольной и поперечной профили его, отъ расположенія его относительно странъ свѣта, отъ продолжительности ливня и времени, потребнаго для достиженія искусственнаго сооруженія частицей воды, выпавшей въ наиболѣе отдаленной части бассейна.

Большая часть всѣхъ этихъ данныхъ, къ сожалѣнію, гадательна; достаточно же точно могутъ быть опредѣлены очертаніе бассейна, продольный и поперечный уклоны; менѣе достовѣрны указанія отиосительно силы и продолжительности ливней, если только не имѣется возможности воспользоваться результатами метеорологическихъ наблюденій для разсматриваемой мѣстности.

Вообще данныя отиосительно наибольшаго количества выпадающаго дождя и продолжительности ливня слѣдуетъ брать изъ метеорологическихъ наблюденій, если таковыя имѣются, или пользоваться результатами наблюденій, произведенныхъ для другихъ мѣстностей, находящихся въ болѣе или менѣе одинаковыхъ условіяхъ съ разсматриваемою мѣстностью.

Для средней полосы Европы наибольшее количество дождя, выпадающаго въ теченіе одного часа, составляетъ 4—8 миллиметровъ во время достаточно сильнаго дождя и 24—60 миллиметровъ—во время ливней. Продолжительность дождя, соотвѣтствующаго количеству 4—24 миллиметровъ, около 1—2 часовъ. Ливни же рѣдко продолжаются болѣе $^1/_2$—1 часа. Наблюденія, сдѣланныя въ парижской метеорологической обсерваторіи, показали, что въ 1 секунду при самыхъ сильныхъ дождяхъ и буряхъ на поверхность земли выпадаетъ слой воды высотою 0,016 миллиметра.

Кромѣ этого наблюдались въ Парижѣ еще слѣдующіе ливни: продолжительность ливня 17 часовъ, всего выпало: 184 миллиметра, или въ часъ 10,8 миллиметра; продолжительность $^1/_2$ часа, выпало 19 миллиметровъ, или въ часъ 38 миллиметровъ; продолжительность $^1/_6$ часа, выпало 9,6 миллиметра, или въ часъ 57,6 миллиметра.

Согласно Graphische Mittheilungen 1881 г.:

Въ Вервье (во Франціи) выпало въ 18 час. 337,4 мм., или . . . въ часъ 19,9 мм.
Въ Кенигсбергѣ . . . . . » » 55 »
Въ Гудзонѣ . . . . . » » 65 »

Приведемъ еще слѣдующія данныя: Въ Катскиллѣ — въ штатѣ Нью-Іоркъ 26 іюля 1819 г. въ продолженіе $7^1/_2$ часовъ выпало 18 дюймовъ; въ Гибралтарѣ—въ ноябрѣ 1826 г. въ теченіе 25 часовъ—33 дюйма; въ Монпелье 28 сентября 1857 г.—въ теченіе 6 часовъ—4,31 дюйма; въ Парижѣ въ теченіе часа—1,64 дюйма; въ Зальцведелѣ 18 августа 1862 года—въ теченіе $2^3/_4$ часа—2,71 дюйма; въ Гаваннѣ 18 іюля 1854 г.—въ $2^1/_2$ часа—2,48 дюйма; въ Каэннѣ—въ 10 часовъ—11,03 дюйма; въ Виндсвортѣ 12 мая 1859 г. — въ 2 часа—2,04 дюйма; Глочестерѣ 5 іюня

1859 г.—въ $1^1/_2$ часа—1,5 дюйма. Въ Банатѣ 9 сент. 1876 г. въ теченіе 10 мин. выпало 21 мм., въ томъ числѣ въ теченіе 5 мин.—16 мм. = 0,63 д.; въ Краковѣ 5 мая 1890 г.—въ теченіе получаса выпало 41,2 мм. = 1,62 д.; въ Базелѣ 5 авг. 1889 г.—въ теченіе 8 мин. выпало 18,4 мм. что соотвѣтствуетъ часовому расходу въ 138 мм. = 5,43 д. Необходимо однако замѣтить, что подобные сильные ливни продолжаются всегда недолго и захватываютъ сравнительно небольшую площадь.

У насъ въ Россіи, хотя на многихъ метеорологическихъ станціяхъ ведутся наблюденія относительно количества выпавшаго дождя, но, за немногими исключеніями, записываютъ только количество дождя, выпавшаго въ теченіе сутокъ, не указывая на продолжительность ливня,—между тѣмъ какъ для разбираемаго нами вопроса важно знать не общее количество дождя, выпавшаго въ сутки, а главное—продолжительность ливня и его силу.

Что касается абсолютнаго maximum'а дождя, выпавшаго въ сутки въ Россіи, «Петербургская обсерваторія» указываетъ на слѣдующія данныя: въ центральныхъ губерніяхъ—40 миллиметровъ; по сѣвернымъ берегамъ Чернаго моря—60 миллиметровъ; по берегамъ Бѣлаго моря — 60 миллиметровъ; по берегамъ Балтійскаго моря—70 миллиметровъ; въ Поти—100 миллиметровъ.

Ливень, разразившійся въ Орловской, Рязанской и Тульской губерніяхъ 30 іюня 1882 г., былъ одинъ изъ сильныхъ. Такъ, въ селѣ Михайловскомъ Тульской губерніи Чернскаго уѣзда съ 6 часовъ вечера 29 іюня до 3 часовъ утра выпало въ теченіе 9 часовъ 145,5 миллиметра; изъ нихъ въ теченіе 4 часовъ—115 миллиметровъ, или въ часъ 29 миллиметровъ.

По свѣдѣніямъ Тифлисской обсерваторіи ливень 9 сентября (по новому стилю) 1857 года, продолжавшійся 11 минутъ, далъ слой воды въ 15,24 миллиметра, что составляетъ въ часъ слой воды—въ 83 миллиметра.

11 мая 1879 г. въ Елисаветградѣ ливень, продолжавшійся $9^1/_2$ часовъ, далъ всего 122 мм., или въ часъ 12,9 мм.

Составленная инженеромъ Савельевымъ выборка изъ «Лѣтописей Главной Физической Обсерваторіи» за 1877, 79, 80 и 81 года показываетъ, что въ Либавѣ (1879 г.) выпало въ сутки 80,7 мм.; въ Юрьевѣ (79 г.) — 77 мм.; въ Одессѣ (81 г.) — 78,2 мм.; въ Елисаветградѣ (80 г.) — 121,9 мм.; въ Новороссійскѣ (81 г.) — 98,8 мм.; въ Даховскомъ Посадѣ (79 г.) — 129 мм.; въ Поти (77 г.) — 128,9 мм.; въ Ставрополѣ (77 г.) — 107,1 мм.; въ Кутаисѣ (79 г.) — 127 мм.; въ Симбирскѣ (77 г.) — 87,7 мм.; въ Нижне-Тагильскѣ (81 г.) — 61,4 мм.; въ Харьковѣ (81 г.) — 80,5 мм.; въ Некинѣ (79 г.) — 167,8 мм.; въ Хабаровскѣ (80 г.) — 74,2 мм.

Что касается количества, *теряющагося просачиваніемъ*, то это зависитъ вполнѣ отъ напластованія и рода формаціи. При скалистыхъ грунтахъ съ большимъ количествомъ трещинъ и въ мѣловой формаціи вся вода почти проходитъ въ грунтъ. Въ Юрской формаціи въ гранитныхъ породахъ безъ большихъ трещинъ и въ глинистыхъ грунтахъ 30%—40% всего количества теряется въ грунтъ. Чѣмъ болѣе насыщена почва предыдущими дождями, тѣмъ меньшее количество вбираетъ она въ себя при наступленіи ливней и проч. Когда поверхность бассейна покрыта на значительную глубину растительной землей, то обыкновенно принимаютъ, что съ поверхности стекаетъ 75% объема всей выпадающей воды. По Шюблеру необходимо слѣдующее количество воды въ фунтахъ, чтобы насытить 1 кубическій футъ различнаго рода грунтовъ:

Хрящеватый песокъ	27,3 фунта.
Песчапоглинистый грунтъ.	38,8 »

Глинистый	41,4 фунта.
Растительная земля.	48,4 »
Черноземъ.	50,1 »

Количество *испаряющейся* воды неодинаково для различныхъ мѣсяцевъ года. По Hagen'у въ средней полосѣ Европы наименьшее испареніе въ сутки 0,19 линіи, наибольшее достигало 2 линій; въ среднемъ за годъ около 0,736 линіи. Слѣдовательно наибольшее испареніе въ часъ $\frac{2\times 25,4}{24\times 11,66} = 0,19$ миллиметра. Но такъ какъ ливни продолжаются, за нѣкоторыми исключеніями, не болѣе $^1/_2$—1 часа времени съ количествомъ воды до 24—60 миллиметровъ въ часъ, то, очевидно, испареніе, составляющее лишь всего 0,19 миллиметра въ часъ, можно и не брать въ расчетъ.

Но кромѣ просачиванія въ почву еще другія причины, какъ, напримѣръ, состояніе поверхности почвы, очертаніе бассейна и проч., вліяютъ на уменьшеніе отношенія расхода къ количеству выпавшаго дождя. Разсмотрѣвъ всѣ причины въ совокупности, Arago предполагаетъ, что къ искусственному сооруженію притекаетъ $^1/_3$ количества выпавшаго дождя, по Hagen'у — 0,43; по Лесслю — 0,33—0,50; по Köstlin'у это отношеніе измѣняется въ зависимости отъ длины бассейна, а именно отъ 0,58 до 0,062 при длинѣ бассейна отъ 3,5 до 17,5 верстъ.

Приведемъ теперь *тѣ эмпирическія правила и формулы*, которыя были предложены нѣкоторыми инженерами *для исчисленія количества воды, притекающей въ единицу времени съ даннаго бассейна къ опредѣленному его сѣченію*, правила, выведенныя на основаніи вышеупомянутыхъ данныхъ относительно силы и продолжительности ливней.

а) Köstlin взялъ въ основаніе своихъ расчетовъ ливень, наблюдавшійся въ Парижѣ, продолжительностью 10 мин. = $^1/_6$ часа и давшій 9,6 миллиметра или въ секунду: 0,016 миллиметра. Для бассейновъ не длиннѣе полумили (3,5 версты) онъ полагаетъ, что отношеніе расхода къ количеству выпавшаго дождя составляетъ 0,50, а для мѣстностей гористыхъ — 0,58. При вышеуказанномъ условіи предполагается, что продолжительность ливня болѣе времени, потребнаго на притеканіе воды изъ самыхъ отдаленныхъ мѣстъ бассейна къ разсматриваемому сѣченію. Для бассейновъ длиною отъ 3,5 до 7 вер. коэффиціентъ уменьшается до $^3/_8$—$^1/_4$; для бассейновъ длиною отъ 7 до 10,5 вер. коэффиціентъ: $^3/_{16}$, для бассейновъ отъ 10,5 до 14 вер. коэффиціентъ: $^1/_8$, а для бассейновъ длиною отъ 14 до 17,5 вер. коэффиціентъ: $^1/_{16}$. Для промежуточныхъ значеній длины бассейновъ коэффиціенты слѣдуетъ опредѣлять по интерполяціи.

Умножая затѣмъ приведенный выше расходъ въ 0,016 миллиметра на площадь бассейна въ миллиметрахъ и на тотъ, либо другой коэффиціентъ, въ зависимости отъ длины бассейна, получаемъ расходъ воды у искусственнаго сооруженія въ куб. миллим.

Эти же данныя *приведены и въ циркулярѣ министерства 1884 г., № 6167*, съ тѣмъ отличіемъ, что все выражено не въ мм., а въ метрахъ, при чемъ предложена формула: $Q = AFL$, гдѣ Q—расходъ въ куб. метр.; $A = 0,0000\,16$ мет.; F — площадь бассейна въ квадр. метр.; L — вышеуказанный численный коэффиціентъ. Выражая расходъ въ саженяхъ, а площадь бассейна въ кв. верстахъ, будемъ имѣть: $Q = 1,875.F.L$. Продолжительность ливня опредѣлена не менѣе 2 часовъ.

Относительно вышеприведенныхъ коэффиціентовъ Köstlin дѣлаетъ оговорку, что они примѣнимы для гористыхъ мѣстностей съ значительною скоростью по

дну и по скатамъ долинъ; для пологихъ мѣстностей коэффиціентъ долженъ быть уменьшенъ вдвое. Нашимъ Министерствомъ принято, что уклонъ $i = 0{,}005$ составляетъ *предѣлъ*, менѣе котораго уклонъ считается пологимъ. Правильнѣе было бы уменьшать коэффиціенты постепенно, сообразно величинѣ уклона.

б) Tiefenbacher видоизмѣнилъ данныя Köstlin'a, составивъ на основаніи ихъ таблицу, показывающую прямо количество воды, притекающей къ искусственному сооруженію съ каждаго квадратнаго километра, при чемъ количество притекающей воды измѣняется вмѣстѣ съ длиной бассейна. Выражая все въ верстахъ и саженяхъ, получимъ, что:

при длинѣ бассейна:	Количество воды, притекающей къ искусственному сооруженію съ квадратной версты въ 1 секунду куб. саж.
До 4 верстъ	0,824
отъ 4 до 8 верстъ	0,608—0,412
» 8 » 12 »	0,304
» 12 » 16 »	0,206
болѣе 16 »	0,103

Для пологихъ тальвеговъ, т. е. съ уклономъ менѣе 0,005, эти числа должны быть уменьшены на половину.

в) Инженеръ Пушечниковъ, пользуясь наблюденіями, сдѣланными надъ высотою подпора у нѣкоторыхъ искусственныхъ сооруженій Московско-Курской желѣзной дороги, подпора, имѣвшаго мѣсто во время ливня 30 іюня 1882 года, опредѣлилъ расходъ воды въ этихъ искусственныхъ сооруженіяхъ и, сопоставляя полученный такимъ образомъ расходъ съ площадью бассейна, нашелъ извѣстную зависимость. На основаніи этихъ расчетовъ онъ предлагаетъ слѣдующія нормы для опредѣленія расхода воды въ небольшихъ бассейнахъ:

Съ каждой квадратной версты притекаетъ въ 1 секунду:

При площади бассейна.	Въ бассейнахъ съ пологимъ скатомъ.	Въ бассейнахъ съ крутымъ скатомъ.
	кубич. саж.	кубич. саж.
менѣе 5 кв. вер.	0,55	0,70
отъ 5 до 10 „ „	0,50	0,65
„ 10 „ 20 „ „	0,40	0,55
„ 20 „ 30 „ „	0,30	0,45

Сравнимъ эти данныя съ данными Tiefenbacher'a. Хотя Tiefenbacher видоизмѣняетъ коэффиціентъ въ зависимости не отъ площади бассейна, а отъ длины его (что, повидимому, правильнѣе), но такъ какъ съ другой стороны очертанія бассейновъ, за немногими исключеніями, фигуры подобныя, то можно допустить, что площади бассейновъ измѣняются пропорціонально квадратамъ длины, что и слѣдуетъ принять во вниманіе при сравненіи коэффиціентовъ Tiefenbacher'a и Пушечникова. Такъ, напримѣръ, если принять, что при длинѣ бассейна въ 4 версты площадь его—2 кв. версты, что вѣроятно,—то при длинѣ бассейна въ 6 верстъ площадь $2 \cdot \frac{36}{16} = 4{,}50$ и т. д. Составляя подобную таблицу, получимъ:

Длина бассейна.	Площадь.	Притокъ воды въ 1 секунду въ куб. саж.	
		По Tiefenbacher'у.	По Пушечникову.
4 версты.	2	1,643	1,10— 1,40
6 „	4,5	2,295	2,475— 3,150
10 „	12,5	3,800	5,000— 6,875
14 „	24,5	5,047	7,310—11,025

Изъ этого приблизительнаго сравненія слѣдуетъ, что данныя Пушечникова сходятся съ данными Tiefenbacher'a для бассейновъ не свыше 10 квадратныхъ верстъ и что для бассейновъ болѣе этого предѣла коэффиціенты Пушечникова нѣсколько преувеличены. Если при этомъ обратить вниманіе, что изъ 12 наблюдавшихся случаевъ—10 искусственныхъ сооруженій имѣли бассейны менѣе 5 квадратныхъ верстъ, одна труба имѣла бассейнъ въ 11 квадратныхъ верстъ и еще одна—въ 22,5, то для бассейновъ свыше 10 квадратныхъ верстъ имѣлось, повидимому, недостаточное число данныхъ для вывода какого либо средняго значенія.

Въ слѣдующей таблицѣ показаны результаты расчета инженера Пушечникова, при чемъ въ двухъ послѣднихъ графахъ приведенъ исчисленный по предложенному имъ способу *) приходъ къ трубѣ въ предположеніи, что подпоръ достигъ наибольшей величины чрезъ $2^1/_2$ часа и чрезъ 4 часа послѣ начала ливня.

№№ верстъ отъ Москвы.	Родъ сооруженія.	Площадь бассейна въ квадр. верстахъ.	Площадь отверстія сооруженія въ кв. фут.	Высота подпора въ фут.	Расходъ въ трубѣ со всего бассейна въ куб. футахъ.	Расходъ въ трубѣ съ квадратной версты въ кубич. саженяхъ.	Объемъ скопившейся воды въ куб. саж.	Наибольш. приходъ къ трубѣ, предполагая, что max. подпоръ наступитъ чрезъ $2^1/_2$ часа послѣ начала ливня въ кубич. футахъ.	Тоже въ предположеніи, что max. подпора наступитъ чрезъ 4 ч. послѣ начала ливня въ куб. фут.	Наибольшій приходъ съ кв. версты при первомъ предположен. въ куб. саж.	Наибольшій приходъ съ кв. версты при второмъ предположен. въ куб. саж.
266	Чугунная труба	0,58	4,15	18,65	77,00	0,380	1808	135,7	105,2	0,68	0,53
292	„ „	0,50	4,15	17,50	87,56	0,512	1085	118,5	97,8	0,69	0,56
295	„ „	0,56	4,15	15,15	78,00	0,410	780	104,6	90,2	0,55	0,47
297	„ „	1,60	9,62	30,00	242,00	0,45	5042	431,2	329,2	0,66	0,52
298	„ „	0,55	4,15	11,20	73,50	0,40	704	96,5	83,5	0,52	0,45
301	Каменная труба	22,50	147,60	—	2524,00	0,33	10105	—	2765	—	0,36
302	Чугунная труба	0,58	4,15	11,00	73,50	0,39	695	101,1	88,2	0,52	0,45
303	Каменная труба	11,00	111,00	—	1582,00	0,42	4070	—	1679	—	0,45
304	Чугунная труба	4,00	9,62	28,00	240,00	0,775	8937	687	498	0,50	0,37
314	„ „	0,69	4,15	10,00	58,00	0,25	532	80	70	0,34	0,30
319	„ „	4,40	9,62	24,00	247,00	0,164	4320	474	359,0	0,30	0,24
323	„ „	1,89	9,62	14,00	183,00	0,29	2785	295	235	0,45	0,36

г) По Лесслю, если площадь бассейна заключается въ предѣлахъ отъ 1 до 5 квадратныхъ километровъ, или отъ 5 до 10 квадратныхъ километровъ, то наибольшее количество воды, притекающее къ трубѣ въ секунду:

	Для бассейновъ отъ 1 до 5 квадр. километровъ.	Для бассейновъ отъ 5 до 10 квадр. километровъ.
При ровной мѣстности съ квадратн. километра	0,50 куб. метр.	0,30 куб. метра.
При холмистой	1,50 „ „	1,00 „ „
При гористой	2,00 „ „	1,50 „ „

Эти нормы значительно ниже данныхъ Köstlin'a, Tiefenbacher'a и Пушечникова и поэтому едва ли могутъ быть принимаемы въ расчетъ, особенно имѣя въ виду достаточно близкое согласіе нормъ

*) Журналъ Мин. Пут. Сообщ. 1883. Томъ III.

Köstlin'a съ дѣйствительно наблюдавшимся расходомъ въ трубахъ Московско-Курской желѣзной дороги 30 іюня 1882 года.

д) Инженеръ Vodicka *) предлагаетъ нижеуказанную формулу для опредѣленія всего количества воды, протекающей чрезъ данное сѣченіе бассейна отъ начала дождя до окончанія. Зная это количество, легко уже, какъ увидимъ ниже, опредѣлить наибольшій расходъ воды, протекающей въ единицу времени чрезъ опредѣленное сѣченіе бассейна.

Пусть (рис. 246') площадь бассейна F квадратныхъ единицъ; продолжительность дождя — T единицъ времени; сила дождя, опредѣляемая высотою слоя, выпавшаго въ единицу времени — h; тогда все количество дождя, *выпавшаго* на этотъ бассейнъ, можетъ быть изображено площадью:

$$OBGI = F \,.\, h \,.\, T,$$

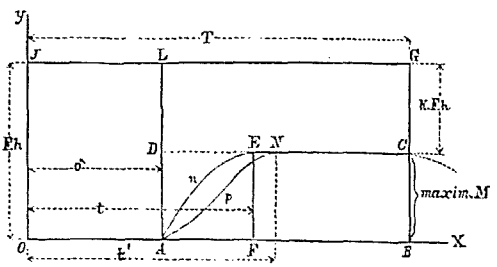


Рис. 246'.

если ординаты представляютъ высоту слоя воды, выпавшей на всю площадь въ каждую единицу времени, а абсциссы — означаютъ время. Въ началѣ дождя, въ теченіе опредѣленнаго времени δ — все выпадающее количество дождя поглощается почвой. Слѣдовательно количество воды, *поглощенной* почвою:

$$OALI = F \,.\, h \,.\, \delta\,.$$

По окончаніи времени δ съ поверхности бассейна начинаетъ стекать дождевая вода, но нѣкоторая часть выпадающаго дождя продолжаетъ быть поглощаемой почвою, при чемъ самое поглощеніе уменьшается, пока, наконецъ, по прошествіи опредѣленнаго времени t — оно не сдѣлается постояннымъ и равнымъ, напримѣръ, $k \,.\, h$, гдѣ k — нѣкоторый коэффиціентъ.

Въ началѣ промежутка времени: $t - \delta$ убываніе поглощенія идетъ довольно быстро, а затѣмъ медленнѣе, такъ что законъ, которому слѣдуетъ измѣненіе количества воды, *стекающей* со всей поверхности бассейна, выразится выпуклой кривой AnE, переходящей затѣмъ въ прямую EC, параллельную оси абсциссъ.

Что же касается количества воды, *стекающей* со всего бассейна до окончанія дождя, т. е. во время $T - \delta$, то таковое выразится площадью $AnECB$, а количество воды, поглощенной почвой во время $T - \delta$, выразится площадью

$$ADLGCEn = LGCD + DEnA = Fhk\,(T - \delta) + DEnA\,.$$

Наконецъ количество воды, *протекающей* чрезъ данное поперечное сѣченіе понизеннаго мѣста бассейна въ началѣ дождя, пока выпадающая вода полностью поглощается почвою, т. е. во время δ, очевидно, также $= 0$. Затѣмъ оно начинаетъ возрастать и достигаетъ своего maximum'а по прошествіи времени t' весьма близкаго t. Maximum, очевидно, наступитъ въ тотъ моментъ, когда до даннаго сѣченія дойдетъ вода, выпавшая въ наиболѣе отдаленной части бассейна; начиная съ этого момента, количество воды, *стекающей* въ единицу времени со всего бассейна, сдѣлается равнымъ количеству воды, *протекающей* въ ту же единицу времени чрезъ разсматриваемое сѣченіе, слѣдовательно maximum ординатъ въ обоихъ случаяхъ будетъ одинаковый. Что же касается закона измѣненія количества воды, *протекающей* чрезъ данное сѣченіе до наступленія maximum'а, т. е. во время $t' - \delta$, то этотъ законъ нѣсколько отличенъ отъ того, по которому измѣняется количество воды, стекающей со всего бассейна. Въ началѣ количество протекающей воды будетъ расти медленнѣе, а затѣмъ быстрѣе, такъ какъ, по мѣрѣ увеличенія объема протекающей воды, увеличивается глубина потока, а вмѣстѣ съ тѣмъ и скорость протеканія, такъ что равнымъ приращеніямъ количества протекающей воды будутъ соотвѣтствовать уменьшающіеся промежутки времени, и законъ измѣненія количества воды, *протекающей* чрезъ данное сѣченіе, выразится сначала вогнутой кривой ApN, а затѣмъ прямой NC, параллельной оси абсциссъ. Все же количество воды, *прошедшее* во время дождя, т. е. во время $T - \delta$ чрезъ данное сѣченіе бассейна, выразится площадью

$$ApNCB, \text{ или приближенно } ApECB.$$

*) Wochenschrift des Oest. Ing. und Archit.-Vereins. 1882.

По окончаніи дождя количество воды, протекающее въ единицу времени чрезъ данное сѣченіе, очевидно, будетъ уменьшаться, начиная отъ предыдущаго *maximum*'а, обозначеннаго:

$$FE = BC,$$

и кончая нулемъ.

Ясно, что количество воды, которое пройдетъ чрезъ данное сѣченіе послѣ окончанія дождя, составится изъ того количества воды, которое не успѣло пройти чрезъ данное сѣченіе бассейна, т. е. изъ $ApNn$, и изъ нѣкотораго количества воды, поглощенной откосами бассейна и затѣмъ снова выступившей въ пониженныхъ частяхъ бассейна.

Vodička допускаетъ, что это послѣднее количество равно избытку количества воды, поглощенной во время $t - \delta$, противъ того количества, которое было бы поглощено также во время $t - \delta$, еслибы самое поглощеніе было равно установившемуся послѣ времени t, другими словами, что этотъ объемъ выразится площадью $DEmA$. Такимъ образомъ мы получимъ слѣдующее равенство:

$$Fh \,.\, T = Fh\delta + Fhk\,(T - \delta) + M + m \quad \ldots\ldots\ldots \text{(I)},$$

гдѣ: $FhT = OJGB$ — все количество воды, *выпавшее* на бассейнъ,

$Fh\delta + Fhk\,(T - \delta) = OALI + LGCD$ — количество воды, окончательно *поглощенное* почвою,

$M = ApECB$ — количество воды, прошедшее чрезъ данное сѣченіе *до* окончанія дождя,

$m = ApED$ — количество воды, прошедшее чрезъ данное сѣченіе *послѣ* окончанія дождя,

$M + m$ = всему количеству воды, которое стекало со всей поверхности бассейна.

Относительно времени δ можно на основаніи наблюденій допустить, что оно обратно пропорціонально h, т. е. что чѣмъ сильнѣе дождь, тѣмъ меньшій промежутокъ времени требуется для того, чтобы вода начинала уже стекать съ поверхности.

Если затѣмъ принять, что кривая ApE мало отличается отъ прямой, то

$$m = ApED = ApEF,$$

т. е. m будетъ равно количеству воды, прошедшему чрезъ данное сѣченіе пониженнаго мѣста бассейна во время $t - \delta$. Площадь же

$$m = ApEF = \frac{EF \,.\, AF}{2} = \frac{Fh\,(1-k)\,(t-\delta)}{2}.$$

Съ другой стороны, если l — протяженіе лога бассейна отъ начала истока до разсматриваемаго сѣченія, u — средняя скорость, съ которою количество воды $\frac{Fh\,(1-k)\,(t-\delta)}{2}$ притекало къ сѣченію, то:

$$l = u\,(t - \delta); \quad (t - \delta) = \frac{l}{u}.$$

Вставляя эти значенія въ формулу (I), получимъ:

$$F \,.\, h \,.\, T = F \,.\, h \,.\, \frac{c}{h} + F \,.\, h \,.\, k\left(T - \frac{c}{h}\right) + M + \frac{Fh}{2}\,(1-k) \,.\, \frac{l}{u},$$

или

$$F \,.\, h \,.\, T = Fh\left\{\frac{c}{h} + k\left(T - \frac{c}{h}\right) + \frac{l}{2u}\,(1-k)\right\} + M \quad \ldots\ldots \text{(II)}$$

Для опредѣленія изъ этой формулы M необходимо знать значенія постоянныхъ коэффиціентовъ c и k, которые могутъ быть опредѣлены, если рѣшить два такихъ уравненія, подставивъ вмѣсто остальныхъ величинъ дѣйствительно измѣренныя и наблюденныя количества для двухъ какихъ либо отдѣльныхъ случаевъ данной мѣстности, или другой, однаковаго съ нею характера.

Что касается скорости u, т. е. средней скорости, съ которою количество воды m протекаетъ по всей ложбинѣ бассейна, то она можетъ быть опредѣлена слѣдующимъ образомъ. Пусть v_1 и v_0 измѣренныя или исчисленныя скорости, съ которыми вода *протекаетъ* чрезъ *данное сѣченіе* бассейна—въ моментъ окончанія дождя и послѣ того, какъ чрезъ сѣченіе прошло послѣднее количеств

дождевой воды, т. е. когда уже установилась нормальная скорость (если оврагъ въ обыкновенное время сухой, то $v_0 = 0$; если же по бассейну протекаетъ постоянно ручей, то v_0—нормальная скорость этого ручья); тогда средняя скорость, съ которою количество *m протекало* чрезъ данное сѣченіе:

$$u_1 = \frac{v_0 + v_1}{2}.$$

Если далѣе i_1—уклонъ дна оврага, или ложбины бассейна около разсматриваемаго сѣченія; i—средній уклонъ *на всемъ* протяженіи ложбины оврага, то

$$u : u_1 = \sqrt{i} : \sqrt{i_1}.$$

Слѣдовательно:

$$u = u_1 \frac{\sqrt{i}}{\sqrt{i_1}} = \frac{v_0 + v_1}{2} \sqrt{\frac{i}{i_1}}.$$

Зная M, найдемъ и наибольшее количество воды, протекающей чрезъ данное сѣченіе въ единицу времени; оно будетъ, очевидно,

$$\frac{ECBF}{FB} = \frac{M - m}{T - t},$$

при чемъ:

$$m = \frac{Fh}{2}(1 - k)\frac{l}{u},$$

$$t = \delta + \frac{l}{u} = \frac{c}{h} + \frac{l}{u}.$$

Изъ этого мы видимъ, что для каждаго даннаго случая, помимо постоянныхъ c и k, необходимо еще знать среднюю скорость u, съ которою стекаетъ по ложбинѣ бассейна количество воды, оставшейся на немъ послѣ окончанія дождя.

c) Управленіе Ивангородо-Домбровской желѣзной дороги опредѣлило нормы расхода, взявъ въ основаніе указанія (отмѣненнаго нынѣ) циркуляра Министерства Путей Сообщенія относительно наибольшаго количества выпадающаго дождя, а именно 4,5 д. въ продолженіе 3 часовъ. Изложимъ вкратцѣ употребленный въ данномъ случаѣ ходъ расчета.

Согласно требованію циркуляра наибольшее количество воды въ кубическихъ саженяхъ, выпадающее на бассейнъ:

$$\frac{4,5}{84} \times \frac{250000 \times F}{3 \times 60 \times 60} = 1,25\ F \text{ куб. саж. въ секунду, гдѣ } F\text{— площадь бассейна въ кв. вер.;}$$

если продолжительность дождя—t секундъ, то все выпавшее на бассейнъ количество влаги:

$$N = 1,25\ .\ F\ .\ t.$$

Изъ этого полнаго количества въ началѣ ливня доходитъ въ каждую единицу времени до искусственнаго сооруженія 0; затѣмъ количество это увеличивается и въ извѣстный моментъ достигаетъ своего максимума, который при весьма малыхъ бассейнахъ $= 1,25\ F$, но при болѣе значительныхъ бассейнахъ—меньше и вообще

$$Q\ max = \alpha\ .\ 1,25\ F.$$

Значеніе коэффиціента α опредѣлено слѣдующимъ образомъ:

Если назовемъ чрезъ T_1 время, въ которое притекающее къ трубѣ количество воды увеличивается отъ 0 до извѣстнаго Q *maximum*'а; чрезъ T_2—время, въ которое оно сохраняется постояннымъ, чрезъ T_3—продолжительность времени, въ теченіе котораго количество вновь убываетъ до нуля, то все количество воды, прошедшее чрезъ искусственное сооруженіе во время $T_1 + T_2 + T_3 = T$, т. е. во время отъ начала дождя до того момента, когда съ бассейна стекаетъ послѣдняя капля выпавшей воды:

$$N = \frac{QT_1}{2} + QT_2 + \frac{QT_3}{2},$$

такъ какъ, согласно циркуляру, впитываніе почвою не слѣдуетъ брать въ разсчетъ.

Но съ другой стороны бассейны большею частью имѣютъ продолговатое очертаніе, слѣдовательно можно принять, что время T_2, въ теченіе котораго прибываетъ съ бассейна наибольшее количество воды, въ сравненіи съ двумя другими промежутками, не особенно велико, а потому приближенно можно допустить, что

$$N = \frac{Q\,max. \,.\, T}{2},$$

или вставляя вмѣсто $Q\,max.$ его значеніе,

$$N = \frac{\alpha \,.\, 1{,}25\ F \,.\, T}{2}.$$

Приравнивая оба значенія N, получимъ:

$$\alpha = \frac{2t}{T}.$$

Время T, т. е. промежутокъ времени между началомъ дождя и моментомъ, когда стекаетъ послѣдняя капля воды съ бассейна, было опредѣлено на основаніи слѣдующихъ соображеній:

Если искусственное сооруженіе помѣщается въ пунктѣ M (рис. 246″) бассейна, то время, необходимое для того, чтобы вода изъ точки N прибыла въ M, равно

$$T = \frac{y}{v} + \frac{x}{V},$$

гдѣ v—скорость воды по боковому скату бассейна и V—скорость по пониженному мѣсту бассейна. Для пункта O:

$$T = \frac{L}{V},$$

а для пункта P:

$$T = \frac{B}{v},$$

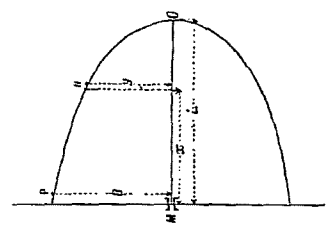


Рис. 246″.

если L и B разстоянія наиболѣе удаленныхъ точекъ бассейна по дну его и по линіи полотна дороги—отъ предполагаемаго искусственнаго сооруженія, при чемъ $\frac{B}{v}$ значительно болѣе $\frac{L}{V}$, такъ какъ теченіе воды по косогору тонкимъ слоемъ въ нѣсколько тысячныхъ саженн можетъ производиться очень медленно. Вообще:

$$T\,max. > \frac{B}{v} \text{ и } > \frac{L}{V},$$

слѣдовательно, если положимъ

$$T\,max. = \frac{B}{v},$$

то принимаемъ его менѣе дѣйствительнаго значенія, и слѣдовательно α будетъ болѣе дѣйствительной своей величины, что, очевидно, въ пользу безопасности. Изъ этого слѣдуетъ, что можно положить:

$$\alpha = \frac{2t \,.\, v}{B}.$$

Ширина бассейна B зависитъ отъ формы его, но если принять, что всѣ бассейны имѣютъ подобныя фигуры, то можно положить:

$$B = \beta \sqrt{F};$$

подставляя въ предыдущее выраженіе это значеніе B и обозначая постоянную величину:

$$\frac{2t}{\beta} = \delta,$$

получимъ:

$$\alpha = \frac{\delta v}{\sqrt{F}}.$$

Относительно скорости по боковому скату бассейна можемъ принять, что она тѣмъ менѣе, чѣмъ скать положе, а такъ какъ вообще, чѣмъ долина больше, тѣмъ ея скаты положе, то можно допустить, что v тѣмъ менѣе, чѣмъ бассейнъ больше. Вслѣдствіе сего принимаемъ, что v имѣетъ слѣдующую величину:

$$v = \gamma - k\sqrt{F},$$

гдѣ γ и k — числовые коэффиціенты, которые слѣдуетъ опредѣлить изъ опыта.

Подставляя это значеніе въ выраженіе α, получаемъ:

$$\alpha = \frac{\gamma\delta}{\sqrt{F}} - \delta . k.$$

Подставляя же эту величину въ выраженіе $Q\ max.$, будемъ имѣть:

$$Q\ max. = 1{,}25\ \gamma : \delta\sqrt{F} - 1{,}25\ k\ .\ \delta\ .\ F.$$

Обозначая же постоянныя величины

$$1{,}25\ \gamma\ .\ \delta = a \text{ и } 1{,}25\ k\ .\ \delta = b,$$

найдемъ, что:

$$Q\ max. = a\sqrt{F} - b\ .\ F,$$

при чемъ a и b нужно опредѣлить на основаніи практическихъ данныхъ.

Всего правильнѣе было бы опредѣлить эти коэффиціенты изъ дѣйствительныхъ наблюденій, но за непмѣніемъ пока таковыхъ управленіе дорогой воспользовалось двумя слѣдующими данными, взятыми изъ циркуляровъ Министерства.

Такъ какъ циркуляромъ Министерства въ чугунныхъ трубахъ отверстіемъ 0,50 саж. допускается скорость въ 20 футъ въ секунду при подворѣ въ 1 саж., то таковой трубѣ будетъ соотвѣтствовать площадь бассейна въ 0,60 квадратной версты, если предположить, что уклонъ дна бассейна 0.002, а уклонъ откосовъ 0,02.

Другимъ циркуляромъ (о которомъ будетъ сказано ниже) при величинѣ бассейна въ 50 квадратныхъ верстъ площадь живого сѣченія подъ мостомъ по таблицѣ, составленной инженеромъ Бѣлинскимъ, должна быть 3,5 кв. сажени. Если допустить среднюю скорость въ 10,5 фут., то получается расходъ въ 5,25 куб. саж. Имѣя эти двѣ группы данныхъ и подставляя ихъ вмѣсто F и Q въ вышеприведенное уравненіе, получимъ:

$$a = 1\ ;\ b = 0{,}036.$$

Желательно, чтобы прямыми наблюденіями были опредѣлены точныя значенія этихъ коэффиціентовъ.

ж) Управленіе Закавказской желѣзной дороги, опредѣляя отверстія трубъ, приняло въ основаніе расчета количество дождя, выпавшаго въ Тифлисѣ 9-го сентября (по нов. ст.) 1857 года, при чемъ оказалось, что въ теченіе 11-ти минутъ выпалъ слой воды въ 0,6 дюйма = 15,24 миллиметра. Такимъ образомъ было найдено, что при бассейнѣ въ 1 квадратную версту притокъ воды въ 1 секунду составляетъ 2,706 куб. сажени, что потребовало устройства каменной трубы отверстіемъ 2,00 саж. Отверстія всѣхъ остальныхъ малыхъ искусственныхъ сооруженій дороги расчитаны по этой же нормѣ, т. е. на каждую квадратную версту бассейна принято 2 погонныя сажени отверстія трубы. Норма эта, кажется, нѣсколько преувеличена.

з) Въ Германіи для холмистой мѣстности придерживаются слѣдующихъ нормъ для количества притекающей воды въ 1 секунду съ каждаго квадратнаго километра бассейна:

При площади бассейна менѣе 1 кв. кпл.	притекаетъ въ 1 секунду отъ . .	3 до 5	куб. мтр.
При площади въ 1— 10 кв. кпл.	» » » » . .	1,5 — 3	» »
» » » 10 — 40 » »	» » » » . .	1—1,5	» »
» » » 40 —100 » »	съ первыхъ 40 кв. кпл. притекаетъ .	1,0	» »
	съ остальныхъ	0,6	» »
» » « 100—300 » «	притекаетъ въ 1 секунду отъ . .	0,5 —0,7	» »
» » » 300—600 » »	» » » » . .	0,4—0,5	» »
при площади бассейна болѣе 600 кв. кпл.		0,4	» »

и) Для горнстыхъ мѣстностей съ малыми бассейнами установлены въ Германіи слѣдующія нормы въ зависимости отъ силы ливня въ 57 мм. и 126 мм. въ часъ.

Длина бассейна.	Количество притекающей воды съ кв. киломъ. въ 1 секунду.		
	При силѣ ливня въ 57 мм.	При силѣ ливня въ 126 мм.	
	50% поглощенія.	50% поглощенія.	0% поглощенія.
Менѣе 3 киломъ.	8 куб. метр.	17,6 куб. метр.	35,3 куб. метр.
отъ 3 до 8	6,5	14,4	28,8
„ 8 — 12	5,0	11,1	—
„ 12 — 15	3,4	7,7	—
„ 15 — 18	2,0	—	—

і) Такъ какъ въ горнстой мѣстности ливень сильнѣе и менѣе продолжителенъ, чѣмъ въ равнинной, то Possenti установилъ для бассейновъ, гдѣ встрѣчаются оба характера мѣстности, слѣдующую формулу для опредѣленія количества всей притекающей воды:

$$Q = k \frac{h}{l} \left(a + \frac{b}{3} \right).$$

a—площадь въ кв. кил. горнстой части бассейна.

b— » » » » равнинной части бассейна.

h—наибольшая высота слоя воды въ метрахъ, выпавшей въ теченіе 24 часовъ.

l—длина бассейна.

k—постоянная равная 700.

Остается еще сказать нѣсколько словъ объ *изслѣдованіи грунта*, которое необходимо для того, чтобы выяснить родъ напластованія ложа рѣки, а также для полученія данныхъ къ составленію проекта основанія опоръ искусственнаго сооруженія. Изслѣдованіе грунта въ зависимости отъ мѣстныхъ условій производится посредствомъ рытья ямъ и колодцевъ, а также забивкой пробныхъ свай, буреніемъ и проч.

Діаметръ полаго стержня, штанги буровыхъ инструментовъ измѣняется въ предѣлахъ отъ 1 д. до 3 д., при чемъ въ глубокихъ и быстрыхъ рѣкахъ буреніе производится въ обсадныхъ трубахъ. Иногда для болѣе быстраго погруженія въ трубы нагнетается насосомъ вода. Буровыя скважины намѣчаются по линіи оси моста, выше и ниже его, а также по оси проектируемыхъ опоръ.

Во время буренія ведется подробный журналъ съ описаніемъ въ немъ всѣхъ грунтовъ и различныхъ обстоятельствъ, встрѣченныхъ при пробивкѣ скважины, какъ напр. притока грунтовыхъ водъ и проч.; также собираются образцы грунтовъ въ послѣдовательномъ порядкѣ ихъ прохожденія. На основаніи этихъ журналовъ составляютъ чертежи такъ называемыхъ геологическихъ разрѣзовъ, связавъ отмѣтки залеганія различныхъ слоевъ съ отмѣтками мѣстности по продольной профили. Буреніе производится вообще до тѣхъ поръ, пока не встрѣтится надежный грунтъ и во всякомъ случаѣ на глубину, превосходящую на $1^1/_2$ с.—2 с. предполагаемую глубину заложенія основанія.

Иногда бываетъ необходимо выяснить степень *сжимаемости* грунта, что даетъ нѣкоторыя указанія относительно величины возможнаго безопаснаго напряженія. Къ трудно сжимаемымъ грунтамъ, кромѣ каменистаго, слѣдуетъ причислить

песокъ и чистую твердую глину, безъ примѣси ила, при толщинѣ слоя не менѣе 1,5 саж. Всѣ остальные грунты сжимаемы. Относительное количество ила и другихъ составныхъ частей указываетъ на степень сжимаемости грунта.

Пріемы опредѣленія сжимаемости грунта различны въ зависимости отъ того, имѣютъ ли дѣло съ открытымъ котлованомъ, съ грунтомъ необнажеинымъ, съ грунтомъ въ рабочей камерѣ кессона и проч.

Приведемъ нѣсколько примѣровъ.

При сооруженіи Крестовскихъ водонапорныхъ башенъ въ Москвѣ сопротивленіе песчано-глинистаго грунта подошвы котлована, глубиною 2 саж., было изслѣдовано слѣдующимъ образомъ.

На днѣ котлована былъ размѣченъ равносторонній треугольникъ, сторона коего равнялась $2^1/_3$ с. По угламъ этого треугольника были поставлены три чугунныхъ диска—площадью каждый въ 2 кв. фута съ цилиндрическимъ центральнымъ выступомъ. Въ верхнюю часть выступа ввинченъ былъ желѣзный стержень, а въ вершину послѣдняго ввинченъ въ свою очередь винтъ. На стержни дисковъ надѣты были желѣзныя шайбы, опиравшіяся на центральный выступъ, затѣмъ деревянные брусья съ наклонными пазами, въ которые закладывались желѣзныя балки, образовавшія треугольную раму. На устроенную такимъ образомъ раму поставленъ былъ четыреугольный деревянный ящикъ такъ, что центръ тяжести его совпадалъ съ центромъ тяжести треугольной рамы. Въ сторонѣ отъ рамы, въ 3 саж., забитъ былъ реперъ той же высоты, какъ стержни дисковъ. До начала опыта, головки винтовъ, ввинченныхъ въ вершину стержней, были приведены въ одну горизонтальную плоскость съ репером, что повѣрялось уровнемъ и линейкой.

Всѣ части, входящія въ приборъ, а именно: желѣзныя балки, диски, деревянные брусья и доски деревяннаго ящика были взвѣшены до сборки, причемъ вѣсъ оказался около 157 пуд. Песокъ, взятый для нагрузки, былъ взвѣшенъ передъ опытомъ въ количествѣ $^1/_{27}$ куб. саж., по которому и былъ опредѣленъ вѣсъ 1 куб. саж. песка, оказавшійся равнымъ 993,5 пуд. Нагрузку пескомъ вели постепенно, а именно: сначала на каждый кв. футъ диска приходилось 50 пуд., затѣмъ 75, 100, 125, 150, 175 и 200 пуд. Для сего ящикъ по высотѣ былъ раздѣленъ на части, соотвѣтствующія каждой изъ требуемыхъ нагрузокъ.

Насыпавъ песокъ до опредѣленной черты въ ящикѣ и уравнявъ его правиломъ,—опредѣляли положеніе дисковъ. Положеніе дисковъ повѣряли нивеллировкой и линейкой съ уровнемъ, измѣряя непосредственно ходъ установительныхъ винтовъ, возстановлявшій нормальное положеніе пузырька уровня.

При этомъ оказалось, что

При 125 пуд. нагрузки на 1 кв. фут. дискъ № 1 далъ осадку въ $^1/_{64}$ д.
» » » » » » № 2 » » $^4/_{64}$ »
» » » » » » № 3 » » $^4/_{64}$ »
При 150 пуд. нагрузки на 1 кв. фут. дискъ № 1 » » $^5/_{64}$ »
» » » » » » № 2 » » $^8/_{64}$ »
» » » » » » № 3 » » $^9/_{04}$ »
При 175 пуд. нагрузки на 1 кв. фут. дискъ № 1 » » $^8/_{64}$ »
» » » » » » № 2 » » $^{11}/_{64}$ »
» » » » » » № 3 » » $^{13}/_{64}$ »
При 200 пуд. нагрузки на 1 кв. фут. дискъ № 1 далъ осадку въ $^{10}/_{64}$ »
» » » » » » № 2 » » $^{15}/_{64}$ »
» » » » » » № 3 » » $^{20}/_{64}$ »

Послѣ опыта естественное основаніе было уплотнено песчаными сваями. Сваи діаметромъ 0,06 саж., глубиною 0,67 саж., были расположены въ шахматномъ порядкѣ на разстояніи 0,33 саж. одна отъ другой. На уплотненный такимъ оброзомъ грунтъ былъ разсыпанъ и затѣмъ утрамбованъ сухой щебень слоемъ толщиною въ 0,03 саж.

Произведенный послѣ этого вторично опытъ нагрузки прибора не указывалъ осадки дисковъ при нагрузкѣ, доходившей до 200 пуд. на кв. футъ и остававшейся на приборѣ около недѣли.

Если котлованъ еще не открытъ, то для опредѣленія степени сжимаемости грунта ввинчиваютъ металлическую сваю, діаметромъ около 5—6 д., снабженную винтовою лопастью; къ верхней части

сваи прикрѣпляютъ помость, который загружаютъ грузомъ и оставляютъ въ этомъ положеніи около сутокъ. Зная площадь поверхности винтовой лопасти и измѣривъ осадку, напр. путемъ сравненія съ положеніемъ подмостей,—опредѣляютъ величину осадки въ зависимости отъ напряженія.

Если необходимо опредѣлить степень сопротивленія обнаженнаго грунта въ рабочей камерѣ кессона, то для сего въ вырытую яму, во возможности сухую, устанавливаютъ чугунный дискъ, площадью около 2 кв. ф., на него ставятъ снабженный манометромъ гидравлическій прессъ, штокъ котораго упирается въ потолокъ кессона.

Цилиндръ пресса соединяютъ съ короткимъ плечомъ неравноплечаго рычага-указателя, длинное плечо котораго перемѣщается по рейкѣ. Давленіе опредѣляется манометромъ.

При заложеніи основанія опоръ моста черезъ р. Миссисипи (близъ Мемфиса) опредѣляли опытомъ сопротивленіе грунта сжатію. Для сего вырѣзывали изъ грунта довольно большой кусокъ, выносили его на открытый воздухъ и, не давая ему времени высохнуть, обдѣлывали верхнюю часть куска въ видѣ куба въ два дюйма въ сторонѣ и подвергали верхнюю грань куба давленію. Въ быкѣ № 2 опыты были сдѣланы надъ 4-мя образцами; первый разрушился при давленіи 432 фунт., второй—343 фунт., третій—303 фунт., четвертый 343 фунт., при чемъ передъ разрушеніемъ величина сжатія доходила до $^1/_{32}$ д., за исключеніемъ третьяго образца, который сразу разрушился, будучи очень сухимъ.

Не принимая его въ разсчетъ, получимъ среднее значеніе временнаго сопротивленія:

$$\frac{432 + 343 + 343}{3 \times 4} = 93 \frac{\text{фунт.}}{\text{кв. дм.}} = 2{,}32 \frac{\text{пуд.}}{\text{кв. дм.}}.$$

III.

Опредѣленіе отверетій искуеетвенныхъ еооруженій.

Сумма промежутковъ, черезъ которые проходитъ вода подъ даннымъ искусственнымъ сооруженіемъ, называется *отверстіемъ сооруженія.*

Отверстіе должно быть таково, чтобы вода проходила свободно, не подмывая основанія далѣе извѣстнаго предѣла и не производя большого подпора, чтобы ледъ не задерживался устоями или быками и, скопляясь впереди ихъ, не образовалъ бы зажора. Опредѣленіе отверстія моста имѣетъ весьма важное значеніе

Для безошибочнаго опредѣленія этой величины нѣтъ положительныхъ указаній; всѣ способы опредѣленія даютъ только приблизительные результаты, благодаря не вполнѣ обслѣдованному закону движенія воды въ рѣкахъ, не говоря уже о значительной зависимости величины отверстія отъ мѣстныхъ условій въ каждомъ данномъ случаѣ.

Способы опредѣленія достаточной величины отверстія также существенно зависятъ отъ мѣстныхъ условій.

Въ извѣстныхъ случаяхъ, какъ, напримѣръ, при системѣ основаній, не допускающей глубокаго заложенія, и при довольно-плотномъ грунтѣ русла, дозволяющемъ извѣстное увеличеніе скорости, отверстіе моста должно удовлетворять тому условію, чтобы увеличившаяся отъ стѣсненія живого сѣченія скорость по дну не достигла того предѣла, при которомъ данный грунтъ начинаетъ размываться, слѣдствіемъ чего можетъ быть подмывъ не глубоко заложеннаго основанія, и чтобы въ то же время увеличившаяся скорость на поверхности не затруднила судоходства и не произвела бы значительнаго подпора. Въ другихъ случаяхъ, при системѣ основаній, допускающей глубокое заложеніе (кессоны), и при наличности грунта слабаго, размываемаго уже при незначительномъ увеличеніи

скорости, — отверстіе моста расчитывается такимъ образомъ, чтобы размывъ русла отъ стѣсненія сѣченія не достигъ величины, требующей чрезмѣрнаго пониженія основанія опоръ, невозможнаго по выполненію, и чтобы размывъ не превосходилъ прежней средней глубины болѣе, чѣмъ на 50%. При значительной толщинѣ слабаго грунта размывъ прекратится только тогда, когда средняя скорость и живое сѣченіе сдѣлаются приблизительно равными своему прежнему значенію.

Для того и другого случая одинаково необходимо знать величину расхода, какъ при низкомъ, при меженномъ, такъ и при высокомъ горизонтѣ. Наибольшій расходъ имѣетъ существенное значеніе при опредѣленіи величины отверстія моста. Наименьшій расходъ даетъ возможность назначить наибольшее отверстіе моста, при которомъ не будутъ образовываться наносы. Измѣренія во время средняго горизонта необходимы для опредѣленія естественнаго быта рѣки. Способы опредѣленія расходовъ различны, смотря по тому, имѣемъ ли дѣло съ большой рѣкой или незначительнымъ ручейкомъ.

Опредѣленіе отверстій большихъ мостовъ.

Опредѣленіе отверстій, когда размыва не предполагается. Вызванныя стѣсненіемъ сѣченія наибольшія скорости на поверхности и по дну. Предѣльныя скорости по дну для различныхъ грунтовъ. Соображенія о выборѣ предѣльной скорости по дну. Подпоръ истинный и кажущійся. Протяженіе подпора. Численный примѣръ опредѣленія отверстія моста.

Въ отношеніи мостовъ большихъ отверстій разсмотримъ два случая — когда *не допускается* и когда *допускается* размывъ грунта.

Первый случай. Размывъ грунта въ главномъ руслѣ не допускается.

Пусть: ω — живое сѣченіе рѣки; v — средняя скорость; } для наибольшаго расхода.

тогда: $Q = \omega . v$.

Съ устройствомъ моста средняя скорость измѣнится, такъ какъ вода будетъ проходить другимъ живымъ сѣченіемъ.

Пусть послѣ устройства моста площадь живого сѣченія—ω', средняя скорость—v'. Для опредѣленія величины ω' наносятъ на поперечной профили рѣки положеніе моста, соображаясь съ условіями, которыя разсмотримъ впослѣдствіи; затѣмъ вычитаютъ изъ поперечной профили рѣки площадь, занимаемую подводною частью быковъ, устоевъ и прилегающей дамбы. Если коэффиціентъ расхода, вслѣдствіе сжатія струи между быками или устоями, μ, то:

$$Q = \mu \omega' . v',$$

гдѣ коэффиціентъ μ зависитъ отъ наружнаго вида быковъ, а именно въ случаѣ прямоугольнаго сѣченія быковъ: $\mu = 0{,}85$; для закругленной формы: $\mu = 0{,}90$, а для остроугольной: $\mu = 0{,}95$; для арочныхъ мостовъ, пяты которыхъ ниже горизонта воды: $\mu = 0{,}75$.

Слѣдовательно: $$v' = \frac{Q}{\mu \omega'}.$$

Такъ какъ $\omega' < \omega$ и μ всегда < 1, то v' всегда $> v$. Увеличеніе средней скорости влечетъ за собою увеличеніе, какъ среднихъ, такъ, очевидно, и наибольшихъ скоростей на поверхности и по дну рѣки. Увеличенная скорость на поверхности можетъ представить препятствіе ко взводному судоходству, а увели-

ченная скорость по дну, превзойдя извѣстный предѣлъ, можетъ произвести размывъ грунта и подмывъ основаній.

Наибольшая увеличенная скорость на поверхности найдется въ зависимости отъ v' — средней скорости всего съуженнаго сѣченія по эмпирическимъ формуламъ группы II.

Сюда относится, напримѣръ, формула Ргопу:

$$\frac{v'}{max.\ v'_0} = 0{,}8164\,,$$

или его-же формула:

$$\frac{v'}{max.\ v'_0} = \frac{2{,}372 + max.\ v'_0}{3{,}153 + max.\ v'_0}\,,$$

гдѣ v' — есть увеличенная средняя скорость всего сѣченія; $max.\ v'_0$ — наибольшая увеличенная скорость на поверхности.

Наибольшую-же скорость по дну найдемъ въ зависимости отъ $max.\ v'_0$, пользуясь существующими для этого случая эмпирическими формулами группы IV Напримѣръ, можно взять формулу Вейсбаха:

$$max.\ v'_u = 0{,}83\ max.\ v'_o\,,$$

гдѣ $max.\ v'_u$ — скорость по дну, а $max.\ v'_o$ — скорость на поверхности той-же вертикали.

Вообще слѣдуетъ замѣтить, что такой расчетъ скоростей по дну, основанный на формулахъ, постоянныя которыхъ онредѣлены изъ наблюденій надъ правильнымъ движеніемъ воды въ рѣкахъ, будетъ достаточно точенъ лишь въ томъ случаѣ, когда подпоръ впереди моста незначительный. Въ противномъ случаѣ *скорость по дну* будетъ на самомъ дѣлѣ больше, такъ какъ въ подпорномъ слоѣ, (рис. 247) толщиною h, скорости увеличиваются отъ поверхности до горизонта mn, а затѣмъ онѣ хотя и уменьшаются, но незначительно, въ виду того, что частицы воды побуждаются къ движенію не только присутствіемъ уклона, но и давленіемъ слоя воды толщиною h. Чѣмъ больше это давленіе, тѣмъ меньше разность между скоростями въ различныхъ струйкахъ слоя, находящагося ниже горизонта mn.

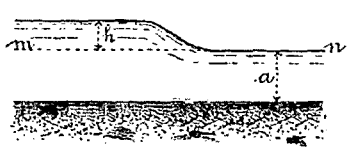


Рис. 247.

Сдѣлавъ этотъ расчетъ скорости по дну для наибольшаго расхода, остается только сравнить полученный результатъ со скоростью, при которой *начинается размывъ даннаго грунта.*

Для различныхъ грунтовъ эти скорости по Клоделю слѣдующія:

1)	мягкій черноземъ	0,249 фута.
2)	слабая глина	0,499 »
3)	песокъ	1,000 »
4)	гравій.	1,998 »
5)	кремнистый грунтъ	2,014 »
6)	каменистый слабый	4,002 »
7)	кремнистый конгломератъ, сланцеватый мягкій .	4,986 »
8)	скалистый грунтъ.	6,068 »
9)	твердая скала	10,004 »

По Reinhard'у наибольшія возможныя скорости:

	На поверхности.	По дну.
	въ миллиметрахъ.	
Иловатая земля	150	80
Мелкій песокъ	200	100
Наносная глина	300	150
Плотная глина и рѣчной песокъ	600	300
Хрящеватое дно	1200	650
Дно, покрытое гальками, толщиною въ куриное яйцо	1600	1000
Конгломераты	2200	1500
Слоистыя гориыя породы	2700	1800
Скалистый грунтъ	4270	3000

Morandière даетъ слѣдующую таблицу предѣльныхъ скоростей по дну:

Иловатая земля	80	миллиметр.
Глина	150	»
Песокъ	300	»
Гравій	610	»
Мелкій щебень	910	»
Крупный щебень	1220	»
Конгломераты	1520	»
Слоистыя гориыя породы	1830	»
Крѣпкія гориыя породы	3000	»

По Dubuat при слѣдующихъ скоростяхъ происходитъ уже отрываніе и перекатываніе частицъ по дну:

Глина	80	миллиметр.	въ	секунду
Мелкій песокъ	160	»	»	»
Крупный песокъ	200	»	»	»
Хрящъ	300	»	»	»
Щебень величиною въ яйцо	600	»	»	»
Щебень величиною въ кулакъ	950	»	»	»
Булыги діаметромъ около 250 мм.	2200	»	»	»

По даннымъ Sainjon, выведеннымъ изъ наблюденій надъ теченіемъ въ Луарѣ, гальки различныхъ діаметровъ начинаютъ перекатываться при слѣдующихъ скоростяхъ:

діаметръ	$d = 0{,}01$	метр.	при	$v = 0{,}5$	метр.
»	$d = 0{,}04$	»	»	$v = 1{,}00$	»
»	$d = 0{,}10$	»	»	$v = 1{,}50$	»
»	$d = 0{,}17$	»	»	$v = 2{,}00$	»

Здѣсь слѣдуетъ замѣтить, что изъ произведенныхъ въ настоящее время измѣреній подпора весеннихъ водъ для большинства нашихъ желѣзнодорожныхъ мостовъ можно съ достаточной точностью опредѣлить наибольшій расходъ и по нему опредѣлить скорость по дну въ отверстіяхъ между опорами моста. При этомъ оказывается, что при глинистыхъ грунтахъ ложе, невидимому, не размывается, если скорость по дну ио превосходитъ 5—6 футовъ.

Этимъ едва ли вполнѣ опровергается достовѣрность вышеприведенныхъ предѣльныхъ скоростей для различныхъ грунтовъ, а скорѣе это кажущееся

противорѣчіе объясняется тѣмъ, что высокія воды продолжаются недолгое время и образующійся незначительный размывъ *скоро* вновь заносится по спадѣ водъ.

По мнѣнію-же Кавена предѣльныя скорости Dubuat ниже *дѣйствительныхъ* и должны быть нѣсколько увеличены.

Такимъ образомъ казалось-бы, что въ зависимости отъ продолжительности высокихъ водъ можно незначительно увеличивать показанныя здѣсь предѣльныя скорости и тѣмъ больше, чѣмъ глубже предполагается заложить основаніе опоръ и чѣмъ непродолжительнѣе высокія воды. Такъ, напримѣръ, при проектированіи моста чрезъ Донъ у Ростова допущена была скорость по дну въ $9^3/_4$ фута, въ виду твердости глиинстаго ложа, а главное вслѣдствіе короткаго времени стоянія воды при высокомъ горизонтѣ.

Есть еще другой достаточно достовѣрный путь опредѣлить ту безопасную скорость, которая можетъ быть допущена въ каждомъ данномъ случаѣ. При нестѣсненномъ сѣченіи по всей ширинѣ разлива скорости по дну весьма разнообразны: наибольшая скорость по дну имѣетъ мѣсто въ главномъ руслѣ, т. е. въ наиболѣе глубокой части разлива. Такъ какъ при нестѣсненномъ сѣченіи дно рѣки, какъ нужно полагать, находится въ состояніи равновѣсія, то эта наибольшая скорость по дну въ главномъ руслѣ и можетъ служить нѣкоторымъ указаніемъ предѣла, который не долженъ быть превзойденъ въ каждомъ данномъ случаѣ. Если принять кромѣ того въ соображеніе, что при стѣсненномъ сѣченіи скорости по дну распредѣляются болѣе правильно по всей ширинѣ русла, и если при этомъ *средняя*, или правильнѣе *наибольшая* скорость по дну въ стѣсненномъ сѣченіи будетъ немногимъ отличаться отъ наибольшей скорости по дну въ нестѣсненномъ сѣченіи, то, казалось бы, ие должно произойти значительнаго размыва.

Такимъ образомъ, ежели бы при этихъ расчетахъ оказалось, что въ стѣсненномъ сѣченіи *скорость по дну max. v'_u больше предѣла, указаннаго въ таблицахъ, или больше того предѣла, который соотвѣтствуетъ наибольшей скорости по дну въ нестѣсненномъ сѣченіи*, тогда необходимо или увеличить площадь живого сѣченія подъ мостомъ, или же принять мѣры для укрѣпленія русла рѣки.

Увеличеніе площади можетъ быть достигнуто двумя путями, а именно: измѣняютъ величину отверстія моста, или же, если требуется незначительное увеличеніе, то, не измѣняя ширины отверстія, увеличиваютъ живое сѣченіе, производя выемку грунта и стараясь, по возможности, привести профиль ложа къ правильному виду. Выемка грунта производится обыкновенно въ предѣлахъ выше низкаго горизонта воды, и для того, чтобы подобное искусственное углубленіе ложа принесло пользу, необходимо его продолжать вверхъ и внизъ отъ моста по крайней мѣрѣ на 30 саженъ въ каждую сторону.

Укрѣпленіе русла можетъ быть сдѣлано различными способами: такъ напримѣръ, помощью фашиннаго тюфяка съ каменной наброской, или изъ свай, забитыхъ частокомъ съ каменнымъ заполненіемъ между ними, или наконецъ каменной забросной между забитыми поперекъ рѣки шпунтовыми рядами, выше и ниже моста.

Шпунтовые ряды не слѣдуетъ забивать близко къ мосту, такъ какъ при этомъ часто образуются перепады, которые могутъ произвести вредные подмывы. Съ низовой стороны за шпунтовымъ рядомъ во всякомъ случаѣ необходимо сдѣлать укрѣпленіе ложа фашинникомъ или камнями. Для того, чтобы фашинникъ не могъ всплыть, полезно прижать его къ ложу, какъ напр. каменною отсыпью.

Независимо отъ сего, для того, чтобы предупредить вредное вліяніе направленія

струи на отдѣльныя опоры и по возможности содѣйствовать болѣе правильному проходу струи въ предѣлахъ мостовыхъ опоръ, т. е. перпендикулярно къ продольной оси моста, необходимо съ верховой стороны устраивать *направляющія дамбы* достаточной длины съ соотвѣтственнымъ укрѣпленіемъ головы дамбы, сопрягая пологой кривой корневую часть дамбы съ насыпью полотна дороги, во избѣжаніе водоворота.

Убѣдившись, что увеличившаяся скорость по дну не произведетъ размыва, нужно еще имѣть увѣренность, что скорость по поверхности не представитъ затрудненій, какъ взводному судоходству, такъ и судоходству внизъ по теченію (особенно при небольшихъ пролетахъ). Во всякомъ случаѣ на судоходныхъ рѣкахъ скорость не должна превосходить наибольшаго предѣла въ зависимости отъ характера судоходства вверхъ по теченію и рода двигателей. По Debauve парусное судоходство вверхъ по теченію становится, хотя и возможнымъ, но затруднительнымъ при скорости на поверхности въ 3,5 фута въ секунду, а судоходство внизъ по теченію—при скорости въ 5,5 фута.

Съ другой стороны, если бы даже при отсутствіи судоходства чрезмѣрная скорость на поверхности и не представляла затрудненій, то по другой еще причинѣ ее нельзя допускать. Дѣйствительно, всякое увеличеніе скорости въ пролетѣ должно имѣть слѣдствіемъ возвышеніе горизонта воды предъ стѣсненнымъ сѣченіемъ. Это возвышеніе надъ первоначальнымъ горизонтомъ называется *подпоромъ*, который при пологихъ берегахъ и степной мѣстности не долженъ превосходить извѣстнаго предѣла.

Опредѣлимъ *высоту подпора*.

Возьмемъ въ рѣкѣ три поперечныхъ сѣченія и назовемъ чрезъ ω' и v', ω_o и v_o, ω и v — три площади живыхъ сѣченій и среднія скорости выше моста (по теченію), между опорами и ниже моста.

Такъ какъ разстояніе между первымъ и третьимъ сѣченіемъ незначительно, то можно предположить, что русло рѣки на разстояніи отъ перваго до третьяго сѣченія мало измѣнилось, и живое сѣченіе передъ мостомъ будетъ $\omega + $ площадь воды, соотвѣтствующая подпору; эта площадь, если принять ее за прямоугольникъ, выразится чрезъ zh, — если z ширина рѣки, h — искомый подпоръ.

Слѣдовательно:

$$\omega' = \omega + zh.$$

Извѣстно, что:

$$h = \frac{v_o^2 - v'^2}{2g},$$

гдѣ $g = 32{,}2$ фута. Но $(\omega + zh)\, v' = \mu v_o\, \omega_o = \omega r$, гдѣ μ — коэффиціентъ сжатія, — откуда:

$$v_o = \frac{\omega v}{\mu \omega_o}; \quad v' = \frac{\omega v}{\omega + zh}.$$

Слѣдовательно:

$$h = \frac{\omega^2 v^2}{2g,} \left[\frac{1}{\mu^2\, \omega_o^2} - \frac{1}{(\omega + zh)^2} \right].$$

Въ этой формулѣ h входитъ и во второй части; поэтому уравненіе приходится рѣшать по приближенію.

Приведенная формула, строго говоря, не есть выраженіе *истиннаго подпора*, то есть разности горизонтовъ подпертаго и нормальнаго въ концѣ стѣсненнаго

русла. Она выражаетъ *кажущійся подпоръ*—разность горизонтовъ подпертаго и пониженнаго, находящагося въ наиболѣе сжатой части живого сѣченія. Истинный подпоръ необходимо знать для опредѣленія степени затопленія окружающей мѣстности, а кажущійся подпоръ—для опредѣленія величины перепада, могущаго затруднить судоходство.

Dupuit первый указалъ на различіе этихъ двухъ подпоровъ и привелъ формулы для опредѣленія того и другого. Точно опредѣлить величину того и другого подпора невозможно, такъ какъ они зависятъ не только отъ различія скоростей, но и отъ внутреннихъ сопротивляющихся силъ тренія и проч., законъ измѣненія которыхъ намъ неизвѣстенъ.

Истинный подпоръ, какъ онъ опредѣленъ выше, слагается изъ двухъ величинъ: a, изъ возвышенія горизонта подпертой воды надъ горизонтомъ воды въ наиболѣе стѣсненномъ сѣченіи русла и b, изъ возвышенія горизонта воды ниже моста надъ только что упомянутымъ горизонтомъ.

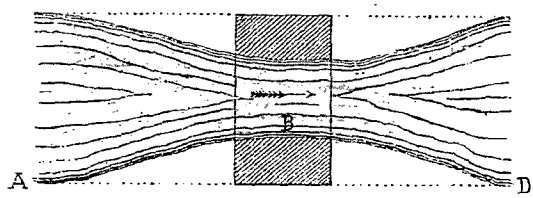


Рис. 248.

Теоретически говоря, возвышеніе горизонта рѣки позади моста всегда должно имѣть мѣсто вслѣдствіе уничтоженія причины, увеличивавшей скорость. Но это возвышеніе въ дѣйствительности очень незначительно, что объясняется тѣмъ, что треніе и различные удары поглощаютъ избытокъ живой силы, которая и не можетъ поэтому обнаружиться въ видѣ работы силы тяжести, т. е. въ видѣ поднятія жидкой массы.

Пусть A и D (рис. 248) представляютъ сѣченія, взятыя выше и ниже сжатой части струи, B — сѣченіе въ наиболѣе сжатой части. Если: v', v_0 и v— скорости въ сѣченіяхъ: A, B и D, i и φ — перемѣнные уклонъ и коэффиціентъ тренія между отдѣльными струйками, то, какъ извѣстно изъ уравненія движенія воды въ рѣкахъ, имѣемъ (независимо отъ знака):

$$cc' = y' = \frac{v^2}{2g} - \frac{v_0^2}{2g} + \int_0^{\lambda} (\varphi - i)\, ds; \quad *)$$

$$c'c'' = y'' = \frac{v^2}{2g} - \frac{v'^2}{2g} + \int_0^{\lambda+\lambda'} (\varphi - i)\, ds;$$

$$cc'' = y''' = \frac{v_0^2}{2g} - \frac{v'^2}{2g} + \int_0^{\lambda'} (\varphi - i)\, ds.$$

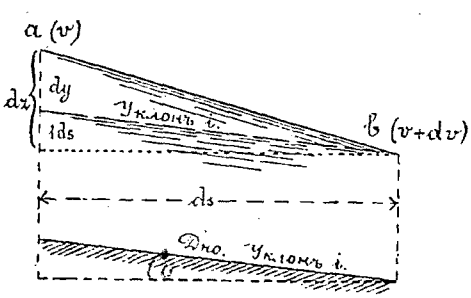


Рис. 249.

Если для какого-нибудь даннаго случая λ и λ' не велики, φ мало отличается

*) Чрезъ интегрированіе уравненія: $dy = \frac{v.dv}{g} + (\varphi - i)ds$ . . . . (a). Примѣняя къ матеріальной частицѣ массы m, переходящей подъ вліяніемъ силы тяжести изъ положенія a въ положеніе b (рис. 249), уравненіе живыхъ силъ, получаемъ: $\frac{m(v+dv)^2}{2} - \frac{mv^2}{2} = \Sigma\, Pd\varphi$; или, пренебрегая квадратомъ дифференціала, $mvdv = mg(dy + ids) - mg\varphi ds$, откуда и найдется уравненіе (a).

По Эйтельвейну: $\varphi = 0{,}007565$.

отъ i, то, при небольшой разницѣ между v и v', получимъ приблизительно:

$$y''' = -y' = \frac{v_0^2 - v'^2}{2g}; \quad y'' = \int_0^{\lambda+\lambda'} (\varphi - i)\, ds,$$

причемъ y'' значительно меньше y' и y'''. Такимъ образомъ, не смотря на то, что между устоями будетъ большой перепадъ, т. е. кажущійся подпоръ ($y' = -y'''$) однако истинный подпоръ y'' можетъ имѣть ничтожную величину (рис. 249′) (профиль I). Если, наоборотъ, φ значительно отличается отъ i, то численное значеніе:

$$\int_0^{\lambda} (\varphi - i)\, ds$$

можетъ сдѣлаться много болѣе $\left(\frac{v^2}{2g} - \frac{v_0^2}{2g}\right)$; тогда y' изъ отрицательной величины (при $v_0 > v$) можетъ обратиться въ нѣкоторую положительную, и подпоръ: $y'' = c'c''$ приметъ уже величину бо́льшую, чѣмъ каждый изъ перепадовъ (профиль II). Вели-

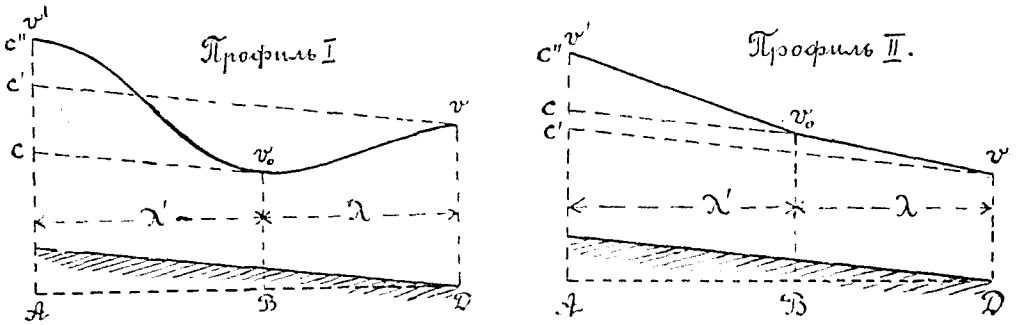


Рис. 249′.

чину опредѣленнаго интеграла для неправильнаго и неравномѣрнаго движенія трудно опредѣлить, но если предположимъ, что живыя сѣченія измѣняются пропорціонально разстояніямъ, то у Dupuit *) доказывается, что:

$$y' = \frac{v^2}{2g} - \frac{v_0^2}{2g} + \int_0^{\lambda} (\varphi - i)\, ds = \frac{v^2}{2g} - \frac{v_0^2}{2g} + i\lambda \left(\frac{\omega}{\omega_0} - 1\right);$$

$$y'' = \frac{v^2}{2g} - \frac{v'^2}{2g} + \int_0^{\lambda+\lambda'} (\varphi - i)\, ds = \frac{v^2}{2g} - \frac{v'^2}{2g} + i\left\{\lambda\left(\frac{\omega}{\omega_0} - 1\right) + \lambda'\left(\frac{\omega^2}{\omega_0\omega'} - 1\right)\right\};$$

$$y''' = \frac{v_0^2}{2g} - \frac{v'^2}{2g} + \int_0^{\lambda'} (\varphi - i)\, ds = \frac{v_0^2}{2g} - \frac{v'^2}{2g} + i\lambda'\left(\frac{\omega^2}{\omega_0\omega'} - 1\right),$$

гдѣ: ω, ω_0, ω' — сѣченія ниже моста, въ наиболѣе ежатой части и выше моста. Истинный подпоръ y'' при v и v', мало разнящихся одно отъ другого, и при $\omega = \omega'$ составляетъ: $y'' = i\,(\lambda + \lambda')\left(\frac{\omega}{\omega_0} - 1\right)$.

При небольшихъ λ — членъ $i\lambda\left(\frac{\omega}{\omega_0} - 1\right)$ всегда менѣе: $\frac{v^2}{2g} - \frac{v_0^2}{2g}$; поэтому, въ

*) Etudes sur le mouvement des eaux courantes.

случаѣ сжатія струи отъ присутствія моста, величина y' всегда $< o$, т. е. въ стѣсиеиномъ живомъ сѣченіи имѣетъ мѣсто профиль I. Такъ какъ приблизительно: $\omega = \omega'$, то, иа основаніи профили I, опредѣленный по обыкновенной формулѣ подпоръ: $h = \frac{v_0^2}{2g} - \frac{v'^2}{2g}$ будетъ *болѣе истиннаго подпора* (что и подтверждается измѣреніями) и *менѣе кажущагося*; такъ напримѣръ, если: $\frac{\omega}{\omega_0} = \frac{7}{3}$, а $i = 0{,}005$, то такъ какъ для мостовъ: $\lambda = \lambda' = 14'$, то $i\lambda\left(\frac{\omega}{\omega_0} - 1\right) = 1'',12$ будетъ ошибка противъ кажущагося подпора, и настоящее значеніе истиннаго подпора при $v = v'$ было бы $i\,(\lambda + \lambda') \cdot \left(\frac{\omega}{\omega_0} - 1\right) = 2'',24$.

Кромѣ вышеприведенной приближенной формулы для опредѣленія кажущагося подпора существуютъ еще другія, напримѣръ, если: B, H, v — ширина, средняя глубина и средняя скорость до устройства моста; b, h', v_0 и μ—ширина, средняя глубина, скорость и коэффиціентъ сжатія послѣ устройства моста; $h + h'$ — увеличенная глубина вслѣдствіе присутствія подпора h, то:

$$B \,.\, H \,.\, v = \mu b\ (h + h')\ v_0;$$

$$h = \frac{v_0^{\,2} - v^2}{2g} = \frac{v^2}{2g}\left\{\frac{B^2 \,.\, H^2}{\mu^2 b^2\ (h + h')^2} - 1\right\}.$$

По Heinemann'у подпоръ:

$$h = \frac{\omega_0 + Bh}{2\omega_0 + B}\,(0{,}175\ v_0^{\,2} - 0{,}102\ v^2),$$

гдѣ ω_0 — съуженное живое сѣченіе, B — ширина рѣки выше моста; v_0 — скорость въ съуженной части; v — скорость притекающей воды.

По Molesworth'у, если v — скорость притекающей воды въ футахъ въ ссекунду; ω — живое сѣченіе рѣки; ω_0 — съуженное живое сѣченіе, то подпоръ h въ футахъ:

$$h = \left(\frac{v^2}{58{,}6} + 0{,}05\right) \cdot \left[\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2 - 1\right].$$

Такъ напримѣръ:

Таблица a.

Скорость v	Подпоръ h въ футахъ, если $1 - \frac{\omega_0}{\omega} =$								
	$\frac{1}{10}$	$\frac{2}{10}$	$\frac{3}{10}$	$\frac{4}{10}$	$\frac{5}{10}$	$\frac{6}{10}$	$\frac{7}{10}$	$\frac{8}{10}$	$\frac{9}{10}$
1	0,06	0,04	0,07	0,12	0,20	0,35	0,68	1,61	6,64
2	0,03	0,07	0,12	0,21	0,35	0,62	1,20	2,84	11,71
3	0,05	0,11	0,21	0,36	0,61	1,07	2,06	4,88	20,15
4	0,08	0,18	0,34	0,57	0,97	1,70	3,27	7,75	31,97
5	0,11	0,27	0,50	0,85	1,43	2,50	4,81	11,44	47,17
6	0,16	0,37	0,69	1,18	1,99	3,48	7,05	15,92	65,65

причемъ скорость, вызванная съуженіемъ сѣченія: $\frac{1{,}1\ \omega v}{\omega_0}$.

По Rühlmann'у *протяженіе подпора*:

$$L = \frac{H}{i} \cdot \left[f\left(\frac{h}{H}\right)\right],$$

гдѣ i — уклонъ дна, H — глубина воды неподпертаго сѣченія, h — подпоръ.

Значенія $f\left(\frac{h}{H}\right)$ слѣдующія:

Таблица б.

$\frac{h}{H}$.	$f\left(\frac{h}{H}\right)$.	$\frac{h}{H}$.	$f\left(\frac{h}{H}\right)$.
0,01	0,0067	0,50	1,6611
0,05	0,5701	1,00	2,2839
0,10	0,8353	1,50	2,8337
0,30	1,3428		

Примѣръ. (Извлечено изъ Kaven'a Wegebau). Пусть поперечная профиль рѣки при высокомъ горизонтѣ имѣетъ вообще видъ, изображенный на чертежѣ пунктиромъ *abcdefghik* (рис. 250).

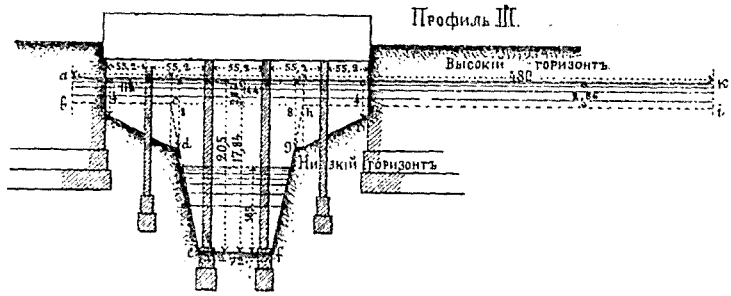


Рис. 250.

Предположимъ, что для профилей рѣки №№ I, II, III (изъ которыхъ профиль № II совпадаетъ съ осью предполагаемаго моста, а остальныя двѣ находятся отъ нея на равныхъ разстояніяхъ) опредѣлены слѣдующія значенія живого сѣченія, подводнаго периметра и средней глубины.

Таблица а.

	Правая сторона.	Главное русло.	Лѣвая сторона.	
	въ квадратныхъ футахъ.			
Живое сѣченіе	1832,2	2222,3	253,5	Профиль № I.
Подводный периметръ	604,3	153,2	78,7	
Средняя глубина	3,03	17,76	3,26	
Живое сѣченіе	1295,91	2348,5	345,1	Профиль № II.
Подводный периметръ	492,2	155,8	129,1	
Средняя глубина	2,86	21,09	2,70	
Живое сѣченіе	902,7	2388,1	380,7	Профиль № III.
Подводный периметръ	355,5	155,0	136,0	
Средняя глубина	2,50	22,43	2,80	

Пусть разность высотъ горизонтовъ воды между профилями I и III—8,3 фута. Если протяженіе главнаго русла между этими профилями—11200 футъ, а разлива—10160 футъ, то паденіе въ главномъ руслѣ: 0,000741, а на разливѣ—0,00082.

Затѣмъ, среднее значеніе живого сѣченія въ главномъ руслѣ:

$$\omega = \frac{2222{,}3 + 2348{,}5 + 2388{,}1}{3} = 2319{,}63 \text{ кв. ф.};$$

среднее значеніе подводнаго периметра въ главномъ руслѣ:

$$p = \frac{153{,}2 + 155{,}8 + 155{,}0}{3} = 154{,}67 \text{ ф.};$$

среднее значеніе средней глубины въ главномъ руслѣ:

$$h = \frac{17{,}76 + 21{,}09 + 22{,}43}{3} = 20{,}43, \text{ или } 20{,}5 \text{ фут.};$$

средній радіусъ:

$$R = \frac{\omega}{p} = \frac{2319{,}63}{154{,}67} = 15{,}00.$$

(Слѣдовательно, приблизительно средняя профиль главнаго русла имѣетъ очертаніе, показанное на чертежѣ, такъ какъ:

$$2{,}86 \times 144{,}2 + 17{,}64 \left(\frac{144{,}2 + 72{,}1}{2}\right) = 2320{,}18,$$

что близко къ 2319,63; кромѣ того ширины 144,2 и 72,1 показаны на чертежѣ въ круглыхъ цифрахъ: 144 и 72; вмѣсто 17,64 ошибочно помѣщено 17,84).

Среднее значеніе живого сѣченія правой стороны разлива:

$$\omega' = \frac{1832{,}2 + 1295{,}91 + 902{,}7}{3} = 1343{,}60 \text{ кв. ф.}$$

Средняя глубина:

$$h' = \frac{3{,}03 + 2{,}86 + 2{,}50}{3} = 2{,}80 \text{ ф.}$$

Слѣдовательно, средняя ширина:

$$\frac{1343{,}60}{2{,}8} = 480 \text{ футъ.}$$

Среднее значеніе подводнаго периметра:

$$p' = \frac{604{,}3 + 492{,}2 + 355{,}5}{3} = 484{,}00 \text{ ф.}$$

Средній радіусъ:

$$R' = \frac{\omega'}{p'} = \frac{1343{,}6}{484} = 2{,}78 \text{ ф.}$$

Для лѣвой стороны разлива:

$$\omega'' = \frac{253{,}3 + 345{,}1 + 380{,}7}{3} = 326{,}43 \text{ кв. фут.}$$

Средняя глубина:

$$h'' = \frac{3{,}26 + 2{,}70 + 2{,}80}{3} = 2{,}92 \text{ ф.}$$

Средняя ширина:

$$\frac{326}{2{,}92} = 111{,}8 \text{ или } 112 \text{ фут}$$

Среднее значеніе подводнаго периметра:

$$p'' = \frac{78{,}7 + 129{,}1 + 136}{3} = 114{,}6, \text{ или } 115.$$

Средній радіусъ:

$$R'' = \frac{\omega''}{p''} = \frac{326{,}43}{115} = 2{,}84 \text{ ф.}$$

Опредѣленіе среднихъ скоростей и расхода. По Darcy-Bazin'y (см. эмпирическія формулы

выражающія зависимость между средними скоростями, живымъ сѣченіемъ, подводнымъ периметромъ и уклономъ; группа I, стр. 142):

$$\frac{R \,.\, i}{v^2} = 0{,}00028 \left(1 + \frac{1{,}25}{R}\right),$$

гдѣ все выражено въ метрахъ. Переводя метры въ Ганноверскіе футы, получимъ:

$$\frac{R \,.\, i}{v^2} = 0{,}000082 \left(1 + \frac{4{,}275}{R}\right).$$

Такъ какъ въ этой формулѣ численныя значенія коэффиціентовъ опредѣлены изъ опытовъ надъ теченіемъ воды въ каналѣ съ гладкими земляными стѣнками, то, въ виду того, что дно главнаго русла рѣки обыкновенно гладкое, а ложе разлива покрыто растительностью, Кавенъ, при опредѣленіи скоростей по вышеприведенной формулѣ, вводитъ для главнаго русла коэффиціентъ 0,8, а для разливовъ—0,75. Слѣдовательно, средняя скорость на главномъ руслѣ:

$$v = 0{,}8 \sqrt{\frac{R \,.\, i}{0{,}000082 \times \left(1 + \frac{4{,}275}{R}\right)}} = 0{,}8 \sqrt{\frac{15 \times 0{,}000741}{0{,}000082 \times 1{,}283}} = 8{,}216 \text{ фут.}$$

Расходъ: $Q = \omega \,.\, v = 8{,}216 \times 2{,}319{,}63 = 19058$ куб. фут.

Подобнымъ образомъ средняя скорость для правой стороны разлива:

$$v' = 0{,}75 \sqrt{\frac{2{,}78 \,.\, 0{,}00082}{0{,}000082 \left(1 + \frac{4{,}275}{2{,}78}\right)}} = 2{,}47 \text{ фут.}$$

Расходъ: $Q' = 2{,}47 \times 1343{,}6 = 3318{,}69$ куб. фут.

Для лѣвой стороны разлива:

$$v'' = 0{,}75 \sqrt{\frac{2{,}84 \times 0{,}00082}{0{,}000082 \left(1 + \frac{4{,}275}{2{,}84}\right)}} = 2{,}52 \text{ фут.}$$

Расходъ: $Q'' = 2{,}52 \times 326{,}43 = 822{,}54$ куб. фут.

Слѣдовательно, общій расходъ:

$$Q_0 = 19058 + 3319 + 822 = 23199 \text{ куб. фут.}$$

Опредѣленіе величины отверстія. Такъ какъ меженній горизонтъ на 10 футъ ниже горизонта высокихъ водъ, то, благодаря крутизнѣ береговъ, живое сѣченіе можно увеличить, снявъ слой земли выше горизонта низкихъ водъ. (Для успѣшнаго дѣйствія подобнаго искусственнаго увеличенія живого сѣченія выемка грунта должна быть продолжена по обѣ стороны моста вверхъ и внизъ по крайней мѣрѣ на 30 саж.). Если предположить, что по снятіи этого слоя средняя глубина по обѣ стороны главнаго русла будетъ 6 футъ, то средняя скорость въ искусственно-углубленной части русла опредѣлится по формулѣ:

$$v' = 0{,}75 \sqrt{\frac{6 \,.\, i}{0{,}000082 \left[1 + \frac{4{,}275}{6}\right]}},$$

гдѣ приближенно вмѣсто средняго радіуса (который пока не можетъ быть извѣстенъ, такъ какъ необходимое уширеніе главнаго русла еще не опредѣлено) поставлено 6 фут., т. е. средняя глубина предполагаемаго уширенія.

Съ другой стороны, если b — искомое уширеніе главнаго русла, 6 фут. — средняя глубина уширенія, количество воды, которое должно пройти чрезъ это уширеніе, равное, очевидно, расходу воды по двумъ разливамъ: 3305 + 831 = 4136 куб. фут., то:

$$4136 = b \,.\, 6\ \text{ф}. \,.\, v' = b \,.\, 6 \times 0{,}75 \sqrt{\frac{6 \times 0{,}00082}{0{,}000082 \times (1{,}7125)}},$$

откуда: $b = 155{,}27$ фут.

Эту добавочную ширину въ 156 фут. можно прибавить, смотря по мѣстнымъ условіямъ, по обѣ или по одну сторону главнаго русла шириною въ 144 фут. Слѣдовательно, все чистое отверстіе моста:

$$156 + 144 = 300 \text{ фут.}$$

Назначивъ 5 пролетовъ и предполагая толщину промежуточной опоры въ 6 фут., получимъ окончательное чистое отверстіе каждаго пролета:

$$\frac{300 - 4 \times 6}{5} = 55{,}2 \text{ фут.}$$

Приблизительное опредѣленіе высоты подпора. Площадь живого сѣченія главнаго русла . . . . . 2319,63 кв. фут.

Площадь живого сѣченія уширенія, т. е. праваго и лѣваго бокового русла:

$6 \times 156 =$ . . . . . 936,00 кв. фут.

Итого . . . . . 3255,63 кв. фут.

или кругло: 3256 кв. фут.

Полный расходъ воды: 23199 куб. фут.; слѣдовательно, средняя скорость всего сѣченія:

$$v = \frac{23199}{3256} = 7{,}123 \text{ фут.}$$

За вычстомъ площади, занимаемой опорами, получимъ:

$$3256 - (2 \times 20{,}5 + 2 \times 6)\ 6 = 2938 \text{ кв. фут.}$$

Полагая коэффиціентъ сжатія въ 0,9, получимъ дѣйствительную рабочую площадь живого сѣченія:

$$0{,}9 \times 2938 = 2644{,}2 \text{ кв. фут.}$$

Далѣе, средняя скорость въ предѣлахъ моста:

$$v_1 = v \times \frac{3256}{2644{,}2} = \frac{3256}{2644{,}2} \times 7{,}123 = 8{,}771 \text{ фут.}$$

Слѣдовательно, приближенное значеніе высоты подпора:

$$h = \frac{{v_1}^2 - v^2}{2g} = \frac{(8{,}771)^2 - (7{,}123)^2}{2 \times 33{,}6\ ^*)} = \frac{26{,}1933}{67{,}2} = 0{,}39\ \text{ф.} = 4{,}68\ \text{дюйм.}$$

Подобное же опредѣленіе подпора можно сдѣлать для главнаго русла, скорость котораго, какъ прежде было найдено, составляетъ 8,216 фут., при площади живого сѣченія въ 2319,63 или 2320 кв. фут. Площадь живого сѣченія подъ мостомъ въ предѣлахъ главнаго русла, за вычетомъ площади, занимаемой двумя опорами:

$$2320 - 2 \times (6 \times 20{,}5) = 2074 \text{ кв. фут.},$$

а принимая во вниманіе коэффиціентъ сжатія:

$$0{,}9 \times 2074 = 1866{,}6 \text{ кв. фут.}$$

Слѣдовательно, средняя скорость въ предѣлахъ моста:

$$\frac{2320}{1866{,}6} \times 8{,}216 = 10{,}212 \text{ фут.},$$

*) Все выражено въ Ганноверскихъ футахъ; 1 Ганноверскій футъ = 11,5 русск. дюйм. = = 0,95833 . . . . . русск. фут.

а потому высота подпора:

$$h = \frac{\overline{10,212}^2 - \overline{8,216}^2}{2 \times 33,6} = \frac{36,7823}{67,2} = 0,5473 \text{ фут.},$$

такъ что поверхность рѣки выше моста должна представлять въ поперечномъ направленіи выпуклое очертаніе.

Можно ограничиться полученнымъ результатомъ вычисленія, или же сдѣлать вторично расчетъ, причисляя къ площади живого сѣченія выше моста добавочную площадь отъ подпора.

Зная среднюю скорость всего сѣченія, можно найти по ней наибольшую скорость на поверхности и затѣмъ наибольшую скорость по дну.

По Weisbach'y (см. группу II, стр. 145), если v — средняя скорость всего сѣченія, $max.\ v_0$ — наибольшая скорость на поверхности, то:

$$max.\ v_0 = \frac{v}{(0,915)^2} = \frac{8,216}{0,837} = 9,82.$$

Затѣмъ скорость по дну на той же вертикали, которая соотвѣтствуетъ maximum'y скорости на поверхности, по Weisbach'y (см. группу IV, стр. 147):

$$v_u = 0,83 \times max.\ v_0 = 0,83 \times 9,82 = 8,1506 \text{ ф.}$$

По Ламейеру (см. группу IV):

$$v_u = (0,8617 - 0,0469h)\ .\ max.\ v_0,$$

гдѣ все выражено въ метрахъ; переводя въ футы, получимъ:

$$v_u = (0,8617 - 0,0137\ h)\ max.\ v_0 = (0,8617 - 0,0137 \times 20,5)\ .\ 9,82 = 5,7039 \text{ Ганновер. фут.}$$

По Эйтельвейну:

$$v_u = max.\ v_0\ (1 - 0,0075\ .\ h) = 8,302 \text{ фут.}$$

Взявъ среднее значеніе изъ этихъ трехъ величинъ, получимъ = 7,38 фут. или 7,40 фут.

Если высота подпора въ главномъ руслѣ: $h = 0,5473$, то увеличенная, вслѣдствіе присутствія подпора, скорость по дну:

$$v_u' = \sqrt{2gh + v_u^2} = \sqrt{2 \times 33,6 \times 0,5473 + \overline{(7,40)}^2} = 9,56 \text{ фут.}$$

Лучшимъ указаніемъ, что скорость не преувеличена, могъ бы служить фактъ существованія вблизи моста живыхъ сѣченій, въ которыхъ наблюдается подобная скорость.

Увеличеніе вышеприведенной величины отверетія съ цѣлью избѣгнуть образованія подпора. Если по дну не можетъ быть допущена скорость 9,56 фут., которая превосходитъ на $9,56 - 7,40 = 2,16$ фут. скорость по дну, существовавшую до сооруженія моста, то необходимо настолько увеличить живое сѣченіе, чтобы не было подпора, который и вызвалъ это увеличеніе скорости.

Подпоръ образовался отъ двухъ причинъ: отъ непосредственнаго стѣсненія живого сѣченія опорами и отъ сжатія струи, вызваннаго тѣми же опорами. Слѣдовательно, если рабочее стѣсненное сѣченіе сдѣлать равнымъ живому сѣченію до постановки опоръ, т. е. равнымъ:

$$3256 \text{ кв. фут.} = (2320 + 936) \text{ кв. фут.},$$

то не должно быть и подпора. На этомъ основаніи, если стѣсненное опорами рабочее живое сѣченіе главнаго русла должно быть 2320 кв. футъ, то до постановки двухъ среднихъ опоръ оно должно быть:

$$\frac{2320}{0,9} + 2\ .\ (6 \times 20,5) = 2823,77 \text{ кв. фут.}$$

Равнымъ образомъ живое сѣченіе боковыхъ частей русла должно быть:

$$\frac{936}{0,9} + 2 \times 6 \times 6 = 1112 \text{ кв. фут.},$$

и полная площадь живого сѣченія: $\begin{array}{r} 2823,77 \\ 1112,00 \\ \hline 3935,77 \end{array}$ кв. фут.

вмѣсто прежнихъ 3256 кв. футъ.

Слѣдовательно, средняя скорость главнаго русла выше моста:

$$8,216 \times \frac{2320}{2824} = 6,75,$$

а подъ мостомъ, согласно заданію, — 8,216 и высота подпора:

$$h = \frac{8,216^2 - 6,75^2}{2 \times 33,6} = 0,326 \text{ фут.}$$

Въ дѣйствительности этотъ подпоръ нигдѣ не обнаружится. Еслибы не существовало моста, то въ сѣченіи, смежномъ съ ущереннымъ, образовалось бы наоборотъ *пониженіе* горизонта въ 0,326 фут.; но такъ какъ отъ присутствія моста образуется подпоръ той же высоты 0,326 фут., то въ дѣйствительности не обнаружится никакого повышенія горизонта выше моста.

Такимъ образомъ, если средняя скорость подъ мостомъ въ главномъ руслѣ—8,216 ф., то, какъ найдено было выше, наибольшая скорость на поверхности:

$$\frac{8,216}{0,837} = 9,82,$$

а, слѣдовательно, вѣроятная наибольшая скорость по дну: $0,83 \times 9,82 = 8,15$ фут.

Требуемыя увеличенія площади живого сѣченія главнаго русла и боковыхъ частей русла могутъ быть опредѣлены слѣдующимъ образомъ. Если задаться условіемъ, чтобы ширина главнаго русла по верху x была вдвое болѣе, чѣмъ по дну, то имѣемъ:

$$2,86 \cdot x + 17,64 \left(\frac{x + \frac{x}{2}}{2} \right) = 2824,$$

откуда: $x = 175,51$; слѣдовательно, ширина по дну — 87,76 фут., а такъ какъ прежняя ширина по дну была 72 фута, то пришлось бы съ обоихъ откосовъ русла снять слой толщиною $\frac{87,76 - 72}{2} = 7,88$ фут.

Равнымъ образомъ искомая ширина боковыхъ частей русла x_1 найдется изъ:

$$x_1 \cdot 6 = 1112, \quad \text{откуда: } x_1 = 185,33.$$

Слѣдовательно, вся ширина отверстія (рис. 251):

$$175,51 + 185,33 = 360,84 \text{ фут. или } 360 \text{ фут.}$$

что при 5-ти пролетахъ дало бы для каждаго изъ нихъ чистое отверстіе въ:

$$\frac{360 - 24}{5} = 67,2 \text{ фута, вмѣсто прежнихъ: } 55,2.$$

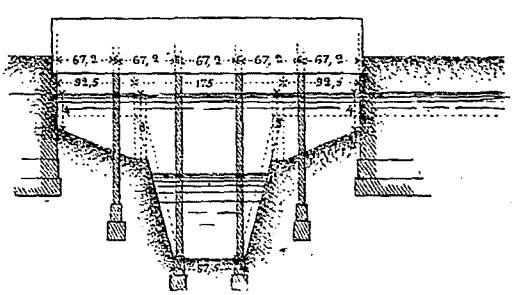


Рис. 251.

Еслибы по мѣстнымъ условіямъ оказалось полезнымъ не ставить опоры въ главномъ руслѣ (во избѣжаніе расходовъ по устройству дорого стоящихъ основаній), то, взявъ въ расчетъ съуженіе отъ одного только сжатія, получили бы живое сѣченіе въ главномъ руслѣ:

$$\frac{2320}{0,9} = 2577,8, \text{ или кругло } 2578 \text{ кв. фут.}$$

и, слѣдовательно, ширина главнаго русла вверху найдется изъ:

$$2,86 \cdot x + 17,64 \left(\frac{x + \frac{x}{2}}{2} \right) = 2578,$$

откуда: $x = 160,22$ фут., или 160 фут., и ширина по дну: $\frac{160}{2} = 80$ футъ.

Что же касается опредѣленія отверстія боковыхъ частей русла, то къ вышенайденнымъ 185,33 фута слѣдуетъ еще прибавить ширину двухъ промежуточныхъ опоръ, т. е. 12 футъ, и вся ширина боковыхъ частей русла составитъ:

$$185{,}33 + 12 = 197{,}33 \text{ фут., или } 198 \text{ фут.},$$

а потому величина каждаго изъ четырехъ боковыхъ пролетовъ:

$$\frac{198 - 4 \times 6}{4} = 43{,}5 \text{ фута},$$

при среднемъ пролетѣ въ 160 футъ (рис. 252).

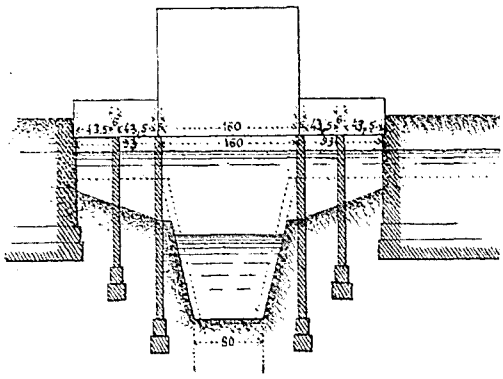


Рис. 252.

Еслибы, наконецъ, оказалось затруднительнымъ производить (подъ водой) уширеніе береговъ главнаго русла, то все необходимое уширеніе можно отнести на боковыя части русла. Въ этомъ случаѣ въ главномъ руслѣ не доставало бы:

$$2578 - 2320 = 258 \text{ кв. фут.},$$

каковая площадь, перенесенная на боковыя части русла, должна быть однако же увеличена въ отношеніи среднихъ скоростей въ главномъ руслѣ и въ боковыхъ его частяхъ.

Средняя скорость въ главномъ руслѣ — 8,216 фут., а въ боковыхъ частяхъ:

$$\frac{4141 \text{ куб. фут.}}{936 \text{ кв. фут.}} = 4{,}42 \text{ фут.}$$

Слѣдовательно, боковыя части русла необходимо увеличить на:

$$\frac{258 \times 8{,}216}{4{,}42} = 479{,}6 \text{ кв. фут.}$$

А такъ какъ средняя глубина выемокъ въ боковомъ руслѣ—6 фут., то пришлось бы прибавить еще:

$$\frac{479{,}6}{6} = 80 \text{ фут.},$$

оставляя безъ измѣненія ширину главнаго русла.

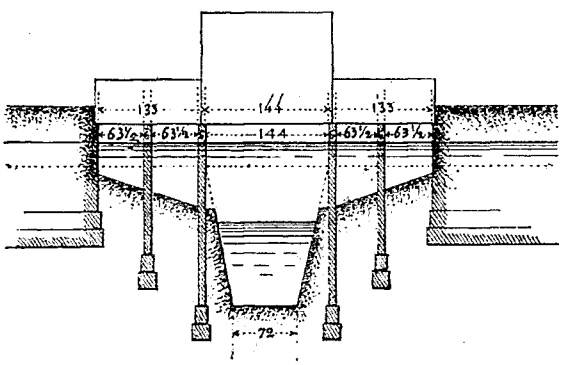


Рис. 253.

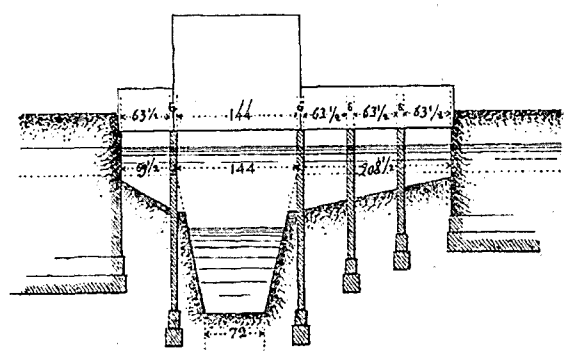


Рис. 254.

Такимъ образомъ, общее протяженіе искусственнаго углубленія боковыхъ частей русла:

$$185{,}33 + 80 + 12 = 277{,}33 \text{ фут., или } 278 \text{ фут.}$$

и въ этомъ случаѣ при среднемъ пролетѣ въ 144 фута каждый изъ четырехъ боковыхъ пролетовъ имѣлъ бы:

$$\frac{278 - 24}{4} = 63{,}5 \text{ фута (рис. 253).}$$

Иногда, по мѣстнымъ условіямъ, оказывается необходимымъ помѣщать наибольшій пролетъ не по серединѣ, а ближе къ одному берегу, какъ это изображено, напримѣръ, на рисункѣ 254.

Опредѣленіе отверстія моста, когда допуснается размывъ грунта. Опредѣленіе величины вѣроятнаго размыва. Два пріема опредѣленія необходимой для устойчивости опоры глубины заложенія основанія. Численные примѣры опредѣленія отверстія моста.

Второй случай. Допускается размываемость грунта на опредѣленную глубину. Эта глубина размыва, которая на *судоходныхъ рѣкахъ не должна составлять болѣе 50% отъ средней глубины до размыва*, находится, очевидно, въ зависимости: 1) отъ необходимой для устойчивости опоръ толщины слоя, сопротивляющагося выпиранію грунта изъ-подъ основанія опоръ, 2) отъ глубины рѣки и 3) отъ наибольшей возможной при данныхъ средствахъ глубины опусканія основанія опоръ. Такъ, напримѣръ, если наибольшее возможное опусканіе отъ уровня воды — H, необходимая толщина сопротивляющагося слоя — h (ниже будетъ сказано, какъ опредѣлить эту величину), глубина воды (до устройства опоръ) — h', то наибольшій допускаемый размывъ (рис. 255):

$$a = H - (h + h').$$

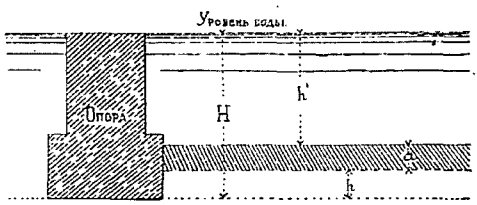


Рис. 255.

Что касается наибольшей возможной глубины H, то не желательно переходить предѣлъ 10—12 саж. ниже низкаго горизонта при опусканіи опоръ помощью сжатаго воздуха, хотя встрѣчаются примѣры, гдѣ глубина доходитъ до 15 саж., а при опусканіи опоръ помощью вычерпыванія грунта даже до глубины 54 м. = 25,38 с., какъ это имѣло мѣсто при сооруженіи моста Hawkesbury въ Австраліи.

Очевидно, что отверстіе моста должно быть таково, чтобы возможный размывъ, не превосходя на судоходныхъ рѣкахъ 50% отъ h', былъ не болѣе a.

Обратно, можно опредѣлить расчетомъ необходимую глубину опусканія опоры, въ зависимости отъ вѣроятнаго размыва — a, отъ необходимой толщины сопротивляющагося слоя h, и сравнить эту глубину H съ предѣломъ 10—12 саж. Если эта глубина H будетъ болѣе этого предѣла, или если хотя и при меньшей глубинѣ стоимость опоръ оказывается значительной, тогда задаются большей величиной отверстія l и вновь передѣлываютъ расчетъ, пока не получится удобное по исполненію и вмѣстѣ съ тѣмъ наиболѣе дешевое рѣшеніе.

Изложимъ этотъ обратный пріемъ и покажемъ предварительно, какъ опредѣлить величину вѣроятнаго размыва — a и необходимую толщину сопротивляющагося слоя — h.

Опредѣленіе величины вѣроятнаго размыва. Задаемся извѣстнымъ отверстіемъ l', обусловливаемымъ мѣстными условіями; обыкновенно для перваго приближенія задаются отверстіемъ, величина коего *равняется ширинѣ рѣки, при меженнемъ горизонтѣ*. Во всякомъ случаѣ *общее отверетіе* моста *не должно быть менѣе* этой нормы.

Когда рѣка разливается не на большое протяженіе, принято стѣснять живое сѣченіе рѣки отъ $\frac{1}{10}$ до $\frac{1}{6}$, то есть:

$$\frac{\omega - \omega_0}{\omega} = \frac{1}{10} \text{ до } \frac{1}{6},$$

гдѣ ω — площадь всего сѣченія, ω' — стѣсненнаго.

При большемъ разливѣ рѣки подъ ω должно подразумѣвать только ту часть всей площади живого сѣченія, въ которой скорость значительна.

Разсмотримъ два случая: *первый — когда разливъ не великъ и скорости довольно однообразны, и второй—съ значительною разницею скоростей по разливу.*

Если скорости по разливу *довольно однообразны*, то полный расходъ полыхъ водъ можетъ быть выраженъ чрезъ:

$$Q = \omega \,.\, v = l \,.\, h_0 \,.\, v,$$

гдѣ l — ширина рѣки до постройки моста; h_0 и v — среднія глубина и скорость; по стѣсненіи сѣченія въ первое время будемъ имѣть:

$$Q = \mu \,.\, \omega' \,.\, v' = \mu \,.\, l' \,.\, h_0 \,.\, v',$$

гдѣ l'—общее отверстіе моста; h_0—та же средняя глубина; v'—средняя скорость послѣ сооруженія моста; μ — коэффиціентъ сжатія, при чемъ, очевидно, $v' > v$. Но такъ какъ грунтъ размываемый, то увеличеніе скорости окажется только въ первое время; живое сѣченіе будетъ постепенно увеличиваться вглубь, а скорость уменьшаться, покуда скорость по дну, а, слѣдовательно, и средняя скорость не сдѣлаются снова равными своему прежнему значенію, и тогда:

$$Q = \omega \,.\, v = \mu \,.\, l' \,.\, h_0' \,.\, v,$$

откуда опредѣляется h'_0 — средняя глубина подъ мостомъ послѣ размыва, при чемъ v — та же средняя скорость, которая была до сооруженія моста. Такъ какъ $\mu < 1$, то, очевидно, новое живое сѣченіе $l' \,.\, h'_0$ будетъ нѣсколько болѣе прежняго живого сѣченія: $l \,.\, h_0 = \omega$. Если до размыва средняя глубина не стѣсненнаго русла $= h_0$, наибольшая — *max.* h_0, то:

$$\frac{max.\ h_0}{h_0} = \beta.$$

Если допустить, что отношеніе между среднею глубиною послѣ размыва—h'_0 и наибольшею глубиною послѣ размыва — *max.* h'_0 будетъ то же, что и до размыва, то:

$$max.\ h'_0 = \beta \,.\, h'_0.$$

Слѣдовательно, наибольшій размывъ будетъ:

$$a = max.\ h'_0 - max.\ h_0.$$

Если скорости по разливу *значительно отличаются одна отъ другой*, то въ предыдущемъ расчетѣ часто дѣлаютъ небольшое измѣненіе, которое, какъ увидимъ ниже, даетъ меньшую величину размыва. Въ этомъ случаѣ предполагаютъ, что размывъ прекратится не тогда, когда скорость по дну и средняя скорость новаго сѣченія сдѣлаются равными соотвѣтственнымъ скоростямъ всего прежняго сѣченія, а по уравненіи лишь съ скоростью главнаго русла прежняго сѣченія.

Разбивая живое сѣченіе на нѣсколько частей, напримѣръ, на три части: на среднюю по главному руслу съ достаточно однообразной скоростью и на двѣ крайнія части съ значительно меньшими скоростями, будемъ имѣть:

$$Q = \omega_1 \,.\, v_1 + \omega_2 \,.\, v_2 + \omega_3 \,.\, v_3.$$

По стѣсненіи главнаго сѣченія, скорость увеличится, русло начнетъ размываться до тѣхъ поръ, пока скорость по дну, а, слѣдовательно, и средняя скорость не достигнетъ того же значенія, которое она имѣла до сооруженія моста въ главномъ руслѣ.

Поэтому увеличившееся живое сѣченіе найдется изъ:

$$Q = \mu \,.\, \Omega \,.\, v_2.$$

Очевидно, что въ этомъ случаѣ новое живое сѣченіе Ω, несмотря на коэффиціентъ сжатія, будетъ значительно менѣе прежняго живого еѣченія:

$$\omega_1 + \omega_2 + \omega_3.$$

Если, далѣе, предположеннос отвѣрстіе моста — l', то средняя глубина послѣ размыва:

$$h'_0 = \frac{\Omega}{l'}.$$

Слѣдовательно, если *max.* h_0 и h_0 — наибольшая и средняя глубина въ *средней* части живого сѣченія до размыва, и если

$$\frac{max.\ h_0}{h_0} = \beta,$$

то вѣроятная наибольшая глубина послѣ размыва:

$$max.\ h'_0 = h'_0 \,.\, \beta,$$

и, слѣдовательно, наибольшій размывъ:

$$a = max.\ h'_0 - max.\ h_0.$$

Иногда опредѣляютъ величину размыва въ предположеніи, что размывъ одинаковъ по всему протяженію стѣсненнаго живого сѣченія, независимо отъ глубины въ каждомъ мѣстѣ. Такъ, напримѣръ, если живое сѣченіе въ первое время по сооруженіи моста — Ω_0, а по окончаніи размыва — Ω, и если, далѣе, l'—отверстіе моста, то величина размыва:

$$a = \Delta h = \frac{\Omega - \Omega_0}{l'};$$

но такой пріемъ, очевидно, не вѣренъ и можетъ быть допущенъ только въ такомъ случаѣ, если глубина довольно однообразна ио всему сѣченію.

Если размываемый грунтъ однообразнаго свойства залегаетъ до глубины большей, чѣмъ a, то, очевидно, наступитъ, наконецъ, моментъ, когда среднія скорости выше моста и мелсду опорами сравняются; тогда или вовсе не будетъ подпора, или будетъ только подпоръ, зависящій отъ елкатія струи. Если же иа глубинѣ a', меньшей a, имѣется уже грунтъ болѣе плотный, то дѣйствительный размывъ никогда ие достигнетъ расчетной величины a; слѣдовательиио, скорость между опорами увеличится сравнительно со скоростью выше моста, что будетъ имѣть слѣдствіемъ образованіе подпора. Величину этого подпора легко разсчитать, если извѣстенъ дѣйствительный размывъ $a'' < a$. Пусть (рис. 256) mn — дно рѣки; pq — граница легко-размываемаго грунта; необходимая глубина размыва, въ случаѣ однообразнаго грунта, — h''. Вначалѣ грунтъ размоется до глубины a'. Если при этомъ скорость по дну будетъ больше предѣльной скорости для второго слоя, то и второй болѣе плотный слой начнетъ размываться до такой глубины

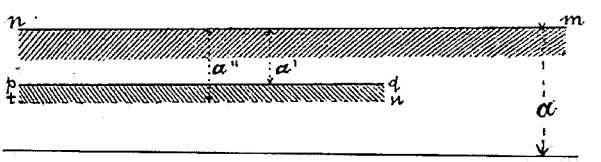


Рис. 256.

a'', при которой скорость по дну уже сдѣлается равной или менѣе предѣльной скорости. Эта величина a'', очевидно, найдется постепенными приближеніями.

Если этой глубинѣ соотвѣтствуетъ живое сѣченіе ω'' со среднею скоростью v'', то величина подпора:

$$h = \frac{1}{2g}(v''^2 - v^2).$$

Опредѣленную тѣмъ или инымъ путемъ *величину вѣроятнаго наибольшаго размыва* беруть во вниманіе при опредѣленіи глубины заложенія *каждой изъ промежуточныхъ опоръ*. Что же касается *глубины вѣроятнаго размыва близъ устоевъ*, то она обыкновенно принимается *равной* $^2/_3$ *отъ наибольшей глубины размыва или равной средней глубинѣ размыва.*

Опредѣленіе необходимой толщины сопротивляющагося слоя h. Приведемъ *два* пріема опредѣленія—одинъ, основанный на приравниваніи распора въ толщѣ грунта ниже подошвы основанія отпору окружающей массы грунта, и другой, который основывается на предположеніи, что вѣсъ опоры уравновѣшивается сопротивленіемъ грунта подъ подошвой основанія и боковымъ трепіемъ.

а) Основная мысль *перваго* пріема принадлежитъ Попселе; пользуясь ею, Паукеръ предложилъ слѣдующій выводъ формулы, выражающей необходимую глубину заложенія основанія въ песчаномъ грунтѣ неопредѣленнаго протяженія, другими словами, необходимую толщину слоя, сопротивляющагося выпиранію грунта изъ-подъ основанія.

Пусть (рис. 257) $ABCD$ — призма песка или земли, производящая то же давленіе на основаніе, какъ и данное сооруженіе; h' — высота этого песчанаго

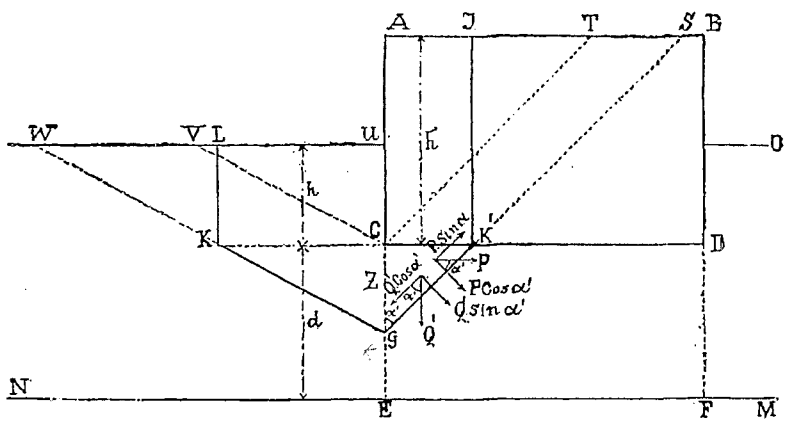


Рис. 257.

столба; h — искомая глубина заложенія; $LOMN$ — слой песчанаго основанія неограниченнаго протяженія. Для того, чтобы сооруженіе не оѣдало, необходимо, чтобы не было выпиранія грунта по гранямъ призмы CE и DF. Если взять перемѣнную глубину z, то необходимо, чтобы для каждой глубины давленіе отъ нѣкоторой *наибольшей* призмы обрушенія $GK'STC$, или отъ равнозначащей ей $GK'JA$, равнялось давленію отъ наименьшей призмы обрушенія $CGVW$, или равной ей $GKLU$, или лучше, чтобы первое было менѣе второго. Выразимъ аналитически это условіе, предполагая оба давленія горизонтальными.

Горизонтальное давленіе отъ наибольшей призмы обрушенія назовемъ *давленіемъ* (P), а горизонтальное давленіе отъ наименьшей призмы обрушенія—*отпоромъ* (R) земли. Слѣдовательно, необходимо, чтобы max. $P \leqslant$ min. R. Въ

основаніе пріема положено предположеніе, что выпиранію грани $z = CG$, вызываемому стремленіемъ призмы $CGTS$ опуститься внизъ, противодѣйствуетъ призма отпора $CGVW$, которая, въ случаѣ выпиранія грани CG, должна передвинуться вверхъ.

Съ перваго взгляда казалось бы, что для равновѣсія обѣ призмы должны имѣть одинаковую высоту, если даже принимать въ обоихъ случаяхъ одинаковый уголъ обрушенія; но если взять въ расчетъ треніе, которое проявляется по граямъ GS и GW, то можетъ случиться, что меньшая призма не только при равныхъ, но и при неравныхъ углахъ обрушенія въ состояніи оказать достаточное сопротивленіе выпиранію вверхъ отъ давленія большей призмы.

Дѣйствительно, горизонтальное давленіе на грань $z = CG$ со стороны призмы $CGTS$ вызывается вѣсомъ призмы, вліяніе коего въ значительной степени уменьшается треніемъ по грани GS. Съ другой стороны выпиранію вверхъ призмы $CGWV$ сопротивляется не только вѣсъ ея, но и треніе по грани GW.

Найдемъ аналитическія выраженія давленія P на грань $z = CG$, вызываемаго стремленіемъ призмы $CGTS$ опуститься внизъ, принимая въ расчетъ треніе; затѣмъ найдемъ при такихъ-же условіяхъ выраженіе отпора R, т. е. значеніе горизонтальной силы, которую нужно было бы приложить къ грани $z = CG$ призмы $CGVW$, чтобы поднять ее вверхъ.

Пусть Q' — вѣсъ призмы $AJK'G$; P — горизонтальная сила, прямо-противоположная искомому давленію. Слѣдовательно, эта сила P въ состояніи удержать въ равновѣсіи призму обрушенія $AJK'G$. Если: Q' — вѣсъ этой призмы; α' — уголъ наклоненія грани GK' къ вертикали; f — коэффиціентъ тренія песка по песку, то, сдѣлавъ показанное на чертежѣ разложеніе силъ, получимъ выраженіе силы, побуждающей призму скатиться внизъ: $Q' . \cos \alpha' - P . \sin \alpha'$, а выраженіе силы, удерживающей призму:

$$f (Q' . \sin \alpha' + P . \cos \alpha').$$

Для равновѣсія необходимо, чтобы:

$$Q' \cos \alpha' - P . \sin \alpha' = f (Q' . \sin \alpha' + P . \cos \alpha'),$$

откуда:

$$P = Q' \frac{\cos \alpha' - f . \sin \alpha'}{\sin \alpha' + f . \cos \alpha'} = Q' \left(\frac{1 - f . \operatorname{tang} \alpha'}{\operatorname{tang} \alpha' + f} \right).$$

Найдемъ значеніе угла α', при которомъ P дѣлается шах.; назовемъ на время $\operatorname{tang} \alpha' = x'$, тогда:

$$P = Q' \left(\frac{1 - f . x'}{f + x'} \right);$$

но

$$Q' = \left(h' . z \operatorname{tang} \alpha' + \frac{z^2}{2} . \operatorname{tang} \alpha' \right) \delta = \delta \left(h' . z + \frac{z^2}{2} \right) . x',$$

гдѣ δ — вѣсъ кубической единицы даннаго грунта; толщину призмы принимаемъ равной единицѣ. Слѣдовательно:

$$P = \delta \left(h' . z + \frac{z^2}{2} \right) . \left(\frac{1 - f . x'}{f + x'} \right) . x';$$

$$\frac{dP}{dx'} = \delta\left(h'.z + \frac{z^2}{2}\right).\left[\frac{(f+x').(1-2fx') - (1-fx').x'}{(f+x')^2} = \right.$$

$$= \delta\left(h'.z + \frac{z^2}{2}\right).f\frac{(1-2fx'-x'^2)}{(f+x')^2} = 0,$$

что возможно при $1-2fx'-x'^2 = 0$, откуда:

$$x' = -f \pm \sqrt{1+f^2}.$$

Взявъ вторую производную и вставивъ значеніе корня съ верхнимъ знакомъ, получимъ:

$$\frac{d^2P}{dx'^2} = \delta\left(h'.z + \frac{z^2}{2}\right).\left[\frac{(f+x')^2.(-2f^2-2fx') - 2f(1-2fx'-x'^2).(f+x')}{(f+x')^4}\right] =$$

$$= -\delta\left(h'.z + \frac{z^2}{2}\right).\frac{2f(f^2+1)}{\sqrt{(1+f^2)^3}} = -\delta\left(h'.z + \frac{z^2}{2}\right).\frac{2f}{\sqrt{1+f^2}}.$$

Слѣдовательно: $x' = -f + \sqrt{1+f^2}$ соотвѣтствуетъ maximum'у. Но $f = tang\,\varphi$, гдѣ φ — уголъ естественнаго откоса; поэтому:

$$x' = -tang\,\varphi + \sqrt{1+tang^2\varphi} = sec\,\varphi - tang\,\varphi = \frac{1-sin\,\varphi}{cos\,\varphi} = tang\,\frac{(90^0-\varphi)}{2}.$$

Слѣдовательно:

$$\text{Maximum } P = \delta\left(h'.z + \frac{z^2}{2}\right).\frac{(1-fx')}{f+x'} : x' =$$

$$= \delta\left(h'.z + \frac{z^2}{2}\right)\frac{(1+f^2-f\sqrt{1+f^2})}{\sqrt{1+f^2}}.x' = \delta\left(h'.z + \frac{z^2}{2}\right).(\sqrt{1+f^2}-f).x' =$$

$$= \delta\left(h'.z + \frac{z^2}{2}\right).x'.x' = \delta\left(h'.z + \frac{z^2}{2}\right).tang^2\left(\frac{90^0-\varphi}{2}\right).$$

Найдемъ теперь minimum значенія R. Общее выраженіе отпора R получимъ, написавъ условіе равновѣсія между силами, стремящимися выдвинуть вверхъ призму $CGWV$, и сопротивляющимися силами (рис. 258).

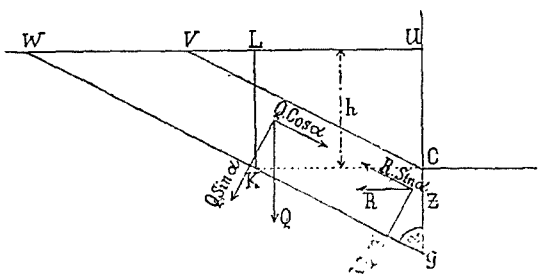


Рис. 258.

Если Q — вѣсъ призмы $GULK$ или $GCVW$, и α — уголъ наклоненія призмы обрушенія, то, сдѣлавъ указанное на рис. 258 разложеніе силъ, найдемъ, что сила, стремящаяся выдвинуть призму вверхъ, будетъ:

$$R.sin\,\alpha - Q.cos\,\alpha,$$

а сила, удерживающая призму:

$$(Q.sin\,\alpha + R.cos\,\alpha).f.$$

Для равновѣсія необходимо, чтобы:

$$R.sin\,\alpha - Q.cos\,\alpha = f\,(Q.sin\,\alpha + R.cos\,\alpha),$$

откуда:

$$R = \frac{Q\,(\cos\alpha + f\,.\,\sin\alpha)}{\sin\alpha - f\,.\,\cos\alpha} = \frac{Q\,(1 + f\,.\,tang\,\alpha)}{tang\,\alpha - f} =$$

$$= \delta\left(h\,.\,z\,.\,tang\,\alpha + \frac{z^2}{2}\,.\,tang\,\alpha\right)\,\frac{(1 + f\,.\,tang\,\alpha)}{tang\,\alpha - f} = \delta\left(h\,.\,z + \frac{z^2}{2}\right).\frac{(1+f\,.\,x)}{x-f}\,.x$$

если: $x = tang\,\alpha$.

Взявъ производную по x и приравнявъ ее нулю, найдемъ:

$$\frac{dR}{dx} = \delta\left(h\,.\,z + \frac{z^2}{2}\right).\left[\frac{(x-f)\,.\,(1+2fx) - (x+fx^2)}{(x-f)^2}\right] =$$

$$= \delta\left(h\,.\,z + \frac{z^2}{2}\right).\frac{f\,(-1+x^2-2fx)}{(x-f)^2} = 0,$$

что удовлетворяется при: $x^2 - 2fx - 1 = 0$, откуда:

$$x = f \pm \sqrt{f^2+1}\,.$$

Взявъ вторую производную и подставивъ значеніе x съ верхнимъ знакомъ передъ радикаломъ, получили бы, что: $\frac{d^2R}{dx^2} > 0$.

Слѣдовательно, значеніе: $x = f + \sqrt{f^2+1}$ соотвѣтствуетъ minimum'у значенія R.

Далѣе:

$$x = f + \sqrt{1+f^2} = tang\,\varphi + sec\,\varphi = \frac{\sin\varphi + 1}{\cos\varphi} = tang\,\frac{(90^0+\varphi)}{2}\,.$$

Слѣдовательно:

$$\min.\,R = \delta\left(h\,.\,z + \frac{z^2}{2}\right).\frac{(1+f^2+f\sqrt{1+f^2})}{\sqrt{1+f^2}}\,.x =$$

$$= \delta\left(h\,.\,z + \frac{z^2}{2}\right).(\sqrt{1+f^2}+f) : x = \delta\left(h\,.\,z + \frac{z^2}{2}\right).x^2 =$$

$$= \delta\left(h\,.\,z + \frac{z^2}{2}\right).\,tang^2\,\frac{(90^0+\varphi)}{2}\,.$$

Неравенство maximum $P <$ minimum R должно существовать для каждаго элемента ребра CG призмы; поэтому:

$$\frac{d\,(\max.\,P)}{dz}\,dz < \frac{d\,(\min.\,R)}{dz}\,.\,dz\,,$$

или:

$$\delta\,(h+z)\,.\,tang^2\,\frac{(90^0+\varphi)}{2} - \delta\,(h'+z)\,.\,tang^2\,\frac{(90^0-\varphi)}{2} > 0,$$

или:

$$h\,.\,tang^2\left(\frac{90^0+\varphi}{2}\right) - h'\,.\,tang^2\left(\frac{90^0-\varphi}{2}\right) +$$

$$+ z\left[tang^2\left(\frac{90^0+\varphi}{2}\right) - tang^2\left(\frac{90^0-\varphi}{2}\right)\right] > 0. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (a)$$

Если откинемъ послѣдній положительный членъ и найдемъ значеніе h, удовлетворяющее иеравенсту:

$$h \,.\, tang^2 \left(\frac{90^0 + \varphi}{2}\right) - h' \,.\, tang^2 \left(\frac{90^0 - \varphi}{2}\right) > 0,$$

то тѣмъ болѣе это значеніе h удовлетворитъ перавенству (a).

Изъ предыдущаго же неравенства имѣемъ:

$$h > h' \frac{tang^2 \left(\frac{90^0 - \varphi}{2}\right)}{tang^2 \left(\frac{90^0 + \varphi}{2}\right)},$$

или:

$$h > h' \,.\, tang^4 \left(\frac{90^0 - \varphi}{2}\right). \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

При $\varphi = 30^0, tg^4 \left(\frac{90^0 - \varphi}{2}\right) = \frac{1}{9}$, слѣдовательно приблизительно $h > \frac{h'}{9}$.

Такимъ образомъ, необходимая глубина заложенія h опредѣлится, коль скоро извѣстна высота песчанаго столба h', замѣняющаго собою сооруженіе. Эта величина найдется такъ: если N — вѣсъ опоры съ передающимся на нее вѣсомъ пролетной части и подвижной нагрузки, F — площадь основанія, то давленіе на квадратную единицу основанія: $\Delta = \frac{N}{F}$. Если δ — вѣсъ кубической единицы песка, то высота столба h', производящаго то же давленіе Δ на квадратную единицу, найдется изъ:

$$h' \,.\, \delta = \Delta; \; h' = \frac{\Delta}{\delta} = \frac{N}{F\delta}.$$

Слѣдовательно:

$$h > \frac{N}{F\delta} \,.\, tang^4 \left(\frac{90^0 - \varphi}{2}\right).$$

[Этотъ способъ расчета примѣняется въ случаѣ кессонныхъ основаній, опускныхъ цилиндровъ и проч. Нѣкоторые инженеры предлагаютъ его и для расчета степени устойчивости сооруженія на свайномъ основаніи, считая h за разстояніе отъ поверхности земли до низа свай].

Если предполагаемый наибольшій размывъ есть a, то полная глубина заложенія, считая отъ дна, должна быть: $a + h$, которую обыкновенно еще нѣсколько увеличиваютъ.

Если h_m — толщина слоя грунта выше основанія до начала размыва, h — толщина слоя, необходимая для устойчивости опоры, то $\frac{h_m}{h} = m$ будетъ коэффиціентъ устойчивости вначалѣ сооруженія моста.

Если h'_m — толщина слоя грунта выше основанія послѣ размыва, то, очевидно, необходимо, чтобы и въ этомъ случаѣ коэффиціентъ устойчивости $\frac{h'_m}{h} = m'$ никогда не былъ < 1.

Безъ сомнѣнія второй коэффиціентъ m' и можетъ только дать вѣрное понятіе объ устойчивости опоры. Къ сожалѣнію, имѣется очень немного данныхъ для опредѣленія средняго значенія этого коэффиціента, т. е. по нѣкоторымъ суще-

ствующимъ сооруженіямъ не имѣется свѣдѣній ни о предположенной, ни о дѣйствительно оказавшейся величинѣ размыва. Гораздо болѣе данныхъ для опредѣленія перваго коэффиціента m, которымъ въ крайнемъ случаѣ также можно руководствоваться.

Въ слѣдующей таблицѣ приведены вычисленіыя для опоръ нѣкоторыхъ мостовъ величины m и m', при чемъ оказывается, что среднее значеніе для $m = 3{,}36$, а для $m' = 2{,}52$; казалось бы достаточнымъ назначить: для $m = 3{,}5$, а для $m' = 2{,}5$.

Вездѣ принято: $\varphi = 30^0$ и $\delta = 3{,}33$ пуда.

НАЗВАНІЯ.	Глубина h_m заложенія основанія, считая отъ дна рѣки, до образованія размыва.	Давленіе на квадратный футъ основанія: $\Delta = \frac{N}{F}$.	Коэффиціентъ устойчивости до размыва: $m = \frac{h_m \delta}{\Delta tang^4\left(\frac{90^0 - \varphi}{2}\right)}$	Глубина заложенія основанія, считая отъ дна послѣ размыва, предполагаемая и дѣйствительная.	Коэффиціентъ устойчивости послѣ размыва: m'.
	фут.	пуд.			
Мостъ чрезъ р. Вислу на Обводной вѣтви въ Варшавѣ, быкъ № 3 . .	28′	339,84	2,47	—	—
Мостъ чрезъ р. Вислу, остальные быки	42′	397,44	3,17	—	—
Быкъ моста чрезъ р. Двину въ Ригѣ .	58′	464,00	3,74	—	—
Быкъ Волжскаго моста на Рыбинско-Бологовской жел. дорогѣ	35′	384,00	2,73	—	—
Быкъ Волжскаго моста на Рыбинско-Бологовской жел. дорогѣ	50′	435,00	3,45	—	—
Быкъ Ковровскаго моста на Нижегородской жел. дорогѣ	45′,5	310,72	4,38	предпол. 28′	1,69
Быкъ Ковровскаго моста на Нижегородской жел. дорогѣ	38′,5	286,22	4,03	—	—
Быкъ Кіевскаго моста чрезъ рѣку Днѣпръ	45′,78	337,00	4,06	дѣйств. 38′,36	3,41
Быкъ моста Императора Александра II чрезъ р. Неву	37′	396,00	2,80	—	—
Быкъ моста Императора Александра II чрезъ р. Неву	50′	445,00	3,37	—	—
Быкъ Александровскаго моста чрезъ р. Волгу	43′	453,00	2,83	предпол. 28′	1,84*)
Быкъ моста чрезъ р. Аа на Риго-Тукумской жел. дорогѣ	42′	379,00	2,31	предпол. 35′	2,75
Быкъ № 8 моста чрезъ р. Днѣпръ на Екатерининской жел. дорогѣ (въ Екатеринославѣ)	48′	430,00	3,34	дѣйств. 42′	2,82
Въ среднемъ . .	—	—	3,36	—	2,52

Слѣдуетъ замѣтить, что, если вслѣдствіе какихъ-либо причинъ оказалось невозможнымъ заложить основаніе на предположенной глубинѣ, то, во избѣ-

*) Въ дѣйствительности опоры быковъ опущены до скалы.

жаніе опасиаго въ такомъ случаѣ размыва грунта у недостаточно глубоко заложенной опоры, необходимо принять мѣры къ укрѣпленію ложа рѣки кругомъ этой опоры. Ширина этого укрѣпленія (рис. 259) опредѣлится по формулѣ:

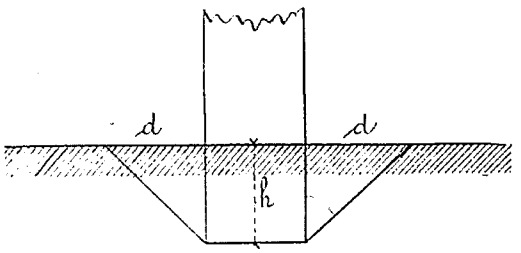


Рис. 259.

$$d = h\ tang\left(45° + \frac{\varphi}{2}\right),$$

гдѣ φ — уголъ естественнаго откоса, h — дѣйствительная глубина заложенія. Найденное такимъ образомъ значеніе d полезно увеличить на $33^0/_0$. Укрѣпленіе лучше дѣлать изъ фашиннаго тюфяка съ каменной наброской, или изъ свай, забитыхъ частокомъ, при чемъ промежутки должны быть заполнены камнемъ.

б) *Второй* пріемъ опредѣленія искомой глубины заложенія опоры состоитъ въ томъ, что вѣсъ опоры съ приходящимся на нее грузомъ приравниваютъ сопротивленію дна и боковому тренію.

Пусть: H — высота опоры надъ дномъ рѣки послѣ размыва,
h — искомая глубина заложенія,
P — нагрузка на опору,
p — вѣсъ опоры на погонную единицу по высотѣ,
F_1 — площадь основанія опоры,
q_1 — сопротивленіе грунта на квадратную единицу основанія,
F_2 — боковая поверхность опоры на погонную единицу по высотѣ,
q_2 — боковое давленіе на квадратную единицу поверхности,
k — коэффиціентъ тренія;

тогда, очевидно:

$$P + p\ (H + h) = F_1 . q_1 + k . F_2 . q_2 . h. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2)$$

Для сухихъ грунтовъ: q_1 — должно быть опредѣлено опытомъ, а q_2 — по формулѣ:

$$q_2 . h = \frac{\delta . h^2}{2} . tang^2\left(45^0 - \frac{\varphi}{2}\right) *),$$

гдѣ δ — вѣсъ кубической единицы грунта. Для грунтовъ, насыщенныхъ водою и разсматриваемыхъ, какъ жидкая масса, если δ'—вѣсъ куб. ед. грунта, насыщеннаго водой:

$$q_1 = \delta' . h; \quad q_2 . h = \frac{\delta' . h^2}{2},$$

если горизонтъ воды совпадаетъ съ дномъ рѣки. Если же горизонтъ воды выше дна на величину d, и если δ'' — вѣсъ кубической единицы воды, то:

$$q_1 = \delta'' . d + \delta' . h; \; q_2 . h = \delta'' . d . h + \frac{\delta' . h^2}{2}.$$

Примѣрами опредѣленія отверстій въ размываемыхъ грунтахъ можно привести: Волжскій мостъ на Оренбургской желѣзной дорогѣ, гдѣ размывъ допущенъ

*) На основаніи формулы стр. 188.

$$max . P = \delta\left(h' . z + \frac{z^2}{2}\right) . tang^2\left(45^0 - \frac{\varphi}{2}\right)$$

гдѣ: $h' = 0$.

отъ 1,95 до 2,45 саж.; мостъ чрезъ р. Аа на Риго-Туккумской жел. дорогѣ, съ допущеннымъ размывомъ въ 1,00 саж.; мостъ Quincy чрезъ Миссисипи въ штатѣ Иллиноисѣ, съ допущеннымъ размывомъ отъ 0,70 саж. до 1,00 саж. (опоры на свайномъ основаніи). На послѣдней рѣкѣ дѣйствительный размывъ оказался даже болѣе предположеннаго, вслѣдствіе временнаго стѣсненія живого сѣченія подмостями и проч. Такъ, напримѣръ, до постройки опоръ площадь живого сѣченія составляла 75636 квадратныхъ футъ; вначалѣ послѣ устройства опоръ— 65136, по окончаніи сооруженія — 80684 кв. футъ, т. е. болѣе прежней на 5048 кв. футъ, что имѣло слѣдствіемъ уменьшеніе скорости сравнительно съ прежней скоростью

Приведемъ два примѣра *опредѣленія величины размыва* и *глубины заложенія* и третій примѣръ —опредѣленія *отверстія, величины размыва* и *глубины заложенія*; первый примѣръ относится къ случаю достаточно-однообразной скорости по всему сѣченію нестѣсненнаго русла, а второй — къ случаю неоднообразной скорости, при чемъ въ первомъ примѣрѣ глубина заложенія опредѣлена по формулѣ Наукера (1), а во второмъ по формулѣ (2).

Примѣръ 1-й. Глубина заложенія опоръ моста черезъ рѣку Вислу на Ивангородо-Домбровской желѣзной дорогѣ опредѣлена на основаніи слѣдующихъ соображеній. При ширинѣ рѣки въ 600 саженъ между существующими ограждающими дамбами у Ивангорода, площадь живого сѣченія при высокомъ горизонтѣ составляетъ 1250 кв. саж. при средней глубинѣ въ 4 саж., при чемъ скорость по всему протяженію между дамбами довольно однообразна. По примѣрнымъ соображеніямъ найдено возможнымъ съузить ширину рѣки въ предѣлахъ моста до 200 саженъ; если предположить, что вслѣдствіе увеличенной скорости съуженное живое сѣченіе вновь достигнетъ своей первоначальной величины, или правильнѣе, будетъ даже нѣсколько болѣе въ отношеніи $\frac{1}{\mu}$, гдѣ $\mu = 0{,}95$ коэффиціента сжатія, то вѣроятная средняя глубина послѣ размыва будетъ:

$$\frac{1250}{0{,}95 \times 200} = 6{,}58 \text{ саженъ},$$

то-есть средняя глубина увеличится въ $\frac{6{,}58}{4} = 1{,}645$ раза.

Если допустить, что то же отношеніе будетъ имѣть мѣсто для каждой отдѣльной вертикали живого сѣченія, то наибольшая глубина рѣки (3,79 с.), на которой предполагалось заложить одинъ изъ кессоновъ, должна увеличиться до: $3{,}79 \times 1{,}645 = 6{,}23$ саж., то-есть. въ этомъ мѣстѣ величина размыва будетъ: $6{,}23 - 3{,}79 = 2{,}44$ саж.

Наименьшая глубина заложенія, т. е. наименьшая толщина слоя земли, удерживающаго опору еще въ равновѣсіи, опредѣлится по формулѣ:

$$h > k' \cdot tang^4 \left(\frac{90^0 - \varphi}{2} \right);$$

φ—для иловатаго песку $= 27^0$. При вѣроятной глубинѣ заложенія въ 8 саженъ:

Вѣсъ каменной кладки въ быкѣ: 253 к. с. $\times$ 1300 = ...	328900	пуд.
Вѣсъ пролетной части, передающійся на одну опору = ...	40000	»
Вѣсъ подвижного груза = ...	47600	»
	416500	пуд.
Вычитая вѣсъ вытѣсненной воды при меженнемъ горизонтѣ и предполагая, что на глубинѣ заложенія опоры грунтъ насыщенъ водою, получимъ: 182,68 к. с. $\times$ 593 = ...	108329	»
Остается	308171	пуд.
или кругло	310000	»

Площадь основанія быка: 1103 кв. ф., или 22,5 кв. саж.

Давленіе на одну кв. саж.: $\frac{310000}{22{,}5} = 13778$.

Слѣдовательно, вѣсъ песчанаго столба, производящаго тоже давленіе на основаніе, какъ и вѣсъ кладки быка съ пролетною частью и подвижнымъ грузомъ:

$$h' = \frac{13778}{1000} = 13{,}78 \text{ саж.}$$

Далѣе:

$$tang^4\left(\frac{90^0 - \varphi}{2}\right) = tang^4\ 31^0\ 30' = 0{,}14.$$

Слѣдовательно: $h > 13{,}78 \times 0{,}14 = 1{,}93$ саж.

А такъ какъ вѣроятная величина размыва, какъ найдено выше,—2,44 с., то полная наименьшая глубина заложенія кессона отъ неразмытаго дна:

$$2{,}44 + 1{,}93 = 4{,}37 \text{ саж.},$$

а отъ ординара, который въ этомъ мѣстѣ выше дна на 0,92 саж., глубина заложенія составитъ 5,29 саж.

Но, очевидно, этой глубиной опасно было бы ограничиться, такъ какъ при вѣроятномъ размывѣ въ 2,44 саж. остается слой песку всего въ 1,93 сажени, т. е. достаточный только для удержанія опоры въ равновѣсіи. Взявъ среднее значеніе коэффиціента устойчивости послѣ размыва, а именно: $m' = 2{,}50$, найдемъ, что глубина заложенія послѣ размыва должна быть:

$$1{,}93 \times 2{,}50 = 4{,}82;$$

слѣдовательно, до размыва глубина заложенія отъ дна:

$$4{,}82 + 2{,}44 = 7.26,$$

а отъ ординара:

$$4{,}82 + 2{,}44 + 0{,}92 = 8{,}18.$$

Пользуясь же среднимъ значеніемъ коэффиціента до размыва, получаемъ глубину заложенія отъ ординара:

$$3{,}5 \times 1.93 + 0.92 = 7{,}67.$$

Въ дѣйствительности кессоны назначено опустить на глубину 8 саж. отъ ординара. Поэтому дѣйствительный запасъ устойчивости, взявъ во вниманіе размывъ, составитъ:

$$\frac{8{,}00 - 0{,}92 - 2{,}44}{1{,}93} = 2{,}40,$$

что вполнѣ достаточно, такъ какъ существующіе примѣры показываютъ, что въ нѣкоторыхъ случаяхъ (Ковровскій мостъ) этотъ коэффиціентъ составляетъ всего 1,69.

Примѣръ 2-й. Приведемъ опредѣленіе величины размыва и глубины заложенія опоръ моста чрезъ рѣку Аа на Риго-Туккумской желѣзной дорогѣ.

Такъ какъ скорости по разливу оказались весьма неодинообразными, а именно: у праваго берега—отъ 0,014 с. до 0,181 саж. въ одну секунду, въ руслѣ—отъ 0,193 с. до 0,280 с., у лѣваго берега—отъ 0,093 с. до 0,176 саж., то все живое сѣченіе было подраздѣлено на три части: у праваго берега—103,205 кв. саж., въ руслѣ—330,202 кв. саж., у лѣваго берега—18,984 кв. саж.

Такимъ образомъ общій расходъ:

$$Q = \omega_1 . v_1 + \omega_2 . v_2 + \omega_3 . v_3 = 12{,}265 + 79{,}615 + 2{,}635 = 94{,}515 \text{ куб. саж.}$$

Средняя скорость въ средней части живого сѣченія:

$$v_2 = \frac{79{,}615}{330{,}202} = 0{,}241 \text{ саж. въ 1 сек.}$$

Предполагая, что послѣ размыва скорость въ стѣсненномъ сѣченіи будетъ та же, какъ въ главномъ руслѣ нестѣсненнаго сѣченія, получимъ полное живое сѣченіе послѣ размыва:

$$\Omega = \frac{Q}{\mu . v_2} = \frac{94{,}515}{0{,}95 \times 0{,}241} = 412{,}819 \text{ кв. саж.}$$

(между тѣмъ какъ прежняя площадь живого сѣченія: 452,391 кв. саж.).

При предположенной величинѣ отверстія моста въ 122 саж., площадь живого сѣченія въ первое время послѣ сооруженія моста—281,466 кв. саж.

Слѣдовательно, площадь вѣроятнаго размыва:

$$412{,}819 - 281{,}466 = 131{,}353 \text{ кв. саж.},$$

а глубина размыва, предположенная одинаковой по всему сѣченію (что, какъ сказано было выше, не вполнѣ правильно):

$$\Delta h = \frac{131{,}353}{122} = 1{,}08 \text{ саж.}$$

Необходимая глубина заложенія h была опредѣлена по формулѣ (2):

$$P + p\,(H + h) = F_1 q_1 + kF_2 \,.\, q_2 \,.\, h$$

(значеніе буквъ въ этой формулѣ объяснено было выше).

Такъ какъ дно рѣки состоитъ изъ мелкозернистаго насыщеннаго водою песка, то составитель проекта принималъ этотъ грунтъ за жидкое тѣло и для опредѣленія глубины заложенія опоръ разсматривалъ опоры, какъ плавающія тѣла, принимая при томъ во вниманіе треніе между пескомъ и стѣнкой цилиндра.

Въ данномъ случаѣ: $P = 9054$ пуд.; H—принято въ 4 саж.; $F_1 = 0{,}785$ кв. саж., $F_2 = 3{,}14$ кв. саж.; $p = 1022$ пуд.; $q_1 = 593 \times 3 + 1100 \,.\, h$, гдѣ 593—вѣсъ кубической сажени воды, 3 саж.—высота столба воды надъ дномъ рѣки послѣ размыва, 1100 пуд.—вѣсъ куб. саж. песку, насыщеннаго водою;

$$q_2 \,.\, h = 593 \times 3 \times h + 1100 \times \frac{h^2}{2};$$

здѣсь предположено, что уголъ естественнаго откоса насыщеннаго песку равенъ нулю, а потому боковое давленіе по высотѣ h и должно выразиться чрезъ: $1100 \times \frac{h^2}{2}$; k—коэффиціентъ тренія песку по желѣзу принятъ въ 0,176.

По вставкѣ этихъ значеній въ вышеприведенную формулу, найдемъ: $h = 4{,}73$ саж., что съ глубиною размыва составитъ: $4{,}73 + 1{,}08 = 5{,}81$ с. Въ дѣйствительности опоры погружены на глубину 6 саж. отъ неразмытаго дна, т. с. почти безъ всякаго запаса. Но, очевидно, изложенный способъ расчета, гдѣ насыщенный водою грунтъ принятъ за жидкое тѣло, уже самъ по себѣ дастъ извѣстный запасъ. Вышеприведенная таблица, въ которой сгруппированы значенія коэффиціентовъ устойчивости опоръ для нѣсколькихъ существующихъ опоръ, показываетъ, что, если примѣнять общепринятый способъ расчета для даннаго примѣра, коэффиціентъ устойчивости, при углѣ естественнаго откоса въ 30°, составляетъ 2,75. Если же принять этотъ уголъ въ 22°, какъ показали произведенные при сооруженіи этого моста опыты, то коэффиціентъ устойчивости понизится до 1,52.

Примѣръ 3-й. Опредѣленіе наибольшаго расхода рѣки Енисея, величины отверстія и глубины заложенія опоръ моста черезъ рѣку Енисей близъ города Красноярска на Средне-Сибирской желѣзной дорогѣ.

Площадь бассейна выше моста 280000 кв. верстъ (вся площадь бассейна отъ верховьевъ до устья — 54000 кв. географическихъ миль, при длинѣ рѣки въ 4800 верстъ). Отмѣтки горизонта высокихъ и низкихъ водъ: 143,27 с. и 138,75 с.

Наблюдавшіеся уклоны:

При отмѣткѣ:	На правомъ берегу:	На лѣвомъ берегу:	Въ среднемъ:
139,28	$i = 0{,}000119$	$i = 0{,}000108$	$i = 0{,}000114$
140,06	$i = 0{,}000170$	$i = 0{,}000113$	$i = 0{,}000141$
140,58	$i = 0{,}000205$	$i = 0{,}000111$	$i = 0{,}000158$
141,33	$i = 0{,}00024$	$i = 0{,}000146$	$i = 0{,}000193$

Уклонъ измѣняется довольно правильно вмѣстѣ съ повышеніемъ горизонта. Слѣдовательно, при горизонтѣ высокихъ водъ 143,27 вѣроятное значеніе уклона, если исходить изъ значенія уклона при горизонтѣ 140,58:

$$i = 0{,}000158 + \frac{0{,}000035 \times 2{,}69}{0{,}75} = 0{,}000158 + 0{,}000126 = 0{,}00028.$$

Опредѣленіе расхода. Расходъ воды былъ опредѣленъ двумя способами: на основаніи формулы параболической зависимости расходовъ отъ положенія горизонта, и по скорости, опредѣленной по эмпирической формулѣ Ganguillet и Kutter'a.

Для опредѣленія расхода по первому способу предположено было, что зависимость между расходомъ и положеніемъ горизонта выражается формулой:

$$Q = \frac{(y - b)^2}{p}, \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \quad (a),$$

гдѣ: Q—расходъ, соотвѣтствующій отмѣткѣ y надъ условнымъ уровнемъ; b—ордината вершины параболы; p — параметръ (b — отмѣтка горизонта, при которомъ $Q = 0$, т. е. дна рѣки). Для опредѣленія двухъ постоянныхъ: b и p — необходимо имѣть два измѣренныхъ расхода для двухъ горизонтовъ. Непосредственныя измѣренія скорости, а затѣмъ и расходовъ дали для отмѣтки:

$y = 140{,}08 \ldots\ldots Q = 413{,}17$ куб. саж.
$y = 139{,}32 \ldots\ldots Q = 187{,}14$
$y = 140{,}42 \ldots\ldots Q = 517{,}70$
$y = 140{,}07 \ldots\ldots Q = 409{,}22$
$y = 139{,}96 \ldots\ldots Q = 409{,}87$
$y = 140{,}12 \ldots\ldots Q = 554{,}44$
$y = 140{,}02 \ldots\ldots Q = 409{,}20$

Пользуясь двумя первыми наблюденіями, значенія постоянныхъ находимъ такими:

$$b = 137{,}72; \qquad p = 0{,}0135.$$

Для повѣрки правильности значеній этихъ коэффиціентовъ расходъ Q былъ опредѣленъ по формулѣ (a) для горизонтовъ: $y = 140{,}42$ саж. и $y = 140{,}07$ саж., при чемъ оказалось, что $Q = 541{,}49$ куб. с. и $Q = 409{,}07$ куб. с. съ разницей противъ дѣйствительно измѣреннаго расхода около 4%. Правильнѣе было бы, пользуясь всѣми наблюденіями, опредѣлить значенія b и p по способу наименьшихъ квадратовъ.

Остановившись на вышеприведенномъ значеніи постоянныхъ и подставляя въ (a) вмѣсто y—отмѣтку горизонта высокихъ водъ: $y = 143{,}27$ с., находимъ, что наибольшій расходъ:

$$Q = 2282 \text{ куб. саж.}$$

Для провѣрки этого значенія расхода послѣдній былъ еще опредѣленъ по скорости, исчисленной по формулѣ Ganguillet и Kutter'a.

Въ этой формулѣ:

$$v = c \cdot \sqrt{Ri} = \frac{\left(23 + \frac{1}{n} + \frac{0{,}00155}{i}\right)}{1 + \left(23 + \frac{0{,}00155}{i}\right)\frac{n}{\sqrt{R}}} \cdot \sqrt{Ri}$$

значеніе n измѣняется для земляного ложа отъ $n = 0{,}025$ до $n = 0{,}03$. Можно было бы, подставивъ въ эту формулу измѣренныя значенія v для какихъ-либо ω и i опредѣлить расчетомъ значенія n для данной рѣки и затѣмъ взять среднее значеніе, какъ наиболѣе вѣроятное.

Въ данномъ случаѣ поступили иначе, задавшись значеніемъ: $n = 0{,}03$ и опредѣливъ v и соотвѣтственные расходы для нѣсколькихъ положеній горизонтовъ, для которыхъ, съ другой стороны, имѣлись измѣренныя значенія расходовъ; путемъ сравненія убѣдились, что значеніе $n = 0{,}03$ отвѣчаетъ довольно близко состоянію даннаго рѣчного ложа.

Такъ, напримѣръ, для горизонта: $y = 140{,}42$ с. имѣется значеніе измѣреннаго расхода: $Q = 517{,}70$ куб. с., и съ другой стороны для этого же горизонта было опредѣлено: $i = 0{,}00016$; $\omega = 872{,}28$ кв. саж. и $R = \frac{\omega}{p} = 4{,}83$ метр.

Слѣдовательно:

$$c = \frac{\left(23 + \frac{1}{n} + \frac{0{,}00155}{i}\right)}{1 + \left(23 + \frac{0{,}00155}{i}\right)\frac{n}{\sqrt{R}}} \cdot \sqrt{Ri} = \frac{23 + \frac{1}{0{,}03} + \frac{0{,}00155}{0{,}00016}}{1 + \left(23 + \frac{0{,}00155}{0{,}00016}\right)\frac{0{,}03}{\sqrt{4{,}83}}} \times$$

$$\times \sqrt{4{,}83} \times 0{,}00016 = 45{,}66 \times 0{,}0278 = 1{,}269 \text{ метр.} = 0{,}595 \text{ саж.}$$

Расходъ: $Q = 872{,}28 \times 0{,}595 = 519{,}01$ куб. саж., что весьма близко къ $Q = 517{,}70$.

Для другихъ горизонтовъ:	140,08 с.	140,07 с.	139,32 с.
были измѣрены расходы:	413,17 к. с.	409,22 к. с.	187,14 к. с.

а гидравлическіе элементы имѣли слѣдующія значенія:

ω	735,42 кв. саж.;	731,87 кв. саж.;	490,16 кв. саж.;
p	368,578 саж.;	368,577 саж.;	357,065 саж.;
$R = \frac{\omega}{p}$ . . .	1,9953 саж. = 4,257 метр.;	4,237 метр.;	2,929 метр.;
i	0,00016 метр.;	0,00016 метр.;	0,00012 метр.;
Вычисленныя по формулѣ Ganguillet и Kutter'a значенія c, при $n = 0{,}03$.	0,547 саж.;	0,545 саж.;	0,372 саж.;
Расходъ $\omega \cdot c$	402,27 кб. саж.;	398,87 кб. саж.;	182,34 кб. саж.;
что незначительно отличается отъ измѣренныхъ значеній расходовъ . . .	413,17 кб. саж.;	409,22 кб. саж.;	187,14 кб. саж.

Убѣдившись такимъ образомъ въ пригодности значенія $n = 0{,}03$ для Енисея, приступили къ опредѣленію расхода при наивысшемъ горизонтѣ 143,27 с.

Живое сѣченіе было разбито на двѣ части: на площадь—ω_1 главнаго русла въ 2100,28 кв. саж., при подводномъ периметрѣ: $p_1 = 459{,}22$ саж., и на площадь разлива — ω_2 праваго берега въ 542,40 кв. саж. при $p_2 = 501{,}33$ саж.

Итого, полная площадь:

$$\omega = \omega_1 + \omega_2 = 2100{,}28 + 542{,}40 = 2642{,}68 \text{ кв. саж.}$$

средняя глубина всего сѣченія:

$$R = \frac{\omega}{p} = \frac{2642{,}68}{960{,}55} = 2{,}751 \text{ с.} = 5{,}8695 \text{ метр.}$$

Средняя глубина въ главномъ руслѣ:

$$R_1 = \frac{\omega_1}{p_1} = \frac{2100{,}28}{459{,}22} = 4{,}574 \text{ с.} = 9{,}759 \text{ метр.},$$

а по разливу:

$$R_2 = \frac{\omega_2}{p_2} = \frac{542{,}40}{501{,}333} = 1{,}0819 \text{ с.} = 2{,}3083 \text{ метр.}$$

Наибольшій уклонъ, принятый одинаковымъ для главнаго русла и разлива: $i = 0{,}00028$ (по разливу уклонъ слѣдовало бы принять менѣе).

Слѣдовательно, средняя скорость въ главномъ руслѣ:

$$v_1 = \frac{\left(23 + \frac{1}{0{,}03} + \frac{0{,}00155}{0{,}00028}\right) \cdot \sqrt{9{,}759 \times 0{,}00028}}{1 + \left(23 + \frac{0{,}00155}{0{,}00028}\right) \cdot \frac{0{,}03}{\sqrt{9{,}759}}} = 2{,}53 \text{ метр.} = 1{,}19 \text{ саж.},$$

и расходъ: $Q_1 = \omega_1 \cdot v_1 = 2100{,}28 \times 1{,}19 = 2499{,}33$ куб. саж.

Средняя скорость по разливу:

$$v_2 = \frac{\left(23 + \frac{1}{0{,}03} + \frac{0{,}00155}{0{,}00028}\right) \cdot \sqrt{2{,}3083 \times 0{,}00028}}{1 + \left(23 + \frac{0{,}00155}{0{,}00028}\right) \cdot \frac{0{,}03}{\sqrt{2{,}3083}}} = 1{,}01 \text{ метр.} = 0{,}473 \text{ саж.}$$

и расходъ: $Q_2 = \omega_2 \cdot v_2 = 542{,}40 \times 0{,}473 = 256{,}56$ куб. саж.

Общій расходъ:

$$Q = Q_1 + Q_2 = 2499{,}33 + 256{,}56 = 2755{,}89 \text{ куб. саж.},$$

что болѣе расхода: 2282 куб. саж., опредѣленнаго по параболической зависимости расходовъ отъ положенія горизонтовъ водъ. Для дальнѣйшихъ расчетовъ принять въ основаніе наибольшій расходъ въ *2760* куб. саж.

Опредѣленіе отверстія моста. Предварительно опредѣлимъ наибольшую скорость по дну, которая имѣла мѣсто до сооруженія моста.

По Вейсбаху, при достаточно правильномъ очертаніи русла, наибольшая скорость по дну равняется средней скорости всего сѣченія. (См. формулу Вейсбаха въ IV группѣ эмпирическихъ формулъ скоростей).

По раздѣленіи наибольшаго расхода 2760 куб. саж. на площадь живого сѣченія: $\omega = 2642{,}68$ кв. саж., при наивысшемъ горизонтѣ 143,27 с., средняя скорость всего живого сѣченія опредѣлится въ $v = \frac{2760}{2642} = 1{,}045$ с., чему, по Вейсбаху, отвѣчаетъ наибольшая скорость по дну.

Русло рѣки Енисея довольно правильное и при высокомъ горизонтѣ; поэтому результатъ можно считать достаточно достовѣрнымъ. Въ противномъ случаѣ слѣдовало бы ограничиться лишь сѣченіемъ по главному руслу, для котораго средняя скорость была опредѣлена въ $v_1 = 1{,}19$ с., что, по Вейсбаху, отвѣчало бы и наибольшей скорости по дну.

Оба результата мало разнятся одинъ отъ другого и весьма правдоподобны, такъ какъ при горизонтѣ 140,42 с. наблюдавшіяся скорости на разстояніи 0,17 с. отъ дна доходили до 0,865 с.

Такъ какъ ложе рѣки Енисея состоитъ изъ крупно-гравелистаго напластованія, для котораго предѣльная скорость принимается въ 6 ф. = 0,857 с., то, повидимому, русло этой рѣки, при самомъ высокомъ горизонтѣ, должно подвергаться размыву въ своемъ естественномъ состояніи.

Въ виду сего, опредѣленіе отверстія и глубина заложенія опоръ сдѣланы въ двухъ предположеніяхъ:

а) размывъ продолжается до тѣхъ поръ, пока средняя скорость въ живомъ сѣченіи между опорами не сдѣлается равной средней скорости, которая имѣла мѣсто въ главномъ руслѣ до сооруженія моста, т. е. 1,19 с.;

б) размывъ продолжается до тѣхъ поръ, пока средняя скорость стѣсненнаго сѣченія не достигнетъ предѣла 0,857 с.

Въ виду того, что выше линіи перехода въ весьма близкомъ разстояніи отъ предполагаемаго моста Енисей течетъ въ крутыхъ незатопляемыхъ берегахъ, при ширинѣ русла при высокомъ горизонтѣ въ 380,00 с., то, сообразно съ симъ, отверстіе въ свѣту признано было достаточнымъ назначить около 400,00 с., разбивъ его на шесть пролетовъ около 66 саж. каждый, а именно:

$$L = 2 \times 66{,}16 + 4 \times 66{,}41 = 397{,}96 \text{ с.}$$

Общая же длина моста, считая таковую между гранями устоевъ и полагая среднюю толщину быка въ 2,25 с., составитъ:

$$L' = 397{,}96 + 5 \times 2{,}25 = 409{,}21 \text{ с.}$$

Для опредѣленія средней и наибольшей глубины русла до сооруженія моста, но въ предѣлахъ, занимаемыхъ предполагаемымъ мостомъ, нанесена длина: $L = 409{,}21$ с. на главное русло, и вычислена площадь живого сѣченія, которая опредѣлилась въ $\omega'' = 1953{,}58$ кв. саж.

Такимъ образомъ, средняя глубина въ предѣлахъ моста, но до размыва:

$$h_0 = \frac{1953{,}58}{409{,}21} = 4{,}77 \text{ с.}$$

Наибольшая глубина тамъ же, при низшей отмѣткѣ дна 137,64 с., опредѣлилась въ

$$max.\ h_0 = 143{,}27\ \text{с.} - 137{,}64\ \text{с.} = 5{,}63\ \text{с.}$$

Отношеніе между наибольшей и средней глубиной до размыва:

$$\alpha = \frac{max.\ h_0}{h_0} = \frac{5{,}63}{4{,}77} = 1{,}18.$$

При *первомъ* предположеніи средняя скорость, при которой прекратится размывъ:

$$v = 1{,}19\ \text{с.}$$

Слѣдовательно, средняя глубина послѣ размыва, въ виду того, что чистое отверстіе моста — 397,96 с.:

$$h'_0 = \frac{Q}{\mu \cdot L \cdot v} = \frac{2760}{0{,}9 \times 397{,}96 \times 1{,}19} = 6{,}47\ \text{с.}$$

Наибольшая глубина послѣ размыва:

$$max.\ h'_0 = \alpha \cdot h'_0 = 1{,}18 \times 6{,}47 = 7{,}63\ \text{с.}$$

Наибольшій размывъ:

$$7{,}63 - 5{,}63 = 2{,}00\ \text{с.}$$

Отмѣтка, при которой прекратится размывъ:

$$137{,}64\ \text{с.} - 2{,}00\ \text{с.} = 135{,}64\ \text{с.}$$

При *второмъ* предположеніи предѣльная скорость по дну, или, что то же, средняя скорость всего сѣченія, при которой прекратится размывъ:

$$v = 6\,\phi. = 0{,}857\ \text{с.}$$

Слѣдовательно:

$$h'_0 = \frac{2760}{0{,}9 \times 397{,}96 \times 0{,}857} = 8{,}99\ \text{с.}$$

$$max.\ h'_0 = 1{,}18 \times 8{,}99\ \text{с.} = 10{,}60\ \text{с.}$$

Наибольшій размывъ:

$$10{,}60\ \text{с.} - 5{,}63\ \text{с.} = 4{,}97\ \text{с.}$$

Отмѣтка, при которой прекратится размывъ:

$$137{,}64\ \text{с.} - 4{,}97\ \text{с.} = 132{,}67\ \text{с.}$$

Второе предположеніе, какъ болѣе невыгодное, принято въ основаніе дальнѣйшаго расчета.

Опредѣленіе необходимой толщины неразмытаго слоя (по Паукеру). Предварительно опредѣлили давленіе на подошву основанія опоры:

Вѣсъ пролетныхъ частей	56500 пуд.
Подвижная нагрузка	34237 »
Вѣсъ быка при заложеніи на 8,5 с. ниже низкаго горизонта	599381 »
Вѣсъ кессона	8000 »
	698118 пуд.

Если допустить, что грунтъ водопроницаемый на всю глубину опусканія опоры, то необходимо вычесть вѣсъ объема вытѣсненной воды, что при площади кессона въ 35,3 кв. саж. составитъ:

$$35{,}3\ \text{кв. с.} \times 8{,}5\ \text{с.} \times 593\ \text{пуд.} = 177930\ \text{пуд.},$$

и остающееся давленіе на подошву основанія: 520188 пуд.

Если же грунтъ непроницаемый хотя только близъ подошвы основанія, то уменьшенія вѣса отъ вытѣсненной воды быть не можетъ.

Въ данномъ случаѣ грунтъ на глубинѣ около 8,5 с. ниже низкаго горизонта представляетъ, по даннымъ буренія, сухую плотную глину и, слѣдовательно, трудно сказать, въ какой мѣрѣ

при опусканіи кессона вода будетъ проникать внизъ по внѣшнему обводу кессона. Практика опусканія кессоновъ подтверждаетъ, что, несмотря на ту или другую степень плотности проходимаго грунта, всегда приходится поддерживать въ рабочей камерѣ высокое давленіе во избѣжаніе затопленія ея водою. Такимъ образомъ первое предположеніе, повидимому, болѣе вѣроятное. Остановившись на среднемъ рѣшеніи, уменьшили вѣсъ опоры не на 177930, а всего на 89000 пуд. Слѣдовательно, давленіе на кв. саж. основанія:

$$\frac{698118 - 89000}{35{,}3} = 17255 \text{ пуд.}$$

Высота слоя земли, равнозначащая этому давленію:

$$\frac{17255}{1000} = 17{,}26 = h'.$$

Необходимая толщина слоя земли, сопротивляющагося выпиранію, опредѣлится изъ:

$$h = h' \, tang^4 \left(45^0 - \frac{\varphi}{2}\right) = 17{,}26 \, . \, tang^4 \left(45^0 - \frac{35^0}{2}\right) = 17{,}26 \times 0{,}0734 = 1{,}27 \text{ с.},$$

если положить уголъ естественнаго откоса глины равнымъ 35°.

При коэффиціентѣ запаса 2 толщина неразмытаго слоя — 1,27 с. × 2 = 2,54 с.

Слѣдовательно, отмѣтка нижняго основанія кессона:

$$132{,}67 \text{ с.} - 2{,}54 \text{ с.} = 130{,}13 \text{ с.},$$

и глубина опусканія ниже низкихъ водъ съ отмѣткой 138,75 с.:

$$138{,}75 \text{ с.} - 130{,}13 \text{ с.} = 8{,}62 \text{ с.} \text{ — назначено же: } \textit{8,50 саж.}$$

Опредѣленіе отверстія мостовъ по бассейнамъ. Опредѣленіе отверстія мостовъ чрезъ горныя рѣки. Дополнительныя соображенія относительно опредѣленія отверстій расчетомъ. Соображенія о помѣщеніи добавочныхъ отверстій въ предѣлахъ разлива рѣкъ. Значеніе и типы струенаправляющихъ дамбъ. Примѣры устройства струенаправляющихъ сооруженій около мостовъ.

Опредѣленіе отверстій мостовъ по бассейнамъ. Въ тѣхъ случаяхъ, когда не имѣется другихъ данныхъ для опредѣленія отверстія моста, таковое можетъ быть опредѣлено по ниже-помѣщенной таблицѣ, составленной инженеромъ Бѣлинскимъ и рекомендованной нашимъ Министерствомъ П. С. для руководства.

Отверстіе моста въ погонныхъ саженяхъ получается раздѣленіемъ площади живого сѣченія весенныхъ водъ на среднюю глубину ихъ.

Таблица для опредѣленія мостовъ по бассейнамъ.

Живое сѣченіе весенныхъ водъ въ квадратныхъ саженяхъ получается отъ перемноженія числа квадратныхъ верстъ бассейна на слѣдующіе коэффиціенты:	Бассейнъ въ квадратныхъ верстахъ.
0,0700	50— 100
0,0600	100— 300
0,0500	300— 500
0,0450	500— 1000
0,0400	1000— 2000
0,0350	2000— 5000
0,0300	5000— 10000
0,0200	15000— 20000
0,0150	20000— 30000
0,0100	30000— 50000
0,0075	50000— 100000
0,0070	100000— 300000

При опредѣленіи отверстій мостовъ черезъ горныя рѣки, влекунія значительное количество наносовъ въ видѣ голышей, а также корчей, деревьевъ и проч., весьма важно обратить вниманіе на то, что паводки наступаютъ крайне быстро,

при чемъ предположенный размывъ не всегда можетъ успѣть образоваться. При такихъ условіяхъ слѣдуетъ рекомендовать:

а) возможно бо́льшіе отдѣльные пролеты, во избѣжаніе образованія загроможденія пролетовъ деревьями, которыя могутъ навалиться на двѣ смежныя опоры (что́ часто имѣетъ мѣсто при отдѣльныхъ пролетахъ даже до 4—5 саж);

б) неимѣніе большого запаса въ общемъ отверстіи, полагая, что при меньшемъ отверстіи скорость протеканія будетъ правильнѣе и значительнѣе и не будетъ сопровождаться отложеніемъ наносовъ въ предѣлахъ моста;

в) возможно глубокое заложеніе основанія оноръ, при опредѣленіи какового слѣдуетъ предполагать, что размываемое ложе продолжается на неопредѣленную глубину и что средняя скорость, при которой прекратится размывъ, отвѣчаетъ средней скорости *всего* сѣченія до постройки моста;

г) достаточное возвышеніе полотна, а, слѣдовательно, и низа фермъ надъ подпорнымъ горизонтомъ—для пропуска внезапно наступившаго паводка, когда ложе рѣки еще не успѣло размыться. При опредѣленіи этого возвышенія слѣдуетъ, обратно, предположить, что ложе неразмываемо, и въ зависимости отъ скорости v' стѣсненнаго, по *неразмытаго* русла и средней скорости до постройки моста v опредѣлить подпоръ, хотя бы по приближенной формулѣ:

$$h = \frac{v'^2 - v^2}{2g},$$

или по формуламъ Heinemann'a и Molesworth'a и затѣмъ отмѣтку полотна назначить такъ, чтобы между подпорнымъ горизонтомъ (опредѣленнымъ вышеуказаннымъ путемъ) и низомъ фермы оставался запасъ около 0,50 с.;

д) регулированіе рѣки въ широкихъ предѣлахъ;

е) устройство, въ случаѣ необходимости примѣненія, малыхъ отдѣльныхъ пролетовъ-корчеотводовъ.

Дополнительныя соображенія относительно опредѣленія отверстій расчетомъ. Нельзя ожидать, чтобы положенныя въ основаніе расчета для двухъ вышеуказанныхъ случаевъ условія неразмываемости грунта или размываемости на опредѣленную глубину вполнѣ оправдывались въ дѣйствительности. Мы предполагали, что размывъ дна можетъ быть только вслѣдствіе отрыванія частицъ и дальнѣйшаго перекатыванія ихъ по дну. Между тѣмъ наблюденія Дюпюи надъ количествомъ и горизонтомъ отложеній наносовъ послѣ спада высокихъ водъ, продолжавшихся недолгое время, показали, что одному перекатываніе частицъ по дну нельзя приписать образованіе наносовъ, но что слои рѣки какъ бы насыщены наносами, которые и перемѣщаются со скоростью, равною скорости движенія разсматриваемыхъ слоевъ, и при извѣстныхъ условіяхъ отлагаются. Подобное явленіе объясняется отчасти тѣмъ, что въ движущейся водѣ погруженное твердое тѣло подвергается не гидростатическому, а гидродинамическому давленію, и что скорости въ различныхъ слояхъ не одинаковы. Въ водѣ, движущейся со скоростью = 0, потеря въ вѣсѣ составляетъ:

$$A = \delta\ (h' - h)\, F,$$

если h' и h — глубины, соотвѣтствующія нижней и верхней грани тѣла, а F—площадь его основанія. Въ водѣ, движущейся со скоростью v' на глубинѣ h' и v на глубинѣ h, потеря въ вѣсѣ будетъ:

$$B = \delta \left(h' - \frac{v'^2}{2g}\right) F - \delta \left(h - \frac{v^2}{2g}\right) F = \delta\ (h' - h)\, F + \delta \left(\frac{v^2}{2g} - \frac{v'^2}{2g}\right) F\ .$$

Но для всѣхъ слоевъ, за исключеніемъ нѣкоторыхъ верхнихъ, $v > v'$, то есть $B > A$; поэтому твердое тѣло можетъ, наконецъ, столько потерять въ вѣсѣ, что сдѣлается какъ бы одинаковой плотности съ водой и будетъ держаться въ слоѣ, ограниченномъ скоростями v и v'. Слѣдовательно, если отъ какихъ-либо причинъ въ данномъ мѣстѣ проявляется значительная разность между скоростями, то происходитъ подпятіе частицъ со дна (размывъ).

Изъ формулы видно, что поддерживающая сила воды (force de suspension) не зависитъ отъ абсолютнаго значенія v и v', а отъ ихъ разности; поэтому возможенъ фактъ, что при небольшой средней скорости размывы будутъ довольно значительными и наоборотъ (примѣромъ чему могутъ служить размывы между опорами моста черезъ рѣку Вислу на обводной вѣтви въ Варшавѣ). Для предупрежденія подобныхъ размывовъ слѣдуетъ или укрѣпить дно, или, изучивъ вліяніе разныхъ причинъ на увеличеніе относительныхъ скоростей, устранить эти причины.

Если существующіе мосты находятся въ совершенно одинаковыхъ условіяхъ съ проектируемымъ, то можно опредѣлить отверстіе, примѣняясь къ отверстію существующаго моста, соблюдая при этомъ условіе, чтобы пространство, по которому протекаютъ главныя струи, было покрыто однимъ или возможно меньшимъ числомъ пролетовъ.

Нельзя признать общимъ правиломъ, чтобы изъ двухъ мостовъ, построенныхъ на одной и той же рѣкѣ, вышележащій мостъ сравнительно съ нижележащимъ имѣлъ меньшее или, по крайней мѣрѣ, равное ему отверстіе. Если для верхняго моста грунтъ будетъ размываемый и берега пологіе, а для нижняго — обратно, то очевидно, что первый мостъ, при извѣстныхъ условіяхъ, долженъ имѣть бо́льшее отверстіе.

Если величина отверстія была опредѣлена ошибочно въ зависимости не отъ наибольшаго расхода, то можетъ случиться, что со временемъ произойдутъ вредные подмывы основаній опоръ, а также и размывы полотна, что уже прямо укажетъ на размѣры необходимаго отверстія. Въ виду сего, когда есть основаніе сомнѣваться въ достовѣрности добытыхъ данныхъ, нерѣдко ограничиваются устройствомъ временныхъ искусственныхъ сооруженій, чтобы опытомъ выяснить размѣры необходимаго отверстія для постояннаго искусственнаго сооруженія. Иногда устраиваютъ постоянное сооруженіе и рядомъ съ нимъ временныя сооруженія, которыя, смотря по результатамъ наблюденій, или перестраиваются на постоянныя, или же замѣняются глухой дамбой. Къ такимъ мѣрамъ слѣдуетъ прибѣгать только въ крайнемъ случаѣ; во всякомъ случаѣ лучше устраивать при такихъ условіяхъ постоянныя искусственныя сооруженія съ извѣстнымъ запасомъ въ величинѣ отверстія.

Соображенія о помѣщеніи добавочныхъ отверстій въ предѣлахъ разлива рѣки. Возвращаясь къ опредѣленію отверстія расчетомъ, замѣтимъ, что помимо того, что расчетъ, основанный на наблюденіяхъ скоростей, уклона и проч. во время высокихъ водъ, имѣетъ характеръ приблизительный, расчеты становятся еще менѣе точными, когда рѣка имѣетъ большой разливъ.

Въ этомъ случаѣ приходится рѣшить вопросъ—дѣлать ли одно только отверстіе на главномъ руслѣ, или же еще дополнительныя на разливѣ; въ послѣднемъ случаѣ необходимо опредѣлить, какая часть всей массы воды пойдетъ черезъ каждое изъ отверстій; эти данныя можетъ дать съ нѣкоторымъ приближеніемъ поперечная и продольная нивеллировка бассейна.

Относительно цѣлесообразности устройства по разливу одного или нѣсколь-

кихъ мостовыхъ сооруженій высказываются противоположныя мнѣнія. Существующіе примѣры показываютъ примѣненіе обоихъ принциповъ. Напримѣръ, Волжскій мостъ на Оренбургской желѣзной дорогѣ (безъ дополнительныхъ отверстій въ дамбѣ) и Донской мостъ на Ростово-Владикавказской желѣзной дорогѣ (съ двумя дополнительными отверстіями въ дамбѣ; отверстіе моста на главномъ руслѣ—123 сажени, на разливахъ: одно—250 саж., другое—10 саж.; послѣдній мостъ оставленъ на ручейкѣ для того, чтобы въ лѣтнее время мѣстную станицу не лишить воды).

Выборъ того *или* другого *расположенія прямо* зависитъ отъ мѣстныхъ условій.

Если по наблюденіямъ скоростей во время высокихъ водъ окажется, что наибольшее количество воды проходитъ чрезъ главное русло, движеніе же по разливу медленное, и если при томъ свойства грунта и система основаній опоръ позволяютъ надѣяться на возможность увеличенія живого сѣченія вглубь, то слѣдуетъ устроить одно только отверстіе на главномъ руслѣ, укрѣпивъ надежнымъ образомъ откосы дамбы. Если же наибольшее количество воды проходитъ по опредѣленному мѣсту разлива (по суходолу или старорѣчью), и если поперечная профиль главнаго русла и свойства грунта не позволяютъ увеличенія живого сѣченія (какъ, напримѣръ, сѣченіе рѣки Дона близъ Ростова въ крутыхъ высокихъ берегахъ изъ твердо-глинистаго грунта), то направленіе всѣхъ водъ въ одно главное русло имѣло бы слѣдствіемъ образованіе большого подпора и громадной скорости, затрудняющей какъ взводное, такъ, иногда, и сплавное судоходство. Въ такихъ случаяхъ слѣдуетъ устраивать отдѣльное отверстіе по разливу.

При раздѣленіи рѣки на нѣсколько рукавовъ, покрываютъ мостомъ преимущественно одинъ рукавъ по направленію главной струи съ достаточнымъ отверстіемъ для пропуска всей воды (другіе рукава засыпаютъ), такъ какъ при покрытіи рукавовъ отдѣльными мостами можетъ случиться, что вся масса воды направится къ одному изъ этихъ мостовъ и, по недостатку отверстія, можетъ подмыть основанія опоръ.

Наконецъ, можетъ быть еще такой случай, что по меженному руслу рѣки протекаетъ очень незначительное количество воды въ меженнее время; во время же разлива главная часть всей массы воды направляется по суходолу; тогда приходится или устроить одинъ большой мостъ на главной струѣ разлива, отклонивъ меженнее русло такимъ образомъ, чтобы и обыкновенныя воды проходили чрезъ большой мостъ, или, если отклоненіе русла не желательно по дороговизнѣ, или по другимъ причинамъ (единственный водопой близъ населенной мѣстности и проч.), тогда приходится устраивать два моста: одинъ малый на меженномъ руслѣ для меженнихъ водъ и другой большой на правильно-выбранномъ мѣстѣ разлива. Во избѣжаніе же возможности подмыва малаго моста и размыва прилегающей дамбы, въ случаѣ направленія отъ какой-либо причины значительной массы полой воды чрезъ малый мостъ, этотъ послѣдній во время разлива запирается шандорами, щитами и т. п. Такимъ образомъ оба моста работаютъ въ различное время.

Во всякомъ случаѣ проектированіе дополнительныхъ отверстій (ponts de décharge) требуетъ крайней осмотрительности. Они безопасны лишь въ томъ случаѣ, если существуетъ безусловное раздѣленіе расхода воды между двумя мостами; предпочтительнѣе ихъ избѣгать. Дополнительныя отверстія въ предѣлахъ разлива не безопасны не только потому, что къ нимъ можетъ устремиться

значительное непредусмотрѣнное количество воды, но и по нижеслѣдующей причинѣ, на которую рѣдко обращаютъ вниманіе: при широкихъ разливахъ поперечная профиль поверхности разлива, взятая съ верховой стороны полотна, представляетъ поверхность постепенно возвышающуюся отъ моста въ обѣ стороны разлива; профиль же разлива съ низовой стороны полотна представляетъ обратное явленіе: горизонтъ воды въ обѣ стороны отъ моста постепенно понижается. Слѣдовательно, если въ предѣлахъ разлива будетъ оставлено незначительное отверстіе, то, благодаря указанному явленію, разность горизонтовъ воды выше и ниже моста, около самаго полотна, можетъ оказаться значительной, т. е. будетъ подпоръ или перепадъ, что можетъ вызвать громадную скорость.

Примѣромъ этому можетъ служить мостъ на рѣкѣ Припяти на Полѣсскихъ желѣзныхъ дорогахъ, не вдалекѣ отъ котораго оставлены были дополнительныя отверстія въ дамбѣ въ предѣлахъ разлива. Мостъ этотъ о 6-ти пролетахъ, общимъ отверстіемъ 150 саж.; опоры на кессонахъ; ширина разлива—20 верстъ. Въ предѣлахъ разлива оказались осушительные каналы, которые рѣшено было пропустить чрезъ дамбу

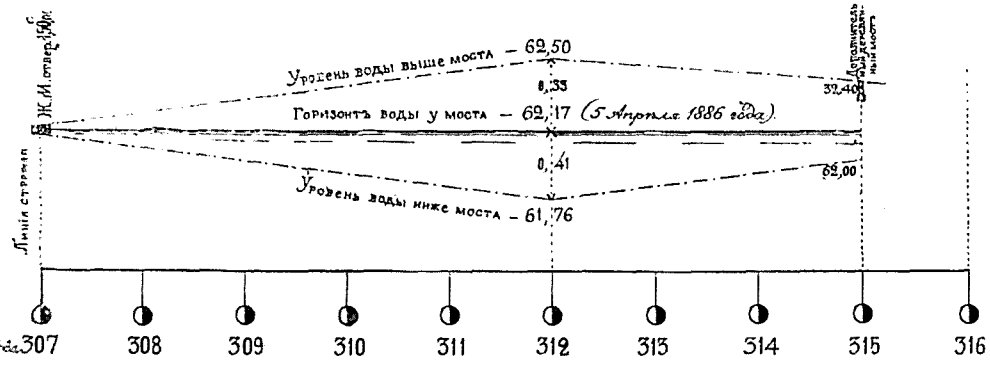


Рис. 260.

полотна путемъ сооруженія деревянныхъ мостовъ, отверстіемъ въ 3 саж. на свайныхъ опорахъ, въ разстояніи около 8 верстъ отъ большого моста. Въ первое же половодье мосты эти начали работать очень сильно и были снесены. На слѣдующій годъ увеличили ихъ отверстіе до 5 саж. и замѣнили деревянные мосты желѣзными на каменныхъ устояхъ съ прочнымъ общимъ основаніемъ. Эти мосты также были разрушены на слѣдующій годъ, и дамба была сильно повреждена. Тогда рѣшено было изслѣдовать причину такого страннаго явленія. Точная нивеллировка уровня высокихъ водъ, выше и ниже моста, показала, что выше моста уровень воды возвышался (см. рис. 260) съ удаленіемъ отъ стрежня къ берегамъ и примѣрно на пятой верстѣ достигалъ maximum'а, возвышаясь на 0,33 саж. относительно уровня въ стрежнѣ.

Съ низовой стороны обнаружилось обратное явленіе — уровень понижался къ берегамъ и на пятой верстѣ, противъ maximum подъема съ верховой стороны, пониженіе составляло 0,41 саж.

Вслѣдствіе этого при существованіи дополнительнаго деревяннаго моста, сравнительно незначительнаго отверстія, тутъ образовался подпоръ въ 0,74 саж., развивавшій подъ мостомъ такую скорость воды, которую не могло выдержать никакое сооруженіе. Въ настоящее время дополнительные мосты уничтожены, и осушительные каналы выведены къ рѣкѣ.

На С.-Петербурго-Варшавской желѣзной дорогѣ существовалъ въ предѣлахъ

разлива рѣки Буга дополнительный мостъ отверстіемъ 3,5 саж. (на ручьѣ Оржелкѣ). По указанной выше причинѣ онъ подвергался нѣсколько разъ размываѣ и въ настоящее время засыпанъ.

Мостъ чрезъ рѣку Принять (рис. 261) представляетъ интересъ еще съ другой стороны. Въ первое время по сооруженіи моста (1885 г.) профиль русла полиніи перехода имѣла видъ, показанный на рисункѣ толстою сплошною линіею; въ слѣдующіе года профиль измѣнялась такимъ образомъ:

Тонкая линія съ одною точкою	Профили русла.	1886 года
Тонкая съ двумя точками		1887 »
Тонкая непрерывная		1888 »
Жирный пунктиръ		1889 »

Несмотря на относительно малое по сравненіе съ величиной разлива отверстіе здѣсь работали лишь средніе пролеты, подвергаясь сильному размыву. Ложе крайнихъ пролетовъ, незатопляемыхъ при меженнемъ горизоитѣ, переплетенное корнями.

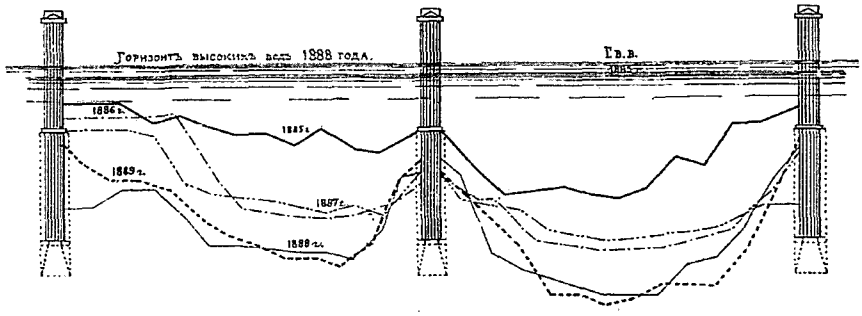


Рис. 261.

ие подвергалось размыву. Удаленіе корней, устройство продольныхъ канавъ-бороздъ для болѣе успѣшнаго размыва ложа не принесло желаемой пользы. Ближайшее изслѣдованіе направленія струй во время высокихъ водъ показало, что, благодаря отсутствіе струенаправляющихъ дамбъ, съ верховой стороны моста существовали сильныя продольныя теченія, особенно съ правой стороны, вслѣдствіе чего главныя струи отклонялись къ серединѣ моста, вызывая тамъ водовороты. Результатомъ этого явился сильный размывъ русла въ двухъ среднихъ пролетахъ, заставившій прибѣгнуть къ рѣшительнымъ мѣрамъ.

Въ настоящее время наиболѣе размытый пролетъ укрѣпленъ солидной каменной наброской и фашинными тюфяками, и размывъ прекратился. Для урегулированія направленія струи возведены дамбы съ верховой и низовой стороны, изъ коихъ особенно важны первыя. Длина ихъ проектирована въ $^1/_2$ отверстія моста; назначеніе ихъ — возможно приблизить теченіе рѣки къ параллельно-струйному.

Струенаправляющія дамбы имѣютъ весьма существенное вліяніе на правильную работу мостового сооруженія; во многихъ случаяхъ онѣ оказываются даже полезнѣе увеличенія отверстія моста. Направленіе и очертаніе дамбъ и длина ихъ должны быть проектированы сообразно мѣстнымъ условіямъ.

Что касается *направленія* дамбъ при сопряженіи ихъ съ насыпью около устоевъ, то онѣ должны имѣть пологое расходящееся (рис. 262) отъ моста направленіе, касательное къ нормалямъ, проведеннымъ къ продольной оси моста по линіи лицевой грани устоевъ.

Относительно *вида* дамбъ *въ планѣ* нужно замѣтить, что дамбы имѣютъ или *грушевидное* (рис. 263 и 264) очертаніе съ примыканіемъ къ полотну въ двухъ мѣстахъ, или имѣютъ видъ одного (рис. 262) или нѣсколькихъ (рис. 265 и 266) *отдѣльныхъ отростковъ*, вѣтвей.

Грушевидное очертаніе можетъ быть или замкнутымъ, причемъ для выпуска дождевой и спѣговой воды оставляются отверстія, которыя по желанію можно было бы закрывать (какъ напримѣръ, труба съ щитомъ), или-же наиболѣе удаленный отъ моста конецъ дамбы состоитъ изъ двухъ отдѣльныхъ вѣтвей (рис. 264), заходящихъ одна за другую. Второе очертаніе слѣдуетъ считать раціональнѣе перваго, особенно въ томъ случаѣ, если дамба выведена изъ песчанаго грунта недостаточной ширины, а также и тогда, когда подъемъ горизонта высокихъ водъ довольно великъ, такъ что можно опасаться, что глухая дамба не выдержитъ напора воды. Если же (какъ въ типѣ рис. 264) вода имѣетъ возможность вступать въ огражденное дамбою пространство, то дамба не будетъ подвергаться дѣйствію напора воды, или, во всякомъ случаѣ, высота напора будетъ, повидимому, не болѣе 0,50—0,70 саж. Дѣйствительно, какъ упомянуто выше, поверхность разлива передъ мостомъ въ поперечномъ направленіи не горизонтальна: поверхность воды повышается по обѣ стороны отъ моста. Наблюденія, произведенныя на рѣкахъ Припяти и З. Бугѣ, въ мѣстѣ пересѣченія ихъ полотномъ желѣзной дороги, показали, что не смотря на громадное протяженіе разлива, доходящаго въ первомъ случаѣ до 20-ти верстъ, наибольшее возвышеніе горизонта не превышаетъ 0,70 саж. Такимъ образомъ (рис. 264) горизонтъ воды въ (m) будетъ выше, чѣмъ въ (n); но такъ какъ внутри огражденнаго пространства вода будетъ имѣть горизонтальную поверхность, то въ (n') высота горизонта будетъ такая же, какъ въ (m), т. е. въ корневой части дамба будетъ подвергаться дѣйствію подпора, высота котораго равняется разности горизонтовъ въ (n') и (n), или, что то же, разности горизонтовъ въ (m) и (n), что, какъ показали наблюденія, не превышаетъ 0,70 саж.

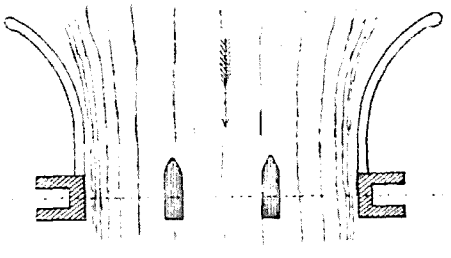


Рис. 262.

Вышеупомянутое явленіе указываетъ еще на другое обстоятельство—на необходимость возвышать полотно дороги надъ горизонтомъ высокихъ водъ, оставляя запасъ около 0,50 с., не только на волненіе, но на возвышеніе, вызываемое сжатіемъ струи. Такъ, напримѣръ, у моста чрезъ рѣку З. Бугъ на Сѣдлецъ-Малкинской желѣзной дорогѣ дамба имѣла очертаніе, указанное на рис. 264, и возвышалась на 0,40 саж. надъ горизонтомъ высокихъ водъ. Въ первый же годъ оказалось, что въ (n) съ наружной стороны дамбы горизонтъ былъ ниже бровки дамбы; тѣмъ не менѣе вода переливалась изъ огражденнаго пространства по направленію отъ (n') къ (n) и вызвала мѣстное поврежденіе дамбы, что вполнѣ объясняется тѣмъ, что въ (n') горизонтъ былъ такой же, какъ въ (m), т. е. выше горизонта (n) и болѣе, чѣмъ на 0,50 саж. Впослѣдствіи дамбѣ была придана не горизонтальная профиль, а постепенно возвышающаяся по направленію отъ моста.

Выше было упомянуто, что при песчаныхъ дамбахъ особенно опасно подвергать ихъ дѣйствію напора воды, именно потому, что вслѣдствіе волосности вода поднимается внутри песчаной насыпи выше горизонта dc (рис. 268) и располагается не на одномъ уровнѣ, а по нѣкоторой кривой (fg), и часто

верхняя масса сухого песку сползаетъ по наклонной, смоченной водою поверхности. [Это обстоятельство вообще нужно имѣть въ виду при возведеніи изъ песку насыпей чрезъ овраги, мѣстныя низины и проч., въ верховой части которыхъ можетъ образоваться случайный подпоръ воды. Такъ, напримѣръ, при сооруженіи Моршанско-Сызранской желѣзной дороги было три случая такого сползанія, и одинъ изъ нихъ сопровождался крушеніемъ поѣзда съ укладочнымъ матеріаломъ. Всѣ случаи были въ такихъ мѣстахъ, гдѣ не было сдѣлано отвода воды, и образовался съ одной стороны подпоръ. Послѣ разрыва насыпи обна-

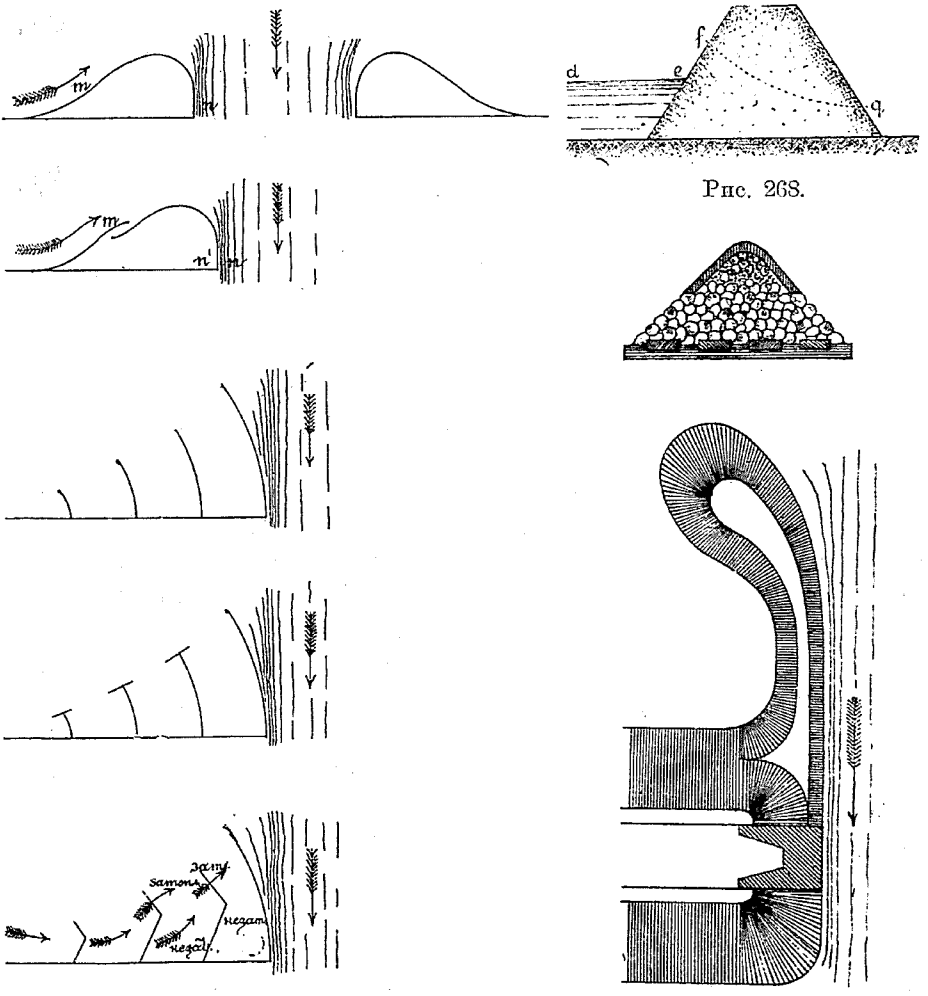


Рис. 263—267.

Рис. 268.

Рис. 269 и 270.

ружено было, что нижняя часть насыпи смочена, какъ указано на рис. 268. Для предупрежденія подобнаго явленія весьма полезно укладывать въ мѣстахъ, гдѣ можно ожидать случайнаго скопленія воды, дрены, устраиваемыя изъ щита изъ брусьевъ, на которомъ располагается изъ крупныхъ камней треугольная призма (рис. 269), верхняя часть которой расщебенивается мелкимъ камнемъ и прикрывается дерномъ. Подобная дрена вполнѣ обезпечиваетъ уравниваніе горизонтовъ воды по обѣ стороны полотна. Само собою разумѣется, что для возведенія дамбъ, а также и насыпей ни въ какомъ случаѣ не можетъ быть допущенъ тальковый грунтъ, способный сползать и въ сухое время].

Что касается очертанія дамбъ въ видѣ *отдѣльныхъ вѣтвей* (рис. 262, 265 и 266), то при малыхъ разливахъ ограничиваются одною вѣтвью (рис. 262), уширяя корневую и головную часть (рис. 270). Пологость откосовъ въ головной части слѣдуетъ дѣлать около 10 : 1 для увеличенія фронта соприкасанія съ слоемъ воды данной толщины, что значительно уменьшаетъ разрушительное дѣйствіе воды. На остальномъ протяженіи можно ограничиться двойнымъ уклономъ. Особенное вниманіе должно быть обращено на укрѣпленіе откосовъ, которое, смотря по мѣстнымъ условіямъ, дѣлается изъ фашинъ, или лучше изъ крупнаго камня слоемъ толщиною около 0,20 саж., уложеннаго *обязательно* на слоѣ мелкаго камня или щебня (0,10 саж.) [во избѣжаніе вымыванія грунта дѣйствіемъ волненія]. Крупный камень укладывается вплотную или въ плетневыхъ клѣткахъ. Ширина дамбы по-верху дѣлается не менѣе 1,5—2,00 саж.

При большихъ разливахъ, вмѣсто одной вѣтви, располагаютъ нѣсколько отдѣльно стоящихъ вѣтвей (рис. 265—267), постепенно укорачивающихся по направленію отъ моста. Разстояніе между вѣтвями дѣлается около 25 — 50 саж. въ зависимости отъ силы теченія и размываемости грунта,—чѣмъ хуже условія, тѣмъ меньше должно быть разстояніе между ними. Вѣтви-же, называемыя иногда *траверсами*, имѣютъ или нормальное къ оси полотна направленіе, или слегка закругленное (рис. 265), при чемъ нерѣдко вѣтви снабжены въ концѣ нормальнымъ придаткомъ, такъ что въ планѣ образуется очертаніе буквы Т. Такое направленіе, какъ полагаютъ нѣкоторые, способствуетъ постепенному отклоненію струи, съ образованіемъ заносовъ между отдѣльными траверсами.

Иногда траверсамъ придаютъ ломаное очертаніе, показанное на рис. 267. Корневая часть имѣетъ направленіе въ сторону теченія для болѣе пологаго отклоненія струи. Концевая-же часть—*затопляемая*—имѣетъ обратное направленіе; еслибы для затопляемой части сохранено было направленіе по теченію, то, вмѣсто отклоненія струи отъ полотна, послѣдняя, наоборотъ, была-бы направлена въ сторону полотна, что ясно изъ того, что струя воды всегда переливается черезъ порогъ или препятствіе по направленію, нормальному къ направленію порога. Такимъ образомъ, въ случаѣ *затопляемыхъ* траверсовъ необходимо имъ придавать направленіе, *противъ* теченія, а для *незатопляемыхъ* — въ *сторону* теченія. Пологость откосовъ концевыхъ частей траверсовъ слѣдуетъ дѣлать около 3 : 1 — 5 : 1 и укрѣплять камнемъ или фашинами если не объ стороны, то во всякомъ случаѣ ту, которая обращена противъ теченія. Откосы полотна съ верховой стороны полезно въ такомъ случаѣ покрывать сплошной дерновкой съ ивовыми кольями, прикрывая противъ волненія это укрѣпленіе на первое время—пока дернъ и колья не примутся и не разрастутся—плетневой застилкой, или плетнями, прижатыми ивовыми канатами и кольями.

Будутъ-ли употребляемы тины грушевидныхъ или отдѣльно-стоящихъ дамбъ, во всякомъ случаѣ откосы полотна должны быть укрѣпляемы, чтобы на случай прорыва струенаправляющей дамбы не могло произойти размыва полотна.

Съ низовой стороны струенаправляющія дамбы или вовсе не дѣлаются, или-же проектируются меньшей длины. Главное ихъ назначеніе—предупреждать возможность направленія теченія вдоль полотна дороги.

Что касается, наконецъ, *длины* струенаправляющихъ дамбъ, то въ этомъ отношеніи установилось практическое правило: дѣлать длину каждой дамбы около половины или полной величины отверстія моста. Это правило имѣетъ отчасти теоретическое основаніе. Дѣйствительно, назначеніе струенаправляющихъ

дамбъ—то-же, что и насадки при истеченіи жидкости чрезъ отверстіе, сдѣланное въ стѣнкѣ сосуда. Будетъ-ли сдѣлана насадка (рис. 271) съ внѣшней или внутренней стороны, въ обоихъ случаяхъ струя, сжатая вначалѣ, постепенно выправляется и полностью заполняетъ насадку, при чемъ струйки пріобрѣтаютъ взаимно-параллельное направленіе. Опыты *Lesbros* показали, что полное заполненіе и правильное направленіе струекъ замѣчается на разстояніи $3d$ отъ входного отверстія въ насадку, если d—діаметръ насадки. Мостовое отверстіе въ дамбѣ полотна представляетъ собою какъ-бы отверстіе въ стѣнкѣ сосуда; очевидно, желательно, чтобы въ предѣлахъ мостовыхъ опоръ теченіе происходило правильно, чтобы тутъ не было сжатія, перебоя струй и водоворотовъ, т. е. не было усиленной работы среднихъ пролетовъ за счетъ крайнихъ пролетовъ. Струенаправляющія дамбы играютъ здѣсь роль внутренней насадки, и для того, чтобы въ предѣлахъ моста теченіе происходило уже вполнѣ правильно, казалось-бы, что

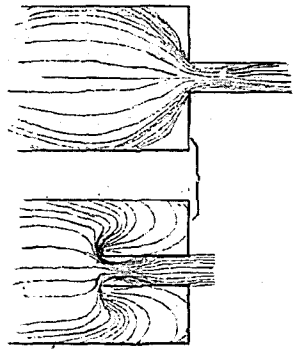


Рис. 271.

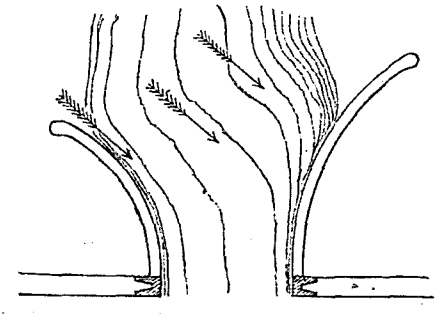


Рис. 272.

длина дамбы, на основаніи вышеизложеннаго, должна быть равною $3d$, если d — отверстіе моста. Но такъ какъ въ мостовомъ сооруженіи сжатіе струи не полное, то выравниваніе теченія должно произойти на меньшемъ, чѣмъ $3d$, протяженіи, что и оправдываетъ назначеніе длины дамбы, равной половинѣ или полной величинѣ отверстія.

Естественно, что въ каждомъ данномъ случаѣ слѣдуетъ сообразоваться съ мѣстными условіями, увеличивая или уменьшая длину дамбъ. Если, напримѣръ, направленіе весеннихъ водъ наклонно къ продольной оси моста (рис. 272), то одну изъ дамбъ, встрѣчную къ направленію теченія, слѣдуетъ сдѣлать болѣе длинною, чѣмъ другую. Если, какъ напримѣръ на рѣкѣ Оби при переѣзженіи ея Западно-Сибирской дорогой (рис. 273), одинъ изъ устоевъ заложенъ у возвышеннаго берега, а другой — на поймѣ, то достаточно устроить одну дамбу, при чемъ, если возвышенный берегъ со стороны поймы не особенно удаленъ, то полезно довести дамбу до незатопляемаго берега, какъ это и сдѣлано въ упомянутомъ мостѣ чрезъ рѣку Обь, что особенно было важно, чтобы предохранить откосы полотна отъ напора и удара льдинъ. Дамба — глухая, а для выпуска дождевой и снѣговой воды устроена труба (*а*) со щитомъ.

При переходѣ рѣки Чулымъ на Средне-Сибирской желѣзной дорогѣ—условія почти тѣ же; струенаправляющая незатопляемая дамба устроена изъ двухъ отдѣльныхъ встрѣчныхъ вѣтвей (*а* и *б*), заходящихъ одна за другую (рис. 274); для того, чтобы предохранить отъ размыва правый возвышенный берегъ — съ верховой стороны моста устроены такъ называемыя струеотводныя короткія дамбы-шпоры (*в*)

изъ крупныхъ камней, въ корневой части незатопляемыя, а далѣе—затопляемыя. Эти дамбы представляютъ обыкновенно въ поперечномъ сѣченіи треугольникъ или трапецію; верхнее ребро имѣетъ пологій продольный скатъ (около $^1/_{10}$—$^1/_{15}$). Шпоры изъ камней весьма полезны и съ успѣхомъ примѣняются для отклоненія достаточно сильныхъ струй.

Если мостъ устроенъ на спрямленномъ руслѣ (рис. 275), то струеотводная дамба обязательно должна пересѣчь старорѣчье, при чемъ необходимо укрѣпить

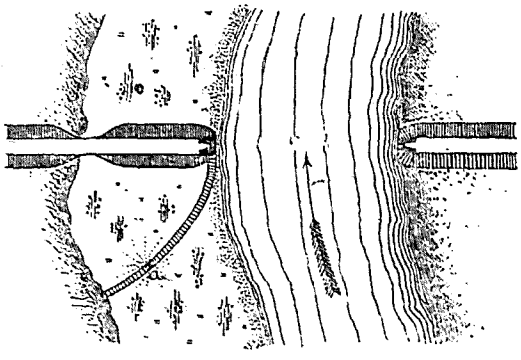


Рис. 273.

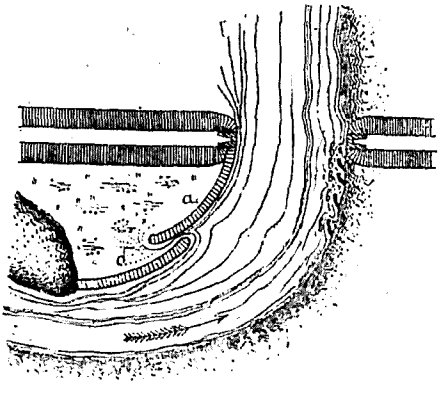


Рис. 274.

подошву дамбы противъ старорѣчья шпунтовымъ рядомъ; равнымъ образомъ полезно укрѣпить шпунтами или широкой бермой полотно въ мѣстѣ пересѣченія старорѣчья, а также при отвѣтвленіи новаго русла пересыпать старорѣчье дамбой.

Выборъ удачнаго мѣста для постановки моста имѣетъ весьма важное вліяніе на успѣшную работу моста. Меженнее русло рѣки обыкновенно имѣетъ сину-

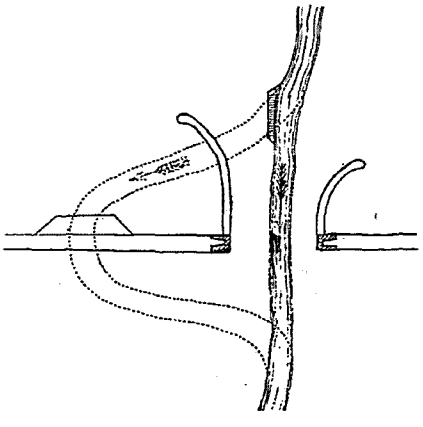


Рис. 275.

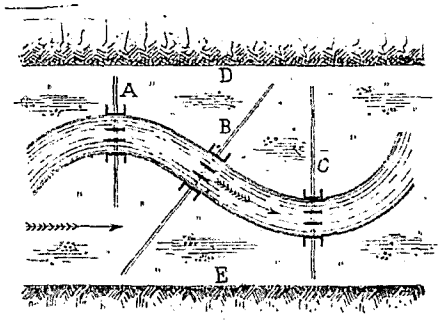


Рис. 276.

соидальное очертаніе (рис. 276); при высокомъ же горизонтѣ направленіе теченія весьма часто не совпадаетъ съ направленіемъ теченія меженняго русла; оно принимаетъ направленіе какъ бы параллельное незатопляемымъ берегамъ (*D* и *E*). Слѣдовательно, если помѣстить мостъ въ сѣченіи *B*, то работа моста при высокомъ горизоитѣ будетъ въ несравненно худшихъ условіяхъ, чѣмъ если бы онъ былъ помѣщенъ въ вершинахъ синусоиды въ *A* или въ *C*.

Струенаправляющія дамбы съ низовой стороны, какъ сказано было выше, не имѣютъ такого первостепеннаго значенія на работу моста, какъ дамбы съ верховой стороны; тѣмъ не менѣе и онѣ въ нѣкоторыхъ случаяхъ бываютъ необхо-

димы, чтобы отклонить русло отъ полотна, и т. д. Кромѣ того, весьма важно, чтобы ниже моста была обезпечена возможность правильнаго теченія. Такъ, напримѣръ, если ниже моста, по разливу, по въ предѣлахъ ширины отверстія моста, имѣются на руслѣ возвышенности, острова или поросли съ крѣпкими корнями и если притомъ при расчетѣ отверстія моста предполагалось, что русло должно быть размыто, то необходимо устранить всѣ эти препятствія, чтобы дать возможность принять размытому руслу правильную форму.

Приведемъ нѣсколько примѣровъ струенаправляющихъ сооруженій:

1) На рис. 277 изображены регуляціонныя работы при пересѣченіи р. Ишима на Западно-Сибирской жел. дорогѣ мостомъ отверстіемъ въ 100 с. Рѣка Ишимъ при подходѣ къ мосту дѣлаетъ длинную,

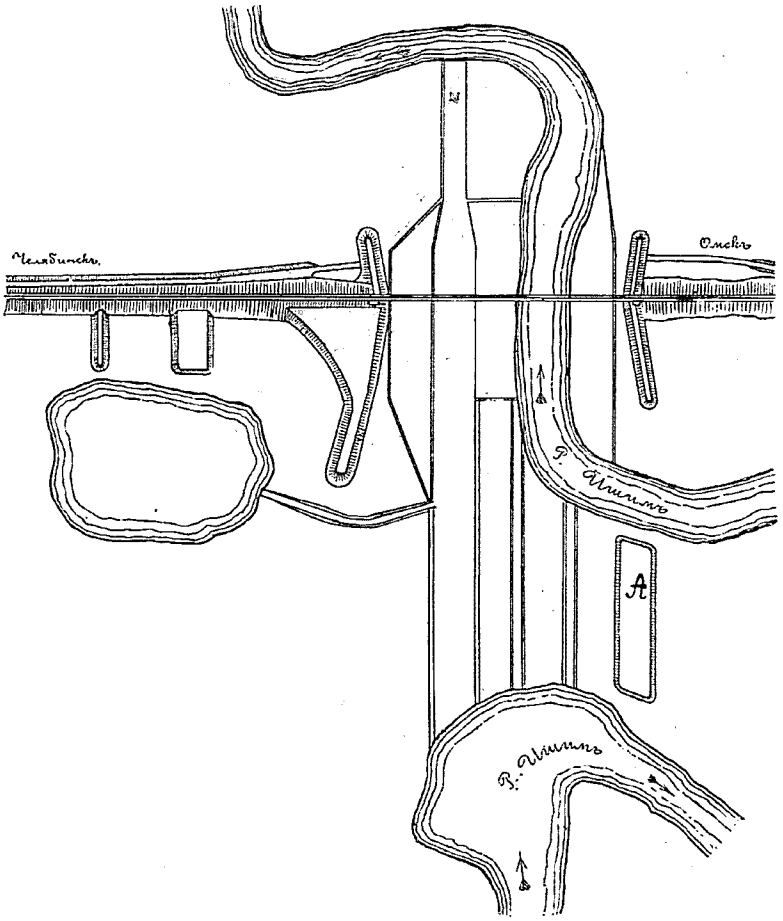


Рис. 277.

до 2-хъ верстъ, излучину вправо. Чтобы предохранить отъ размыва откосы полотна, расположеннаго около излучины, русло спрямлено перекопами; для облегченія размыва грунтъ снять до уровня межени въ предѣлахъ моста и на 50 саж. въ обѣ стороны; съ верховой и низовой стороны устроены струенаправляющія дамбы и рядъ траверсовъ; дамбу *А*, поставленную отдѣльно съ верховой стороны, предполагается впослѣдствіи соединить съ правой верховой дамбой, когда прокопъ настолько будетъ разработанъ, что воды Ишима можно будетъ не направлять по излучинѣ.

2) На рис. 278 показаны регуляціонныя работы около моста черезъ р. Квирилы на Закавказской жел. дорогѣ. Для направленія теченія нормально къ мосту устроенъ рядъ поперечныхъ запрудъ около обонхъ возвышенныхъ береговъ; по острову сдѣланъ прокопъ; конусы устоевъ соединены незатопляемыми дамбами съ прилегающими возвышенностями; ниже моста устроенъ сливной порогъ между низовыми струенаправляющими дамбами.

3) Рѣка Днѣпръ подъ Кіевомъ течетъ среди поймы шириною 12 верстъ, состоящей изъ намывныхъ песковъ. Выше города Кіева меженнее русло расположено по срединѣ долины; около города русло подходитъ къ правому берегу. Въ этомъ мѣстѣ Днѣпръ образуетъ два рукава: «Черторой» (*A*, рис. 279) и «Старикъ» (*B*), которые соединяются съ главнымъ русломъ выше Николаевскаго цѣпного моста; въ истокъ Чертороя вливаетъ сверхъ того свои воды «Десенка» (*C*), составляющая въ свою очередь рукавъ р. Десны (*D*), притока Днѣпра, впадающаго въ Днѣпръ въ 8—10 верстахъ выше города. Рукавъ Чертороя въ колѣнѣ при поворотѣ въ сторону Днѣпра образовалъ заливъ, называвшійся Русановскимъ. Чтобы воспрепятствовать отвлеченію водъ Днѣпра въ Черторой, въ 40-хъ годахъ устроена была запруда въ его истокѣ, въ которой оставлено было отверстіе въ 20 саж., чтобы не сразу направить все теченіе къ городскому берегу, который тогда не былъ еще укрѣпленъ. Вскорѣ послѣ того предположено было запрудить наглухо истокъ Черторой; однако противъ этого возстали англійскіе инженеры, строившіе въ то время (1853—1855) Николаевскій цѣпной мостъ, такъ какъ и безъ того устройство перемычекъ для основанія мостовыхъ опоръ было сопряжено съ многими затрудненіями. Мостъ построенъ противъ крѣпости въ наиболѣе узкой части

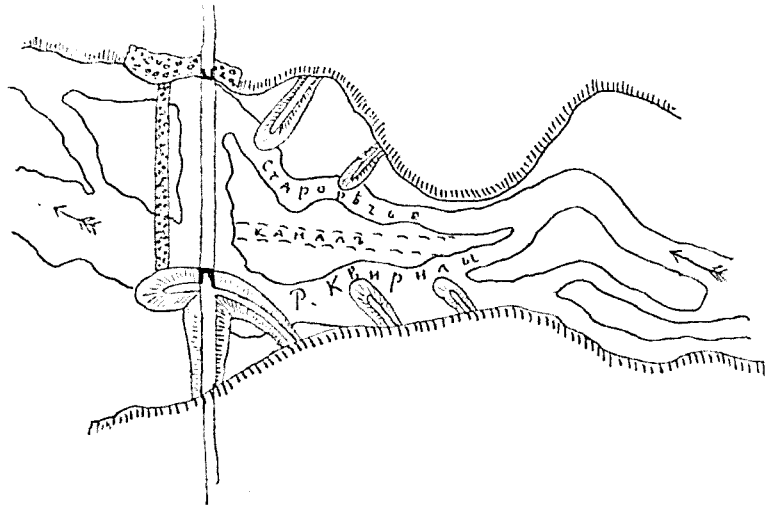


Рис. 278.

поймы, немного ниже второго соединенія рукавовъ «Чертороя» и «Старика» съ главнымъ русломъ. Чистое отверстіе моста, перекрывающаго главное русло Днѣпра, составляетъ 4×440 ф. $+ 2 \times 220$ ф. $= 2200$ ф. $= 314$ с., а съ прибавленіемъ 8 с. отверстія разводной части—всего 322 с. Сверхъ того въ дамбѣ, идущей по лѣвому затопляемому берегу, оставлены были еще три отверстія общей длиною 424 саж., перекрытыя деревянными мостами. Причина оставленія этихъ добавочныхъ отверстій недостаточно выяснена. Можетъ быть строители моста полагали, что отверстіе въ 314 с. или 322 с. недостаточно и что временные мосты на разливѣ должны быть современемъ замѣнены постоянными; съ другой стороны можно допустить, что они признавали отверстіе цѣпного моста нормальнымъ и оставили добавочныя отверстія для того, чтобы во время сооруженія моста отвлечь отъ главнаго русла значительную часть расхода.

Запруженіе истока Чертороя имѣло послѣдствіемъ занесеніе песками правыхъ пролетовъ моста и углубленіе лѣвыхъ пролетовъ, такъ какъ до того воды Чертороя, вливаясь въ главное русло выше моста, отклоняли теченіе къ правому берегу; съ ослабленіемъ же теченія по этому протоку струя главнаго русла, отражаясь отъ вогнутаго берега урочища Наталка, направлялась къ низменному лѣвому берегу и стала размывать лѣвые пролеты.

Устройство добавочныхъ отверстій въ дамбѣ по линіи кратчайшаго направленія весенніхъ водъ (одно изъ отверстій было оставлено надъ Русановскимъ заливомъ) отвлекало значительное количество воды отъ главнаго русла съ поврежденіемъ деревянныхъ мостовъ; главную причину поврежденія мостовъ слѣдуетъ искать не столько въ значительности расхода, благодаря кратчайшему направленію теченія, сколько въ томъ, что въ мостахъ, построенныхъ въ предѣлахъ разлива,

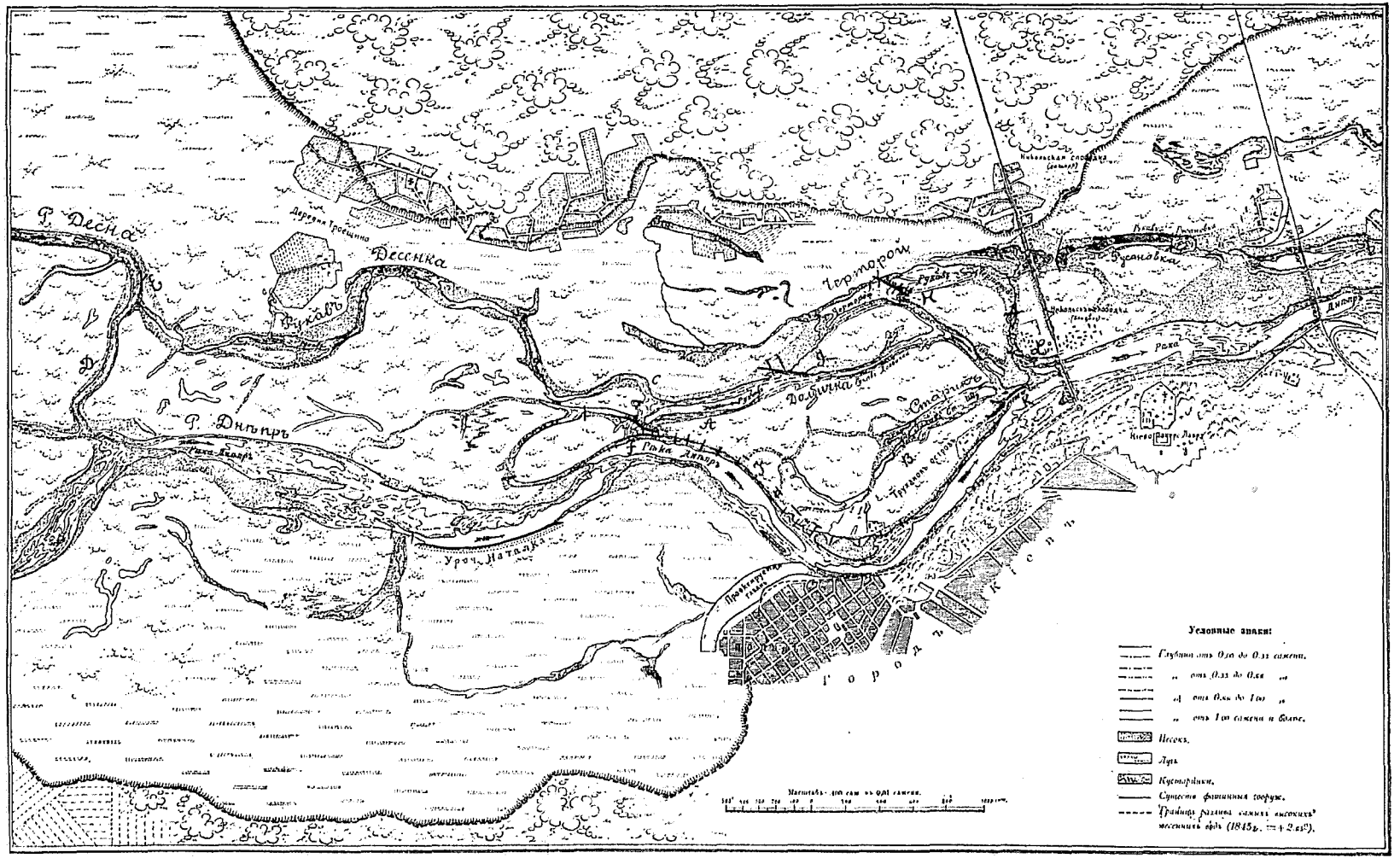

Р. Десна
Деревня Троещина
Десенка
Вусовъ
Р. Днѣпръ
Рѣка Днѣпръ
Урочище Матвѣевка
Чертороя
Рудня
Рѣка
Вусовка
Рѣка
Старое
Рѣка Днѣпръ
Г о р о д К и е в ъ
Условные знаки:
Глубина отъ 0,00 до 0,33 сажени.
" отъ 0,33 до 0,66 "
" отъ 0,66 до 1,00 "
" отъ 1,00 сажени и болѣе.
Песокъ.
Лугъ.
Кустарники.
Существующія фортификаціонныя сооруженія.
Граница разлива самыхъ высокихъ весенних водъ (1845 г. = +2,61).

Рис. 279.

разность горизонтовъ выше и ниже моста очень велика, а слѣд. велика и скорость протеканія. Въ 1877 г. мосты были снесены водою *), а въ наибольшемъ изъ мостовъ, «Русановскомъ» длиною 224 саж., образовалось новое рѣчное русло; такимъ образомъ рукавъ «Чертороя», который прежде соединялся съ главнымъ русломъ выше цѣпного моста, получилъ еще новое соединеніе съ главнымъ русломъ ниже цѣпного моста. Образовавшійся протокъ «Русановка» вызвалъ сильный перепадъ воды черезъ запруду въ истокѣ Чертороя; запруда была повреждена, и значительная часть воды Днѣпра стала направляться по Черторою, затѣмъ по Русановкѣ и обходила цѣпной мостъ, что имѣло послѣдствіемъ обмелѣніе главнаго русла. Послѣ этого предпринятъ былъ цѣлый рядъ работъ, имѣвшихъ цѣлью урегулированіе теченія р. Днѣпра въ предѣлахъ отъ впаденія р. Десны до Кіевскаго желѣзнодорожнаго моста и закрѣпленіе теченія Днѣпра около города посредствомъ запруженія лѣвыхъ боковыхъ рукавовъ, закрытія протоковъ и ложбинъ въ берегахъ и собранія всѣхъ межепнихъ водъ въ одно коренное русло съ сосредоточеніемъ теченія подъ цѣпной мостъ. Въ теченіе нѣсколькихъ лѣтъ, начиная съ 1883 г. по настоящее время, выполнены слѣдующія работы: a) въ истокѣ Чертороя возстановлена разрушенная запруда, и устроена подъ угломъ къ ней вдоль лѣваго берега Днѣпра вогнутая струсотводная плотина (F), соединенная съ прежней двумя траверсами; b) въ потокѣ Десенки устроена струенаправляющая дамба (E), чтобы уменьшить расходъ въ Десенкѣ, питавшей отчасти Черторой; c) на Чертороѣ построена въ средней его части запруда (G) съ прорытіемъ каналовъ въ заливъ Долбичку для направленія водъ Чертороя непосредственно къ цѣпному мосту, и построена вторая запруда (H), чтобы уменьшить притокъ воды къ Русановскому протоку; d) по лѣвому берегу Днѣпра ниже истока Чертороя возведенъ рядъ струеотводныхъ бунъ, и загорожены дамбами истоки всѣхъ мелкихъ протоковъ; e) въ виду образовавшихся отмелей подъ правыми пролетами цѣпного моста и направленія главной струи Днѣпра подъ лѣвые пролеты, что отчасти вызывалось отсутствіемъ вызвышеннаго лѣваго берега, впереди моста, примѣрно противъ быка № 4 устроена струенаправляющая дамба (K), составляющая какъ бы продолженіе Труханова острова и отклоняющая часть теченія подъ правые пролеты.

Такъ какъ одною изъ причинъ отклоненія теченія отъ главнаго русла представлялось существованіе дополнительныхъ отверстій въ дамбахъ, то одновременно съ этими работами происходило постепенное уменьшеніе этихъ дополнительныхъ отверстій съ соотвѣтственнымъ укрѣпленіемъ ложа рѣки около опоръ цѣпного моста. Оба устоя моста, 4-й и 5-й быки (считая отъ Кіева) основаны на свайномъ основаніи, и каменная кладка опущена на 1,00 с., ниже низкаго горизонта; 1-й, 2-й и 3-й быки основаны прямо на грунтѣ съ заложеніемъ основанія на 5 с. ниже низкаго горизонта. Предварительно закрытія двухъ дополнительныхъ отверстій въ дамбѣ и направленія значительной части весеннихъ водъ подъ мостъ приступлено было къ укрѣпленію перемычекъ около опоръ моста съ заполненіемъ промежутковъ между ними камнемъ и бетономъ, къ погрузкѣ около опоръ тюфяковъ съ каменной наброской и къ устройству около лѣваго устоя дамбы (L), назначеніе которой состояло въ пересѣченіи всѣхъ боковыхъ весеннихъ струй и удаленіи отъ моста мѣста сліянія ихъ съ главной струей, гдѣ могли образоваться водовороты. Послѣ того засыпаны были наглухо два меньшихъ дополнительныхъ отверстія на Днѣпровской дамбѣ, общимъ протяженіемъ 202,5 с., и въ теченіе нѣсколькихъ лѣтъ начиная съ 1897 г. постепенно уменьшалось отверстіе третьяго (Русановскаго) моста на дамбѣ, такъ что въ 1887 г. изъ прежнихъ 424 пог. саж. боковыхъ отверстій моста осталось всего 100 с.; соотвѣтственно этому укрѣпляли фашинными тюфяками съ каменной наброской пороги въ руслѣ Русановскаго моста, гдѣ образовалась ниже моста яма, промоина, глубиною до 11 саж. ниже межени.

Ветхое состояніе деревяннаго Русановскаго моста вновь вызвало въ 1898 г. вопросъ о капитальной его перестройкѣ или о совершенномъ закрытіи этого отверстія. Съ этою цѣлью былъ произведенъ рядъ изслѣдованій для опредѣленія наиболѣе вѣроятнаго значенія полнаго расхода р. Днѣпра и для выясненія, насколько существующее отверстіе цѣпного моста и глубина заложенія опоръ отвѣчаютъ этому расходу. Слѣдующія примѣрныя соображенія, основанныя на сравненіи съ существующими мостами, указывали уже на недостаточность отверстія цѣпного моста въ 314 пог. саж. или, съ прибавленіемъ разводной части, въ 322 пог. саж. Такъ первый ближайшій мостъ на Кіево-

*) Наибольшіе паводки имѣли мѣсто въ 1845, 1877 и 1895 г.г.; горизонтъ воды 1895 г. былъ всего на 0,44 с. ниже горизонта 1845 г.

Воронежской ж. д., расположенный въ 3 верстахъ ниже, имѣетъ отверстіе 480 саж.; Кременчугскій мостъ на Харьков.-Ник. ж. д., расположенный также ниже по теченію, имѣетъ 435 с., при чемъ между Кременчугомъ и Кіевомъ впадаетъ въ Днѣпръ р. Сула, перекрытая мостомъ въ 60 с.; у Екатеринослава отверстіе моста чрезъ р. Днѣпръ — 550 с., но ниже Кіева въ Днѣпръ впадаютъ Сула, Пселъ и Ворекла, изъ которыхъ послѣднія двѣ рѣки перекрыты мостами въ 45 с. и 20 с. Выше Кіева Днѣпръ перекрывается у Рѣжицы мостомъ въ 140 с.; между Рѣжицей и Кіевомъ впадаютъ рѣки Припять, Сожъ и Десна, перекрытыя мостами въ 150 с., 105 с. и 160 с. Такимъ образомъ изъ этихъ данныхъ слѣдуетъ, что отверстіе моста у Кіева должно бы составлять: 480 с.; 435 — 60 = 375 с.; 550 — 60 — 45 — 20 = 425 с.; 140 + 150 + 105 + 160 = 555 с. Но очевидно, величина отверстія моста на какой-либо рѣкѣ не можетъ равняться суммѣ отверстій всѣхъ выше лежащихъ мостовъ, такъ какъ высокія воды на всѣхъ притокахъ наступаютъ не одновременно, и глубина живого сѣченія по мѣрѣ приближевія къ устью увеличивается. Такимъ образомъ отверстіе 555 с. преувеличено, а 375 с. повидимому недостаточно; наиболѣе вѣроятное значеніе отверстія: 400 с. — 425 с.; во всякомъ случаѣ, если не принять какихъ-либо особыхъ мѣръ къ укрѣпленію ложа рѣки Днѣпра подъ Кіевскимъ мостомъ, то отверстіе 314 с., долженствующее пропускать всѣ высокія воды, недостаточно.

Не довольствуясь результатами сего сравненія, приступлено было къ опредѣленію наибольшаго расхода, наибольшаго допускаемаго размыва русла въ зависимости отъ расхода и глубины заложенія опоръ и проч.

Расходъ воды при наивысшемъ горизонтѣ былъ опредѣленъ по формулѣ: $Q = a + bh + ch^2 + dh^3$, гдѣ h—отмѣтка горизонта воды; значенія постоянныхъ a, b, c и d были найдены по способу наименьшихъ квадратовъ, пользуясь 18-измѣреннымъ дѣйствительными скоростями и вычисленными по нимъ расходами при различныхъ отмѣткахъ горизонта воды. Значенія этихъ коэффиціентовъ оказались для расхода у желѣзнодорожнаго моста:

$$a = 142{,}254,\ b = 105{,}034,\ c = 39{,}017,\ d = 63{,}178;$$

для расхода у цѣпного моста:

$$a = 158{,}916,\ b = 101{,}195,\ c = 11{,}851,\ d = 41{,}203.$$

Въ числѣ данныхъ были расходы, измѣренные при отмѣткѣ 2,21 с., т. е. только на 0,44 с. ниже отмѣтки наивысшаго горизонта 2,65 с., такъ что вычисленныя значенія постоянныхъ примѣнимы съ достаточной вѣроятностью и къ опредѣленію расхода при отмѣткѣ 2,65 с. надъ нулевымъ горизонтомъ, который на 1 с. выше низкаго горизонта. Для контроля расходы были опредѣлены отдѣльно чрезъ отверстіе цѣпного и Русановскаго мостовъ и чрезъ отверстіе желѣзнодорожнаго моста, подъ которымъ главное русло и Русановскій протокъ сливаются въ одинъ потокъ. (Расходъ чрезъ Русановскій мостъ опредѣлялся по формулѣ:

$$\sqrt{Qp} = h + \delta,$$

гдѣ p—параметръ параболы; h—отмѣтка горизонта воды надъ нулемъ водомѣрной рейки; δ—разстояніе отъ вершины параболы до нуля рейки).

Эти изслѣдованія и вычисленія показали, что при отмѣткѣ 2,65 с., отвѣчающей наивысшему горизонту (въ 1845 г.), расходъ чрезъ цѣпной мостъ есть 1277 куб. саж., чрезъ Русановскій мостъ (отв. 100 с.) — 471 куб. саж., а расходъ чрезъ желѣзнодорожный мостъ — 1884 куб. саж., что составляетъ разницу въ 136 куб. саж. противъ: 1277 + 471 = 1748 куб. саж. Если остановиться на расходѣ въ 1884 куб. саж., то исправленные расходы чрезъ цѣпной и Русановскій мосты составятъ: 1377 и 507 куб. саж.

При отмѣткѣ 2,18 с. представилось возможнымъ опредѣлить дѣйствительныя скорости, при чемъ оказалось, что наибольшая скорость на поверхности составляетъ $v = 1{,}165$ с.; наибольшая по дну — 0,828 с.

Опредѣливъ расходъ, нужно было установить наибольшій допускаемый размывъ при существующей глубинѣ заложенія основанія опоръ. Опора № 3, заложенная непосредственно на грунтѣ на глубинѣ на 5 саж. ниже низкаго горизонта, представляетъ объемъ вѣсомъ 548000 пуд., а за вычетомъ

объема вытѣсненной воды при меженнемъ горизонтѣ, вѣсомъ 113000 пуд., имѣетъ вѣсъ 435000 пуд. Съ прибавленіемъ вѣса верхняго строенія—30700 пуд. и подвижной нагрузки—45448 пуд. получается 511148 пуд. или $\frac{511148}{62} = 8113$ пуд. на 1 кв. саж., чему соотвѣтствуетъ вѣсъ песчаного столба въ $h' = \frac{8113}{1000} = 8{,}10$ с., что при $\varphi = 30°$ требуетъ толщину слоя, сопротивляющагося выпиранію, высотою не менѣе:

$$h = h' tg^4 \left(\frac{90° - \varphi}{2}\right)$$

или

$$h > 8{,}10 \text{ с.} \times 0{,}113, \text{ т. е. } h > 0{,}91 \text{ с.}$$

Примѣняя коэффиціентъ устойчивости 2,5, будемъ имѣть:

$$h = 0{,}91 \times 2{,}5 = 2{,}23 \text{ с.}$$

Если предположить, что вода не проникаетъ на глубину заложенія подошвы основанія, какъ это часто предполагаютъ для запаса, то не слѣдовало бы брать въ расчетъ вѣса вытѣсненной воды; тогда давленіе на кв. саж. площади основанія:

$$\frac{511148 + 113000}{62} = 10067 \text{ пуд. на кв. саж.,}$$

$$h' = \frac{10067}{1000} = 10{,}1 \text{ с.,}$$

$$h > 10{,}1 \times 0{,}113 = 1{,}14 \text{ с.,}$$

и

$$h = 1{,}14 \times 2{,}5 = 2{,}85 \text{ с.}$$

вмѣсто

$$h = 2{,}23 \text{ с.}$$

[Въ данномъ случаѣ, гдѣ бетонный массивъ опоры окруженъ тройнымъ шпунтовымъ рядомъ, который заполненъ камнемъ и бетономъ, и нижнее ребро котораго опущено примѣрно на 1 саж. ниже подошвы бетоннаго массива, по мнѣнію нѣкоторыхъ, за глубину заложенія опоръ слѣдуетъ принять низъ шпунтовыхъ рядовъ, а за площадь основанія опоры—площадь, ограниченную наружнымъ шпунтовымъ рядомъ. При такихъ условіяхъ, если принять во вниманіе вѣсъ вытѣсненной воды, толщина сопротивляющагося выпиранію слоя земли надъ нижнимъ ребромъ шпунтоваго ряда при коэффиціентѣ запаса 2,5 составляла бы всего $2{,}5 \times 0{,}63 = 1{,}67$ вмѣсто 2,23 с. Правильнѣе считать за площадь основанія опоры площадь, ограниченную внутреннимъ шпунтовымъ рядомъ, и къ вѣсу опоры прибавить вѣсъ песчанаго столба между подошвой бетоннаго массива и нижнимъ ребромъ шпунтоваго ряда].

Въ виду же того, что при существующемъ нынѣ положеніи укрѣпленныхъ частей дна вокругъ быковъ толщина эта составляетъ 3,5 с. на протяженіи отъ 8 с. до 10 с. и въ будущемъ имѣется въ виду каждую опору окружить неразмываемыми островами изъ каменной наброски шириною до 20 с., возвышающимися около опоръ на 4—5 саж. выше подошвы опоры и спускающимися пологими откосами къ серединѣ пролета, при чемъ средняя толщина слоя надъ подошвой опоры была бы во всякомъ случаѣ болѣе 2,85 с., то опоры слѣдовало признать устойчивыми; такимъ образомъ, часть пролета, которая могла бы подвергаться размыву, составляла бы всего: 60 с. $— 2 \times 20$ с. $= 20$ с. Величину безопаснаго размыва этой средней части пролета составители проекта, руководствуясь опытомъ предыдущихъ лѣтъ, положили допустить около 5 с. ниже низкаго горизонта, т. е. вровень съ глубиною заложенія основанія. Слѣдовательно, если бы въ случаѣ направленія всѣхъ водъ подъ цѣнной мостъ при неукрѣпленной средней части ложа не произошло размыва глубже 5 с. ниже низкаго горизонта, или если бы дальнѣйшему размыву можно было воспрепятствовать соотвѣтственнымъ укрѣпленіемъ ложа, то устойчивость опоръ можно было бы считать обезпеченной.

Остается теперь выяснить, какъ велика можетъ быть скорость, если направить весь расходъ

подъ цѣпной мостъ, и не произойдетъ ли размыва болѣе намѣченнаго выше предѣла. Измѣренный расходъ подъ цѣпнымъ мостомъ при отмѣткѣ 2,18 с. (1895 г.) составляетъ 1178,11 куб. саж. при средней глубинѣ живого сѣченія въ 4,40 с. Если направить подъ цѣпной мостъ весь расходъ, то вѣроятная средняя глубина послѣ того, какъ скорость вслѣдствіе размыва уменьшится до того же предѣла, какъ и въ 1895 г., будетъ: $\frac{1884 \times 4,40}{1178,11} = 7,03$ с.

Съ другой стороны, если допустить, что въ предѣлахъ каждаго пролета безопасная глубина на протяженіи 20 с. въ средней части пролета составляетъ 5 с. ниже низкаго горизонта, а около опоръ—отъ 0 с. до 1 с. отъ того же горизонта, съ постепеннымъ увеличеніемъ до 5 с., то соотвѣтствующая этому предѣльному очертанію площадь живого сѣченія при высокомъ горизонтѣ выразится въ 1980 кв. саж. при средней глубинѣ 5,61 с., считая отъ высокаго горизонта, который на 2,65 с. выше нулеваго горизонта или на 3,65 с. выше горизонта низкихъ водъ. Поэтому средняя скорость будетъ $\frac{1884}{1980} = 0,98$ с., что превосходитъ 0,7 с., выяснившуюся изъ наблюденій среднюю скорость на Днѣпрѣ, при которой размывъ прекращается, при чемъ дѣйствительный размывъ будетъ превышать допускаемый размывъ на $7,03 - 5,61 = 1,42$ с.; слѣдовательно, если направить все теченіе подъ цѣпной мостъ и задаться требованіемъ, чтобы не было размыва болѣе вышеуказаннаго предѣльнаго очертанія, то пришлось бы сдѣлать сплошное укрѣпленіе камнемъ дна по всему протяженію моста. Такое укрѣпленіе, распространенное на ширину только 100 с. потребовало бы при толщинѣ наброски въ 1 с. до 241000 куб. саж. камня на сумму до 1330000 руб., а съ дополнительными работами до 1720000 руб. Какъ значительность этого расхода, такъ и неувѣренность, что проектированными укрѣпленіями можно вполнѣ предотвратить размывы, а главное — громадное затрудненіе, которое представляетъ для судоходства средняя скорость $\frac{1884}{1980} = 0,98$, указали на необходимость увеличенія отверстія моста на 100 с.

Наиболѣе правильнымъ рѣшеніемъ представлялось бы закрыть наглухо Русановскій протокъ и удлинить существующій мостъ на 100 с.; но въ виду того, что со стороны лѣваго устоя образовалась цѣлая слобода, отчужденіе которой стоило бы значительныхъ суммъ—до 300000 руб., общая стоимость исполненія этого проекта выразилась бы суммой 1233000 руб. При сохраненіи же отверстія въ 100 с. на мѣстѣ Русановскаго моста, съ замѣной его желѣзнымъ мостомъ,—въ случаѣ примѣненія металлическихъ свайныхъ быковъ при 13 саж. пролетахъ, общая стоимость моста составитъ около 300000 руб.

Полагая, что чрезъ Русановскій протокъ, если онъ будетъ закрѣпленъ въ настоящемъ его видѣ, направится, какъ найдено выше, 507 куб. саж., слѣдуетъ ожидать, что чрезъ главное русло пройдетъ 1377 куб. с. съ среднею скоростью $\frac{1377}{1980} = 0,7$, при средней глубинѣ: $\frac{1377 \times 4,4}{1178,11} = 5,15$ с., что будетъ менѣе допускаемой системою устройства основаній средней глубины живого сѣченія въ 5,61 с. Но при этомъ необходимо солидно укрѣпить порогъ водослива Русановскаго моста, такъ какъ благодаря вѣроятной значительной разности горизонтовъ выше и ниже моста скорость протеканія чрезъ Русановскій мостъ будетъ очень велика.

На рис. 280 показана продольная профиль по оси цѣпного моста и Днѣпровской дамбы.

4) При пересѣченіи р. З. Буга С.-Петербурго-Варшавской и Сѣдлецъ-Малкинской желѣзными дорогами возведены весьма интересныя струенаправляющія сооруженія. Детальный планъ показанъ на рис. 281, а схематическій планъ расположенія сооруженій изображенъ на рис. 282.

С.-Петербурго-Варшавская ж. дорога (рис. 281) пересѣкаетъ р. З. Бугъ мостомъ о пяти пролетахъ, общимъ отверстіемъ 130 с.; устои построены на свайномъ основаніи, а промежуточныя опоры состоятъ изъ трубчатыхъ колоннъ, заполненныхъ кладкой и опущенныхъ на глубину 5,41 с. ниже межени. Ложе рѣки представляетъ легко размываемый мелкій песокъ. До сооруженія чрезъ ту же рѣку второго моста на Сѣдлецъ-Малкинской ж. дор. на разстояніи 850 саж. выше по теченію—высокія воды р. Буга подходили къ полотну С.-Петербурго-Варшавской ж. дор. тремя протоками: а) по главному руслу противъ моста; b) по двумъ рукавамъ: Сѣверному Бужиску и Южному Бужиску; долина Южнаго Бужиска болѣе низменная и большей площади, такъ что почти около $^1/_3$ всего расхода направлялось по Южному Бужиску и затѣмъ продольнымъ теченіемъ вдоль полотна дороги достигало моста.

Появленіе этихъ трехъ протоковъ обусловливалось тѣмъ, что въ 5 — 6 верстахъ выше моста р. Бугъ, благодаря возвышенности, дѣлала крутую излучину къ сѣверу. Обогнувъ возвышенность, часть высокихъ водъ направлялась по болѣе прямому направленію, образуя Сѣверный Бужиско, а другая часть поворачивала круто къ югу, направляясь по главному руслу, и вновь дѣлала крутой изворотъ къ западу, что не совпадало съ общимъ направленіемъ теченія высокихъ водъ на юго-западъ. Вслѣдствіе этого въ этомъ второмъ поворотѣ главной линіи русло опять раздѣлялось на двѣ части; одна часть сохранила теченіе на западъ по главному руслу, а другая проложила себѣ новое направленіе—юго-западное, образовавъ протокъ Южный Бужиско. При сооруженіи С.-Петербурго-Варшавской ж. д. противъ рукава Южнаго Бужиска былъ поставленъ мостъ, называвшійся мостомъ черезъ р. Оржелку, отв. 3,5 саж., но вслѣдствіе того, что онъ подвергался постояннымъ

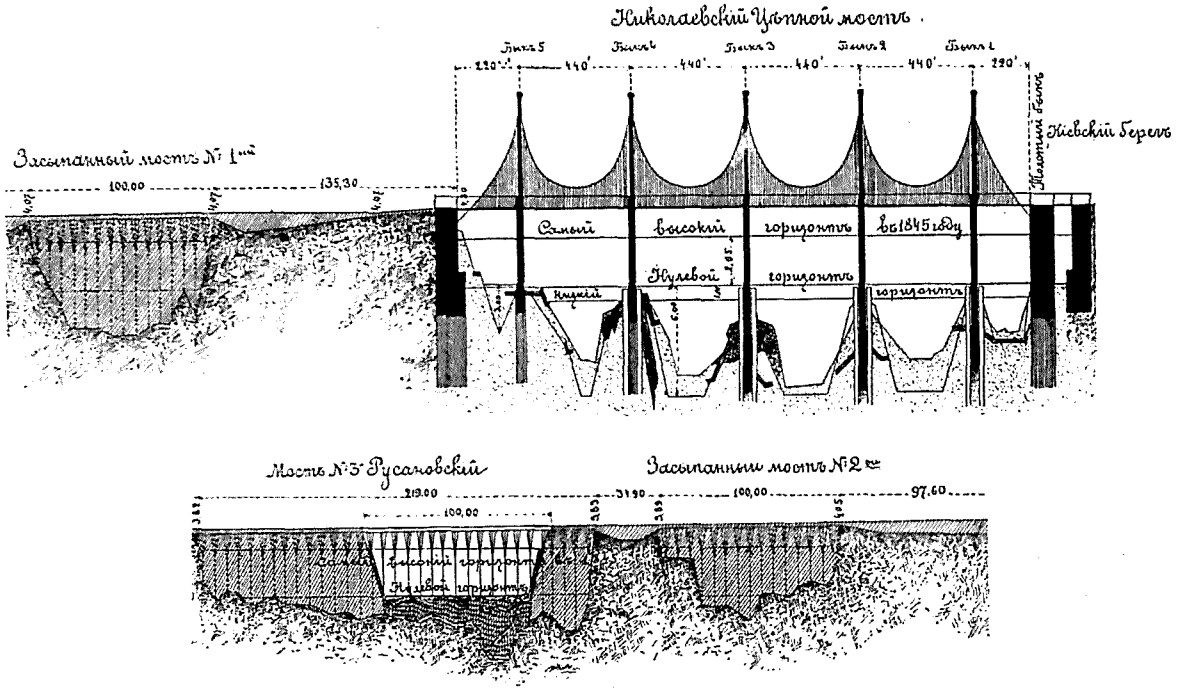


Рис. 280.

подмывамъ, отверстіе моста было вскорѣ засыпано. Причиною размыва было помѣщеніе моста въ предѣлахъ разлива, гдѣ, какъ извѣстно, по мѣрѣ удаленія отъ моста, всегда существуетъ значительная разность горизонтовъ разлива по обѣ стороны полотна.

Съ самаго начала постройки моста черезъ р. Бугъ замѣчался размывъ двухъ первыхъ отъ Варшавы пролетовъ и особенно перваго, что объясняется водоворотами, образовавшимися отъ встрѣчи вышеупомянутаго продольнаго теченія вдоль полотна съ общимъ наклоннымъ къ оси моста теченіемъ главнаго русла. Въ 1880 г. наиболѣе размытая часть этого пролета возвышалась всего на 0,80 с. надъ подошвой перваго, со стороны Варшавы, быка. Тогда же забитъ былъ вокругъ быка сплошной рядъ свай съ засыпкою камнемъ промежутка между быкомъ и сплошнымъ рядомъ; остальные пролеты не подвергались размыву. Кромѣ того, для отклоненія продольнаго теченія отъ полотна и отъ варшавскаго устоя, устроены были перпендикулярно къ полотну полузапруды, прорыты канавы, выправившія живое сѣченіе русла подъ мостомъ, устроена каменная отсыпь въ видѣ дамбы съ верховой стороны варшавскаго устоя.

Въ 1886 г. приступлено было къ сооруженію Сѣдлецъ-Малкинской ж. дор. съ мостомъ черезъ р. Западный Бугъ, помѣщеннымъ на 850 с. выше моста на С.-Петербурго-Варшавской жел. дор. Такимъ образомъ, вышеупомянутыя неблагопріятныя условія, создаваемыя тремя потоками р. Буга, въ данномъ случаѣ сказывались еще болѣе невыгоднымъ образомъ въ отношеніи полотна и моста вновь сооружаемой желѣзной дороги. Вслѣдствіе сего рѣшено было уничтожить излучину р. Буга,

сдѣлавъ прокопъ *gh* (рис. 281) по песчаной возвышенности. Такъ какъ для уменьшенія издержекъ прокопъ былъ сдѣланъ не по всю ширину меженнаго русла р. Буга, при чемъ размывъ до нормальныхъ размѣровъ предполагалось предоставить дѣйствію высокихъ водъ, то нельзя было сразу закрыть теченіе меженныхъ и весеннихъ водъ р. Буга по излучинѣ, вслѣдствіе чего нужно было обезпечить полотно и мостъ отъ разрушительнаго вліянія протоковъ Сѣвернаго и Южнаго Бужиска. Съ этою цѣлью съ напорной стороны полотна противъ Сѣвернаго Бужиска устроенъ былъ рядъ полузапрудъ, постепенно удлиняющихся по мѣрѣ приближенія къ мосту, а для предохраненія полотна отъ продольнаго теченія задержанныхъ водъ Южнаго Бужиска и для возможнаго удаленія отъ моста мѣста встрѣчи потока главнаго русла съ продольнымъ теченіемъ по полотну со стороны Сѣдлецкаго

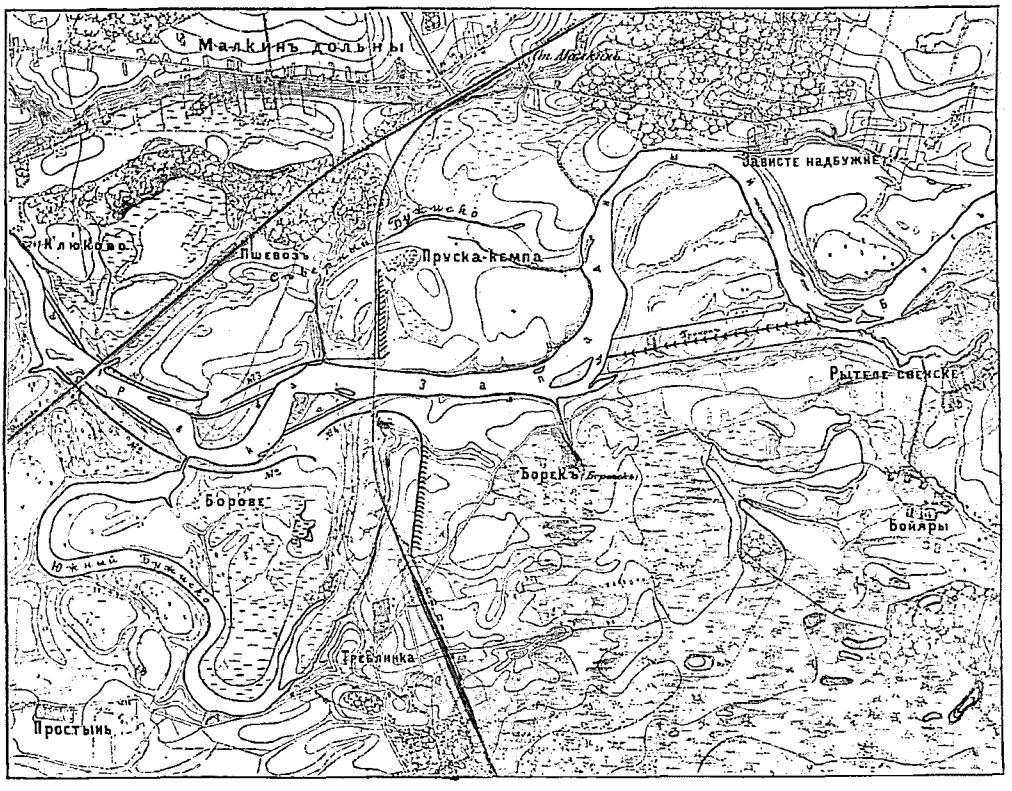


Рис. 281.

устоя устроена была длинная грушевидная дамба, усиленная сверхъ того короткими поперечными полузапрудами. Полузапруды имѣютъ ломанное направленіе, такъ какъ устроены частью незатопляемыми, частью затопляемыми. Въ наиболѣе удаленномъ отъ моста мѣстѣ оставлено было въ дамбѣ отверстіе для возможности заполненія весенними водами огражденнаго грушевидною дамбою пространства, во избѣжаніе образованія напора на дамбу; для вывода же снѣговыхъ и дождевыхъ водъ въ дамбѣ около устоя уложена чугунная труба съ затворомъ.

По прошествіи трехъ лѣтъ прокопъ былъ размытъ дѣйствіемъ весенніихъ водъ до соотвѣтственной ширины; прежнее русло р. Буга на излучинѣ пересыпано плотинами.

Мостъ черезъ р. Бугъ на Сѣдлецъ-Малкинской жел. дорогѣ о 7 пролетахъ, общимъ отверстіемъ 150 саж., т. е. на 20 саж. длиннѣе моста черезъ р. Бугъ на С.-Петербурго-Варшавской ж. дорогѣ; устои заложены на свайномъ основаніи, а быки на кессонахъ, опущенныхъ на глубину отъ 6,5 до 7,0 саж. ниже межени. Направленіе оси полотна Сѣдлецъ-Малкинской жел. дор. образуетъ съ осью полотна С.-Петербурго-Варшавской жел. дороги уголъ около 45°.

Съ постройкою Сѣдлецъ-Малкинской жел. дороги условія работы моста черезъ рѣку Бугъ на С.-Петербурго-Варшавской жел. дорогѣ коренпымъ образомъ измѣнились. Прямолинейное и нормальное къ полотну на значительномъ протяженіи направленіе теченія высокихъ водъ главнаго

русла, въ связи съ вліяніемъ грушевидной дамбы на воды Южнаго Бужиска, имѣло послѣдствіемъ стремленіе потока сохранить это направленіе и по выходѣ изъ отверстія моста. Послѣдствіемъ этого было увеличеніе вліянія потока главнаго русла на мостъ С.-Петербурго-Варшавской жел. дороги за счетъ уменьшенія вліянія водъ разлива, а такъ какъ противъ прямолинейнаго направленія приходилась глухая часть полотна С.-Петербурго-Варшавской жел. дор., прилегающая къ петербургскому устою, то нужно было ожидать подмыва этой части полотна и усиленной работы пролетовъ со стороны Петербурга, которые въ прежнее время обыкновенно оставались неразмытыми, что вызывало даже принятіе искусственныхъ мѣръ къ направленію водъ въ эти пролеты помощью прорытія канавъ и пр.

Дѣйствительно, въ слѣдующемъ году послѣ окончанія сооруженія моста черезъ р. Бугъ на Сѣдлецъ-Малкинской жел. дорогѣ, т. е. въ 1888 г., когда наступили необычайно высокія воды, съ возвышеніемъ на 2,01 саж. выше меженн, произошелъ размывъ нѣкоторыхъ пролетовъ Варшавскаго моста, при чемъ наиболѣе размытымъ пролетомъ оказался первый со стороны Петербурга; подошва быка оказалась только на 0,09 саж. ниже размытаго дна; часть откоса полотна со стороны Петербурга была повреждена; равнымъ образомъ отъ сильнаго волненія были повреждены и откосы Варшавской дамбы, разрушена часть полузапруды; ограждающій валикъ на С.-Петербурго-Варшавской жел. дорогѣ мѣстами смыть, а кромѣ того, обнаружена фильтрація черезъ ядро дамбы.

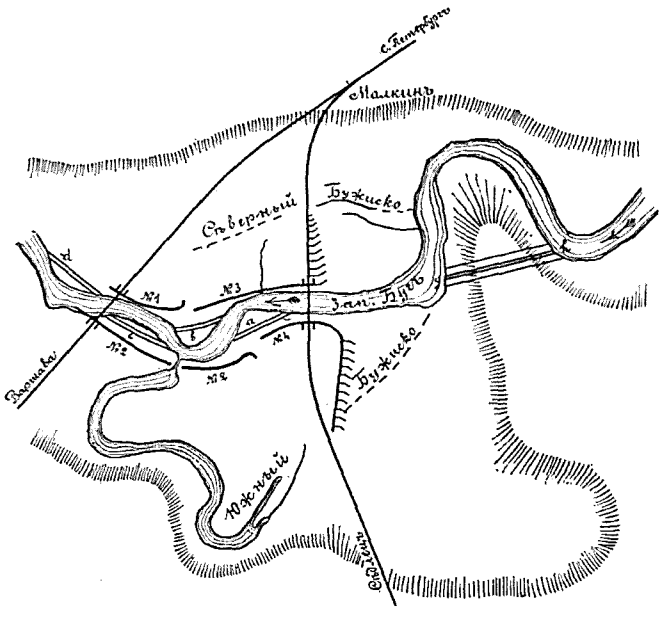


Рис. 282.

Лица, свидѣтельствовавшія произведенныя поврежденія, убѣдились, что причина кроется не въ недостаточности отверстія, а въ неправильномъ направленіи теченія. Признавая, что опоры будутъ вполнѣ устойчивыми, если около каждой изъ нихъ будетъ сдѣлана отсыпь шириною 6 саж., возвышающаяся на 4 саж. надъ ножомъ кессона, при чемъ на остальномъ протяженіи дно можетъ возвышаться лишь на 2 саж. надъ ножомъ кессона, предположено было воспользоваться произведеннымъ размывомъ, закрѣпить на вышеуказанной глубинѣ русло наброднымъ каменнымъ матеріаломъ, расположеннымъ слоями (щебень, средней величины камень и крупный камень) между двумя взаимно удаленными на 14 саж. сплошными рядами свай поперекъ всей рѣки, одного выше, а другого ниже моста. Одновременно предположено было выправить весеннее русло помощью струенаправляющихъ дамбъ. При такихъ условіяхъ полагалось, что съ выправленіемъ теченія всѣ пролеты будутъ одинаково работать и если произойдетъ размывъ, то не глубже искусственно укрѣпленнаго дна.

Къ сожалѣнію, за недостаткомъ кредита была исполнена лишь первая серія работъ, и при томъ приступлено къ работамъ только позднею осенью, когда размытые пролеты были уже вновь занесены, что потребовало выемки грунта до 5 саж. Кромѣ того, укрѣпленіе дна было исполнено не во всѣхъ пролетахъ; выемка грунта сдѣлана между двумя рядами шпунтовыхъ свай на ширинѣ 14 саж., безъ постепенной срѣзки ложа въ обѣ стороны. Результатомъ сего было то, что при слѣдующихъ половодьяхъ — искусственное поперечное углубленіе въ видѣ корыта, хотя и съ солидно укрѣпленнымъ дномъ, было вновь занесено.

Ледяныя зажоры, наблюдавшіяся въ послѣдующее время, вызванныя крутымъ поворотомъ рѣки между двумя мостами, вновь выдвинули вопросъ объ урегулированіи теченія. Первоначально предполагалось устроить между обоими мостами двѣ глухія незатопляемыя дамбы, въ предѣлахъ

которыхъ должны были направляться весеннія воды; но проектъ этотъ былъ оставленъ, такъ какъ глухія дамбы обратились бы въ плотины, подвергающіяся значительному одностороннему напору, что, помимо возможнаго прорыва дамбъ, а слѣдовательно и внезапнаго затопленія мѣстности, поставило бы въ опасныя условія обѣ желѣзнодорожныя дамбы. Дѣйствительно, вся мѣстность между двумя желѣзнодорожными дамбами, расположенная внѣ незатопляемыхъ глухихъ дамбъ и покрывавшаяся весенними водами, оставалась бы въ такомъ случаѣ незатопляемой; обѣ желѣзнодорожныя дамбы— Сѣдлецъ-Малкинская и Варшавская обратились бы въ глухія плотины, выдерживающія — первая напоръ воды верхового разлива, а вторая — напоръ низового разлива, что могло бы вызвать просачиваніе сквозь песчаную дамбу или даже сплывы въ сторону, противоположную напору. Въ виду сего рѣшили устроить обѣ струенаправляющія дамбы прерывными, въ видѣ двухъ дамбъ №№ 3 и 4, направляющихся отъ устоевъ Сѣдлецъ-Малкинскаго моста и входящихъ какъ бы въ раструбъ, образуемый двумя встрѣчными дамбами №№ 1 и 2 со стороны моста на С.-Петер-

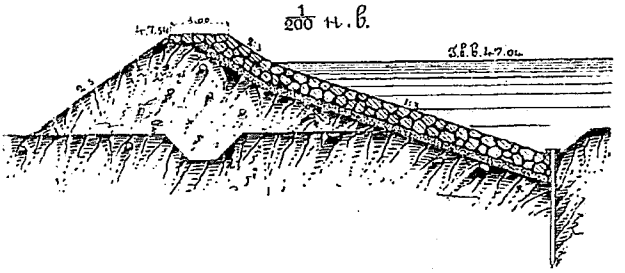


Рис. 283.

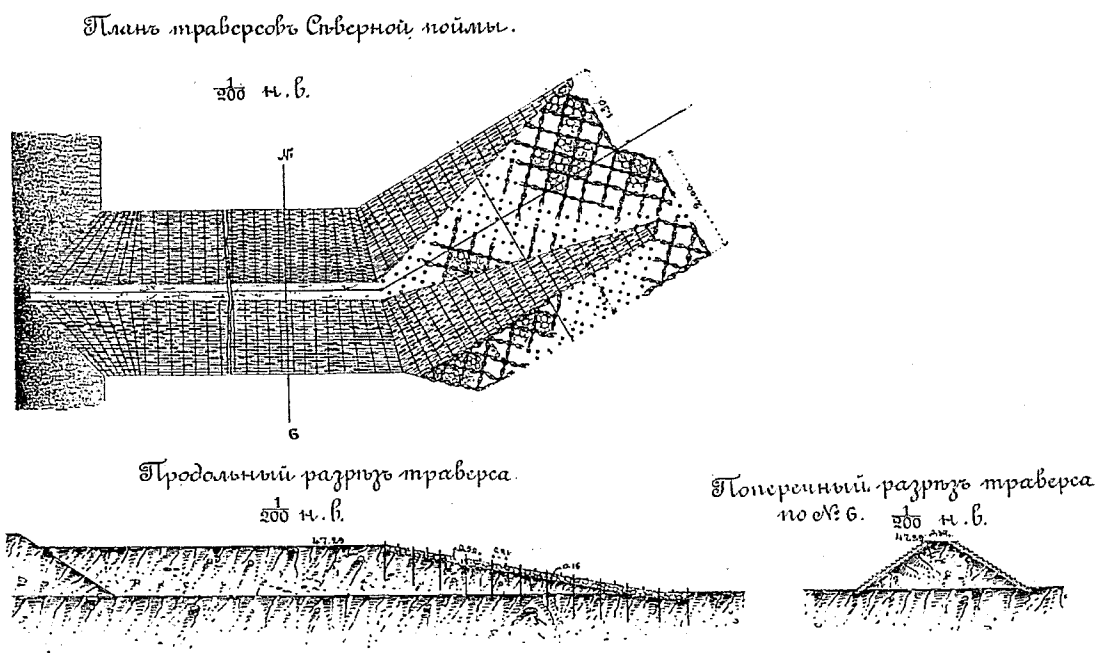


Рис. 284.

бурго-Варшавской жел. дорогѣ. При такихъ условіяхъ струя, выходя изъ Малкинскаго моста и отраженная отъ вогнутой части сѣверной Малкинской дамбы № 3, встрѣтитъ выступающую часть нижней Варшавской дамбы № 2 и направится перпендикулярно къ Варшавскому мосту. Съ цѣлью же выправленія меженняго русла, что помимо того должно содѣйствовать и выправленію весенняго русла, въ предѣлахъ между струенаправляющими дамбами сняты всѣ возвышенности, сдѣланы прокопы *a*, *b*, *c*, выкорчевана мѣстность, такъ чтобъ меженнее русло представляло плавную кривую линію. Для обезпеченія правильнаго выхода изъ-подъ моста Варшавской жел. дороги устроены низовыя струенаправляющія дамбы. Въ дамбѣ № 2 и въ дамбѣ № 1 около устоя оставлены прорѣзы для облегченія вышуска дождевыхъ и снѣговыхъ водъ, которыя могутъ скопиться позади дамбъ; прорѣзы укрѣплены фашинами.

На рис. 283 изображена поперечная профиль грушевидной дамбы, а на рис. 284 планъ, профиль и разрѣзъ поперечныхъ траверсовъ; откосы незатопляемой части покрыты дерномъ; верхъ и рисбермы затопляемой части укрѣплены камнемъ въ плетневыхъ клѣткахъ; пологость откосовъ затопляемой части: 10 : 1; уширенія гребня затопляемой части можно было не дѣлать. На рис. 285 показано начало грушевидной дамбы въ сопряженіи съ бермой, присыпанной къ шоссейной дорогѣ, устроенной рядомъ съ полотномъ желѣзной дороги.

На рис. 286 изображена профиль живого сѣченія поймы р. Буга въ мѣстѣ перехода его Сѣдлецъ-Малкинской жел. дорогой, снятая до сооруженія моста 27 марта 1886 г., при отмѣткѣ горизонта 46,88 саж., а также соотвѣтствующія средніе скорости по вертикали, и общій расходъ, оказавшійся въ 219,78 куб. саж.; на томъ же чертежѣ надписаны и соотвѣтственные расходы на участкахъ поймы при наивысшемъ горизонтѣ 47,04 саж., наблюдавшемся въ 1885 г., и давшіе въ суммѣ 256,82 куб. саж. На рис. 287 помѣщены наблюдавшіяся при горизонтѣ 46,88 саж. величины и направленія скоростей на поверхности. На рис. 288 показаны живое сѣченіе, среднія скорости и скорости на поверхности, наблюдавшіяся 30 марта 1886 г. непосредственно за мостомъ на С.-Петербурго-Варшавской жел. дорогѣ, при отмѣткѣ горизонта 48,90 саж. съ общимъ расходомъ въ 234,07 куб. саж.

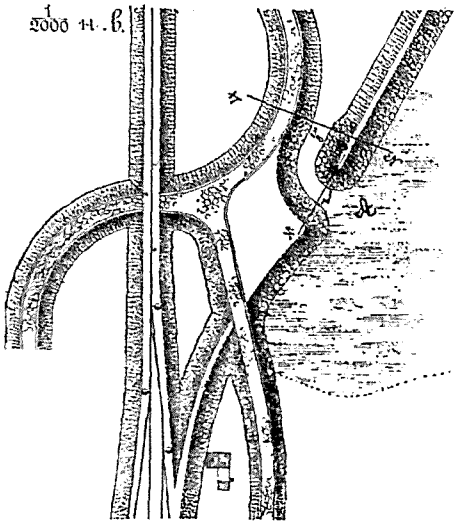


Рис. 285.

Изъ приведенныхъ случаевъ и примѣровъ можно видѣть, какъ много причинъ и обстоятельствъ вліяютъ па работу моста и, слѣдовательно, крайне затруднительно составленіе какихъ либо общихъ для всѣхъ случаевъ правилъ, которыми можно было бы руководствоваться при опредѣленіи отверстія моста. Въ каждомъ данномъ случаѣ слѣдуетъ примѣняться къ мѣстнымъ условіямъ. Такъ, напримѣръ, если выше по рѣкѣ и не въ далекомъ разстояніи имѣется нѣсколько плохо устроенныхъ плотинъ, то опредѣленное отверстіе моста, въ зависимости отъ наибольшаго количества весеннихъ водъ, приходится еще увеличить на случай прорыва плотинъ и т. п.; если на рѣкѣ дуютъ временами постоянные вѣтры противъ теченія и задерживаютъ извѣстное количество воды, то при прекращеніи вѣтровъ къ нормальному расходу слѣдуетъ прибавить дополнительный въ зависимости отъ быстроты спада водъ и площади бассейна, на которомъ скопилась вода. На Дону у Ростова подобный спадъ (по даннымъ инженера Зубова) доходитъ весною до 1—2 вершковъ въ часъ при площади бассейна въ 925 квадратныхъ верстъ, что соотвѣтствуетъ дополнительному расходу въ 1,338 кубическихъ саженъ въ одну секунду. Измѣненіе паденія рѣки въ зависимости отъ силы вѣтра видно изъ слѣдующихъ цифръ: по наблюденіямъ, произведеннымъ осенью 1872 года, уклонъ Дона у Ростова 0,002 саж. на версту при одиомъ наблюденіи и 0,0035 саж.— при другомъ наблюденіи. Весною 1873 года паденіе на версту измѣнилось съ 0,02 до 0,04 саж. Колебанія замѣчались даже въ теченіи дня. Такъ, 7-го мая, въ 3 часа пополудни, паденіе было — 0,022 с. на версту, въ 7 часовъ=0,028 саж.; 8-го мая, въ 2 часа паденіе—0,028 с., въ 7 часовъ—0,0334 сажени; 10-го мая, въ 4 часа, паденіе: 0,027 с. и 0,028 с., въ 7 часовъ—0,039 саж. Во всѣ эти дни дулъ слабый низовый вѣтеръ, стихавшій вечеромъ.

Подобнымъ образомъ, если во время опредѣленія достаточности отверстія

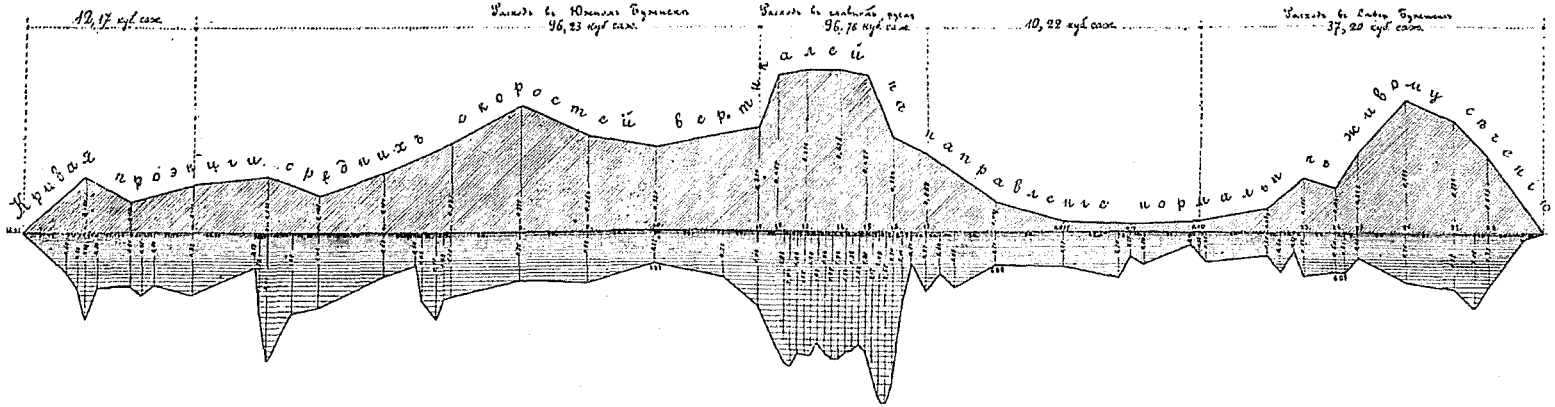


Рис. 286.

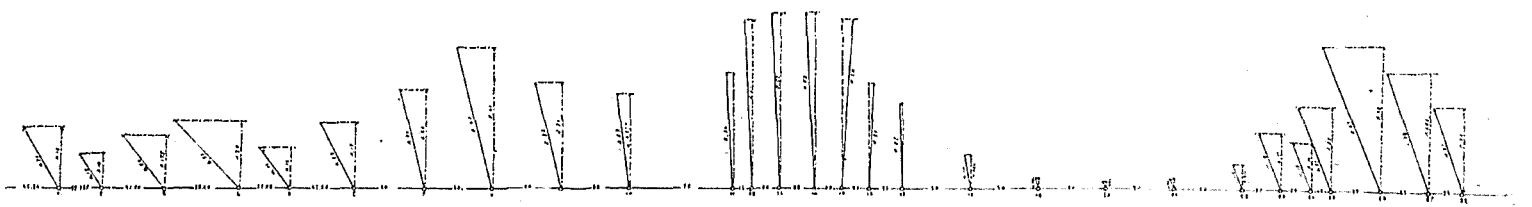


Рис. 287.

окружающая мѣстность покрыта лѣсами и если есть основаніе предположить, что эти лѣса будутъ вырублены, то отверстіе необходимо нѣсколько увеличить въ зависимости отъ этого обстоятельства. Вообще по статистическимъ даннымъ, собраннымъ Wex'омъ, слѣдуетъ предположить, что въ настоящее время, съ уничтоженіемъ

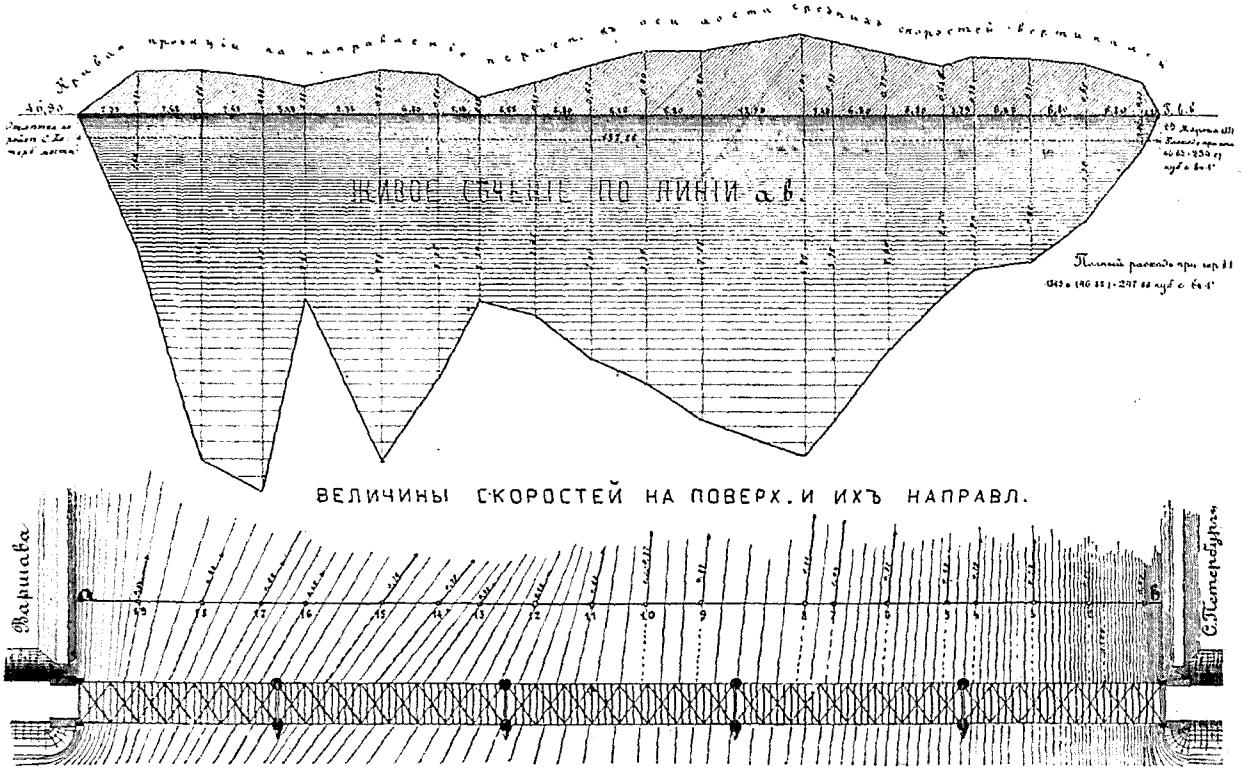


Рис. 288.

лѣсовъ и проч., общее годовое количество влаги, выпадающее на данную мѣстность, *постоянно уменьшается*, но при этомъ высокія воды становятся *менѣе продолжительными* и *постоянно возрастаютъ* въ отношеніи своей напряженности и расхода въ единицу времени.

Опредѣленіе отверстій искусственныхъ сооруженій, покрывающихъ небольшіе ручейки и тальвеги, сухіе въ лѣтнее время.

Общія основныя положенія. Два пріема опредѣленія отверстій: по эмпирическимъ правиламъ и расчетомъ. Опредѣленія расчетомъ отверстій открытыхъ мостиковъ, каменныхъ и металлическихъ трубъ, поясненныя примѣрами. Мѣры предосторожности противъ засоренія трубъ наносами.

Общія основныя положенія. Въ этихъ случаяхъ отверстіе искусственнаго сооруженія должно удовлетворять условію безпрепятственнаго пропуска воды, стекающей въ единицу времени со всего бассейна во время ливней и во время быстраго таянія снѣга.

Если полотно желѣзной дороги или шоссе пересѣкаетъ нѣсколько небольшихъ бассейновъ, удаленныхъ на незначительное разстояніе одинъ отъ другого, то всѣ они соединяются резервами или нагорными канавами, сводятся въ наиболѣе пониженный бассейнъ, и отверстіе въ полотнѣ, оставленное противъ этого бассейна,

опредѣляется уже въ зависимости отъ суммы приходовъ, доставленныхъ всѣми бассейнами.

Къ числу искусственныхъ сооруженій, устраиваемыхъ при подобныхъ условіяхъ, относятся *мосты малыхъ отверстій и каменныя трубы отверстіемъ отъ 0,50 с. до 3,50 саж.*, а также *и чугунныя и вообще металлическія трубы*, которыя въ настоящее время дѣлаютъ не менѣе 0,50 саж. въ діаметрѣ для удобства ихъ осмотра и не болѣе 0,75 с. Выборъ между открытымъ мостомъ небольшого отверстія или каменной трубой того же отверстія зависитъ главнымъ образомъ отъ высоты насыпи, такъ какъ въ обоихъ случаяхъ условія, при которыхъ допускается протеканіе воды по искусственному сооруженію, если не вполнѣ, то почти тождественны. Чѣмъ выше насыпь, тѣмъ выгоднѣе по отношенію къ объему каменной кладки строить трубу, и обратно; во всякомъ случаѣ въ желѣзнодорожномъ полотнѣ наименьшая высота насыпи, при которой можетъ еще быть допущена каменная труба, должна соотвѣтствовать толщинѣ слоя земли и балласта въ 0,50 саж. надъ высшей производящей верхней поверхности свода; при меньшей толщинѣ слоя сотрясеніе отъ проходящаго поѣзда можетъ вредно вліять на прочность кладки свода; впрочемъ при соблюденіи болѣе строгихъ условій расчета размѣровъ каменныхъ трубъ, имѣющихъ послѣдствіемъ увеличеніе размѣровъ, наименьшая толщина засыпки исключительно балластомъ можетъ быть понижена до 0,20 с. Въ трубахъ подъ насыпью полотна обыкновенной дороги допускаются меньшіе предѣлы—отъ 0,30 саж. до 0,40 саж., включая сюда и толщину мостовой или шоссейной коры. Выборъ между чугунной трубой и каменной трубой того же отверстія зависитъ отъ многихъ условій: отъ высоты насыпи, отъ относительной дешевизны матеріаловъ, отъ очертанія поперечной профили оврага или тальвега, допускающаго значительное скопленіе воды передъ искусственнымъ сооруженіемъ съ подпоромъ или безъ подпора, отъ скорости протеканія и проч. Такъ, напримѣръ, предѣльныя высоты насыпи для чугунныхъ трубъ 1,50 с. и 10,00 с.; въ чугунныхъ трубахъ можетъ быть допущено, въ извѣстныхъ случаяхъ, протеканіе воды полнымъ сѣченіемъ подъ болѣе или менѣе значительнымъ напоромъ при скорости не болѣе 20 футъ, а при извѣстныхъ условіяхъ и 30 футъ въ 1 секунду; въ каменныхъ же трубахъ теченіе полнымъ сѣченіемъ не допускается; горизонтъ воды долженъ быть не выше пятъ кирпичнаго свода, или лучше даже ниже пятъ на 0.10 саж. для того, чтобы протекающая вода не могла вымывать растворъ изъ швовъ свода; если своды каменные или бетонные, то подъемъ воды допускается и выше пятъ, но не болѣе $^3/_4$ полной высоты, считая отъ лотка до нижней поверхности, при чемъ при сводахъ съ подъемомъ въ $^1/_3$ и болѣе, возвышеніе ключа свода надъ горизонтомъ воды должно быть не менѣе 0,40 саж., а при меньшихъ подъемахъ не менѣе 0,25 саж. Кромѣ того, наибольшая допускаемая скорость при каменномъ лоткѣ — 14 футъ въ 1 секунду и т. д.

Два пріема опредѣленія отверстій. Возвращаясь къ *опредѣленію отверстій этого рода искусственныхъ сооруженій*, слѣдуетъ упомянуть, что они могутъ быть опредѣлены *двоякимъ* образомъ:

1) *На основаніи эмпирическихъ правилъ, выражающихъ зависимость между площадью бассейна и отверстіемъ искусственнаго сооруженія* въ погонныхъ или въ квадратныхъ единицахъ.

2) *Расчетомъ, предполагая извѣстнымъ наибольшее количество притекающей воды* и задаваясь, смотря по мѣстнымъ условіямъ, той или другой скоростью и толщиною слоя протекающей воды.

1) Изъ числа эмпирическихъ правилъ укажемъ на слѣдующія:

а) Для плоскихъ мѣстностей (какъ это принято, напримѣръ, въ Голландіи) на каждую квадратную версту площади бассейна полагаютъ 0,2 погон. фута отверстія моста. При менѣе пологомъ бассейнѣ величину 0,2 погон. фута увеличиваютъ до 0,5 погон. фута.

б) По Debauve — въ Бельгіи и въ Сѣверной Франціи на квадратный километръ бассейна назначается отъ 0,125 до 0,905 погонныхъ метра моста, смотря по характеру мѣстности.

в) По Мари (какъ указано въ справочной книжкѣ Недзялковскаго) на одну квадратную версту поверхности бассейна отверстіе трубы дѣлается въ 0,6125 квадратныхъ футъ въ ровныхъ мѣстностяхъ, а въ гористыхъ—1,531 кв. футъ.

г) На Нижегородской жел. дорогѣ, по Недзялковскому, площадь поперечнаго сѣченія трубъ расчитана въ 0,0028 кв. саж. на 1000 кв. саж. площади бассейна (эта норма, повидимому, очень велика).

д) На Закавказской желѣзной дорогѣ на квадратную версту бассейна принято 2 погон. саж. отверстія трубы.

е) По Кавену, въ Ганноверѣ, на 1 кв. версту поверхности бассейна полагается 1,9 кв. фута площади живого сѣченія.

Приведенныя данныя показываютъ, какъ разнообразны всѣ эти эмпирическія правила и поэтому очень затруднительно вывести изъ нихъ какую-либо среднюю наиболѣе вѣроятную норму.

На этомъ основаніи, правильнѣе опредѣлять отверстіе искусственнаго сооруженія другимъ путемъ, то-есть:

2) Расчетомъ, предполагая извѣстнымъ наибольшее количество притекающей воды *) и задаваясь опредѣленной скоростью.

Наиболѣе употребительный пріемъ опредѣленія наибольшаго притока состоитъ въ пользованіи нормами Köstlin'a (стр. 157). Въ послѣднее время поднятъ вопросъ о дополненіи этихъ нормъ слѣдующими правилами: а) значенія коэффиціента L измѣняются по интерполяціи для длинъ бассейновъ, заключающихся между указанными въ нормахъ Köstlin'a предѣлами; б) при уклонахъ бассейновъ, заключающихся между $i = 0{,}007$ и $i = 0{,}004$ — значенія того же коэффиціента уменьшаются на 25%; при уклонахъ въ $i = 0{,}004$ и менѣе — значенія коэффиціента L уменьшаются на 50%; в) если грунтъ легко пропускаетъ воду, то коэффиціенты могутъ быть уменьшены на 33%.

Разсмотримъ отдѣльно опредѣленіе отверстій: а) *открытыхъ мостиковъ* б) *каменныхъ трубъ* и в) *чугунныхъ* или вообще *металлическихъ трубъ*.

а) *Опредѣленіе расчетомъ отверстія открытыхъ мостиковъ*. При опредѣленіи

---

*) Если въ оврагахъ сухихъ или съ небольшими ручейками имѣются слѣды горизонта высокихъ водъ, то, кромѣ вышеуказанныхъ пріемовъ, напр. по нормамъ Köstlin'a и проч. наибольшій расходъ можетъ быть найденъ слѣдующимъ путемъ: опредѣливъ для нѣсколькихъ участковъ оврага уклонъ дна и поперечную профиль, находятъ по эмпирической формулѣ вида: $v = C\sqrt{\frac{\omega}{p}\,i}$ скорость, а затѣмъ и расходъ для различныхъ участковъ и выбираютъ наиболѣе достовѣрный результатъ. Въ этомъ случаѣ слѣдуетъ обратить наибольшее вниманіе на то, соотвѣтствуетъ ли дно оврага тому горизонту высокихъ водъ, который наблюдается, не произошло ли съ того времени, къ которому относится наблюдаемый горизонтъ, углубленія оврага, или обратно, не повысилось ли дно, вслѣдствіе отложенія наносовъ. Въ сомнительныхъ случаяхъ полезно опредѣлять расходъ нѣсколькими способами и сравнивать между собою результаты.

отверстій этихъ искусственныхъ сооруженій слѣдуетъ имѣть въ виду, чтобы высота подпориаго горизонта была па 0,50 с. ниже бровки полотна и чтобы скорости въ предѣлахъ моста не превосходили слѣдующихъ иормъ:

при каменномъ лоткѣ . . . . . 14 футъ въ 1 сек.,
при двойной мостовой . . . . . 10 » въ 1 »
при одиночной мостовй . . . . . 7 » въ 1 »
при плотио-глинистомъ грунтѣ отъ . 5—6 » въ 1 »

Самый же ходъ расчета состоитъ въ слѣдующемъ. Вычисливъ тѣмъ или другимъ путемъ наибольшій расходъ воды — Q, опредѣляютъ уклонъ ложа тальвега — i вблизи моста, а также и поперечную профиль оврага въ нѣсколькихъ сѣченіяхъ и затѣмъ опредѣляютъ ощупью площадь живого сѣчѳнія — ω изъ формулы:

$$\omega = \frac{Q}{v} = \frac{Q}{C\sqrt{\frac{\omega}{p}.i}},$$

гдѣ: $v = C\sqrt{\frac{\omega}{p}.i}$ — одна изъ эмпирическихъ формулъ группы (I), или изъ:

$$\frac{\omega^3}{p}.i.C^2 = Q^2,$$

задаваясь различными ω и соотвѣтственными p по поперечной профили оврага. Опредѣливъ ω,—найдемъ по поперечной профили ширину, а также среднюю глубину — a потока вблизи моста. Скорость v, съ которой вода протекаетъ по нестѣсненному еще руслу, также опредѣлится изъ этого расчета; для перваго приближенія можно допустить, что при стѣсненіи живого сѣченія, при подпертомъ горизонтѣ, скорость выше моста, т. е. скорость c, съ которой вода притекаетъ къ мосту, будетъ та же самая, какая была въ нестѣсненномъ сѣченіи, т. е. $c = v$. Если, далѣе, V — допускаемая скорость въ предѣлахъ моста, то имѣя величины:

$$Q,\ \omega,\ p,\ i,\ c,\ a \text{ и } V,$$

находимъ искомое отверстіе — b по извѣстной формулѣ:

$$b = \frac{Q}{\mu\sqrt{2g}\left\{\frac{2}{3}\left[(h+k)^{3/2} - k^{3/2}\right] + a\,(h+k)^{1/2}\right\}}, \quad \ldots\ldots (3)$$

гдѣ: $h = \frac{V^2 - c^2}{2g}$; $k = \frac{c^2}{2g}$; $\mu = 0{,}80 - 0{,}90$.

Опредѣливъ h и зная z, т. е. ширину потока по-верху при нестѣсненномъ сѣченіи, найдемъ исправленное значеніе живого сѣченія выше моста: ω', а слѣдовательно и исправленныя значенія скорости притеканія къ мосту: $c = v.\frac{\omega}{\omega'}$ и допускаемаго подпора: $h = \frac{V^2 - c^2}{2g}$ и $k = \frac{c^2}{2g}$, а затѣмъ по формулѣ (3) находимъ второе, болѣе точное значеніе: b.

Формула (3) представляетъ собственно расходъ воды чрезъ отверстіе, сдѣланное въ стѣикѣ сосуда (неполное сжатіе, неполный водосливъ), въ предположеніи, что непосредственно за стѣнкой сосуда вода изливается въ слой воды, горизонтъ коего выше порога отверстія иа нѣкоторую величину a (рис. 289), ширина-же слоя—иная, чѣмъ ширина отверстія, и вообще перемѣнная. Слѣдова-

тельно, расходъ чрезъ отверстіе въ стѣнкѣ *abef* составится изъ расхода *cdef*— какъ при неполномъ водосливѣ при истеченіи воды въ воздухъ:

$$Q' = \frac{2}{3}\mu . \; b \sqrt{2g}\left[(h + k)^{3/2} - k^{3/2}\right]$$

и изъ расхода чрезъ отверстіе *abed*, т. е. изъ расхода чрезъ щитовое отверстіе,

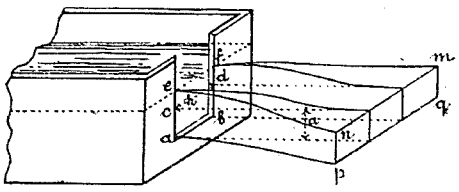


Рис. 289.

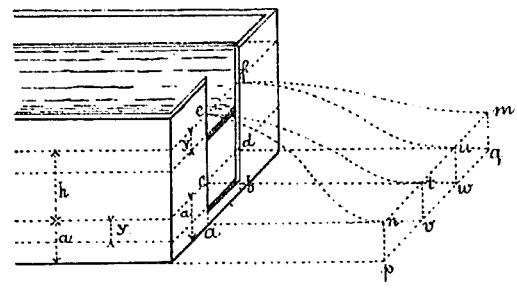


Рис. 290.

верхнее ребро коего ниже поверхности подпертой воды, въ предположеніи, что истеченіе происходитъ не въ воздухъ, а въ слой воды толщиною a, тогда:

$$Q'' = \mu . \; b . \; a \sqrt{2g} \; (h + k)^{1/2}.$$

Въ обѣихъ формулахъ: b — ширина отверстія, k — высота, соотвѣтствующая той скорости, съ которой вода притекаетъ къ отверстію.

Выводъ этихъ формулъ слѣдующій; объемъ *efcdut*, представляющій расходъ чрезъ отверстіе *cdef* (рис. 290), выразится, если b—ширина отверстія, v—скорость вытеканія элемента, находящагося на разстояніи y отъ горизонта воды:

$$Q' = \mu \int_0^h v . \; b . \; d\, y,$$

гдѣ y—перемѣнное разстояніе элемента отъ горизонта *ef*.

Если, далѣе, скорость притеканія къ отверстію c и соотвѣтствующая этой скорости высота напора: $k = \frac{c^2}{2g}$, то скорость:

$$v = \sqrt{2g\,(y + k)}.$$

Слѣдовательно:

$$Q' = \mu \int_0^h \sqrt{2g\,(y+k)} . \; b \; . \; dy = \mu . \; b \sqrt{2g} \int_0^h \sqrt{(y + k)} . \; dy =$$

$$= \mu . \; b \sqrt{2g} \int_0^h (y + k)^{1/2} . \; dy = \mu . \; b . \sqrt{2g} \cdot \frac{2}{3}\left[(y + k)^{3/2}\right]_0^h =$$

$$= \frac{2}{3} . \; \mu . b . \sqrt{2g}\left[(h + k)^{3/2} - k^{3/2}\right].$$

Если скорость притеканія $c = o$, то:

$$Q_1' = \frac{2}{3} \cdot \mu . \; b . \sqrt{2g} . \; h^{3/2} = \frac{2}{3} \mu . b . h \sqrt{2gh}.$$

Объемъ *abcdvwtu*, называя черезъ y — перемѣнное разстояніе элемента отъ горизонта *cd*:

$$Q'' = \mu . \int_0^a v . b . dy, \text{ но } v = \sqrt{2g\ (h + y + k - y)}, = \sqrt{2g(h+k)},$$

гдѣ k—имѣетъ то же значеніе, какъ въ предыдущемъ случаѣ. Слѣдовательно:

$$Q'' = \mu b\ \sqrt{2g\ (h+k)} \int_0^a dy = \mu b a\ \sqrt{2g\ (h+k)}\ .$$

При $c = o$, $Q_1'' = \mu . b . a . \sqrt{2gh}$.

Вышеприведенная формула (3), выражая расходъ сквозь стѣнку сосуда, предполагаетъ, что перепадъ или переходъ отъ подпертаго горизонта къ пониженному занимаетъ протяженіе большее, но не меньшее толщины порога. Такъ какъ устои моста по длинѣ потока имѣютъ сравнительно небольшое протяженіе, то отверстіе моста въ насыпи полотна, по отношенію къ скопившейся водѣ, представляетъ какъ-бы неполный водосливъ (рис. 291), образованный сквознымъ отверстіемъ въ сосудѣ. Стѣнка этого сосуда при такихъ условіяхъ допускаетъ, что перепадъ занимаетъ протяженіе немногимъ менѣе ширины лицевой грани устоя, а потому представляется возможнымъ и примѣненіе формулы (3) къ опредѣленію отверстія мостовъ.

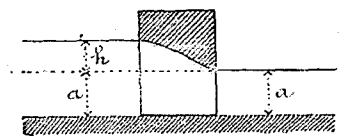


Рис. 291.

Само собою разумѣется, что расходъ воды въ какомъ-либо сѣченіи *mnpq* потока тотъ-же, что и въ сѣченіи *abef*, но только аналитическое выраженіе его иное. Если назвать ширину *pq* чрезъ b', то выраженіе расхода въ этомъ сѣченіи было-бы:

$$Q = b' . a\ \sqrt{2g\ (h+k)}.$$

Цѣль-же нашей задачи—опредѣлить ширину не b', а b, поэтому, очевидно, слѣдовало пользоваться формулой (3).

Ширина отверстія въ предѣлахъ очертанія моста — величина постоянная, поэтому наибольшая скорость, а слѣдовательно и возможность размыва лотка будетъ имѣть мѣсто въ наиболѣе пониженной части въ предѣлахъ моста, т. е. около низоваго конца. [Это, очевидно, не относится къ промежуточнымъ опорамъ (быкамъ) большихъ мостовъ: тамъ подпоръ сравнительно не великъ и размывы дна около быковъ замѣчаются часто съ верховой стороны, что происходитъ вслѣдствіе того, что частицы воды, встрѣчая поверхность быка, отклоняются въ разныя стороны, между прочимъ, и внизъ, образуя водовороты].

Опредѣливъ такимъ образомъ величину отверстія, необходимо еще имѣть въ виду, чтобы глубина потока при подпертомъ горизонтѣ, т. е. $a + h$, была менѣе высоты бровки полотна, по крайней мѣрѣ, на 0,50 саж. Если-бы оказалось, что это условіе при данной высотѣ насыпи не удовлетворено, необходимо или поднять насыпь, или увеличить отверстіе, смотря по тому, что выгоднѣе. Помимо сего высота насыпи около моста должна удовлетворять условію, чтобы низъ мостовыхъ фермъ и верхняя площадка подферменныхъ камней возвышались надъ подпорнымъ горизонтомъ не менѣе 0,50 саж.

Такъ какъ наибольшее допускаемое значеніе для V — 14 футъ въ 1 секунду, при лоткѣ изъ сплошной кладки, то при $c = 0$, $h = 3{,}04$ футъ. Это и будетъ наибольшій возможный подпоръ въ открытыхъ мостахъ.

Если скорость притеканія воды незначительна, то $k = o$, и тогда:

$$b_1 = \frac{Q}{\mu \sqrt{2gh\left\{\frac{2}{3}h + a\right\}}} \quad . \quad . \quad . \quad (4).$$

Примѣчаніе. Въ нѣкоторыхъ сочиненіяхъ, какъ напримѣръ, въ Wasserbau Chiolich'a. Löwensberg'a, можно встрѣтить такую формулу.

$$b = \frac{Q}{\mu \sqrt{2g\left\{\frac{2}{3}h + a\right\}}\sqrt{h + k}},$$

которая получается изъ формулы (3), если допустить, что:

$$\frac{2}{3}\left[(h+k)^{3/2} - k^{3/2}\right] = \frac{2}{3}h\sqrt{h+k}.$$

Въ предѣлахъ устоя моста дно лотка дѣлаютъ, обыкновенно, горизонтальнымъ, или-же, при крутыхъ уклонахъ оврага, сохраняютъ естественный уклонъ, во избѣжаніе образованія перепада въ низовой части, если только не имѣется въ виду укрѣпить сливной лотокъ каменной ступенчатой обдѣлкой, ряжевыми ящиками, загруженными камнемъ, фашиннымъ укрѣпленіемъ или инымъ путемъ.

Вообще, въ виду затруднительности опредѣлить безошибочно отверстіе для небольшихъ мостиковъ, полезно оба устоя выводить на общемъ основаніи, оставляя для сбереженія расходовъ глубину заложенія моста въ 0,75 саж. или 0,80 саж. лишь на протяженіи 0,50 саж. съ верховой и низовой стороны и закладывая среднюю часть лотка на глубинѣ 0,33 саж. (рис. 292). Такъ какъ вода, выходя изъ предѣловъ очертанія моста, имѣетъ еще значительную скорость, не смотря на увеличеніе живого сѣченія, то, не говоря уже объ укрѣпленіи русла сливного лотка при крутомъ уклонѣ оврага, но даже и при пологихъ уклонахъ, необходимо на нѣкоторомъ протяженіи укрѣплять русло лотка двойной мостовой. Очень часто выше и ниже моста (послѣднее особенно важно), по всей ширинѣ русла, вынимаютъ грунтъ на протяженіи отъ 1,00 саж. до 3,00 саж. (и во всякомъ случаѣ не менѣе протяженія, занимаемаго конусами насыпи), начиная съ глубины 0,60 саж. около моста и сводя затѣмъ выемку на нуль. Углубленіе заполняютъ плотно-уложенными камнями на слоѣ мелкаго щебня толщиною 0,10 саж., при чемъ верхніе ряды кладутся или на цементномъ растворѣ или на мху.

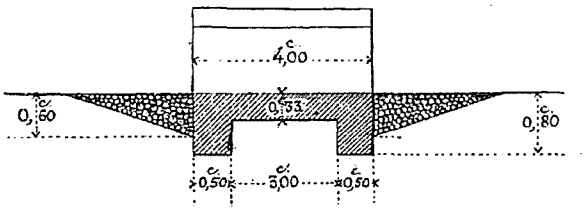


Рис. 292.

Разстояніе, на которомъ скорость по выходѣ изъ предѣловъ моста, снова принимаетъ свою первоначальную величину, найдется помощью формулъ, выражающихъ неоднообразное движеніе воды *).

Приведемъ примѣръ подобнаго опредѣленія отверстія моста.

Пусть величина бассейна—4,68 кв. вер., длиною—6 верстъ; уклонъ дна оврага $i = 0{,}008$.

*) Недзяльковскій, часть I, стран. 482.

Высота насыпи—1,50 с. Въ виду незначительной насыпи, вмѣсто трубы, выгоднѣе устроить открытый мостикъ; найдемъ отверстіе моста. Такъ какъ продольный уклонъ: $i > 0{,}005$, то нормы Köstlin'а должны быть взяты полностью. По Köstlin'у наибольшій притокъ къ трубѣ (стр. 157):

$$Q = 1{,}875 \,.\, F \,.\, L,$$

гдѣ коэффиціентъ L при длинѣ оврага въ 6 вер. — $\frac{3}{8}$. Слѣдовательно:

$$Q = 1{,}875 \times 4{,}68 \times \frac{3}{8} = 3{,}29 \text{ куб. саж. или } 3{,}3 \text{ куб. саж. } = 32{,}07 \text{ куб. метр.}$$

Пользуясь формулой Базена для земляного ложа:

$$\frac{R \,.\, i}{v^2} = 0{,}00028\left(1 + \frac{1{,}25}{R}\right),$$

а также формулой: $Q = \omega \,.\, v$, найдемъ ощупью, при помощи показанной на рис. 293 поперечной профили оврага, что расходу въ 32,07 с. удовлетворяетъ высота слоя воды въ 1,1 метра. Дѣйствительно:

$$p = 6{,}39 + \frac{1{,}1}{\sin 15^0} + \frac{1{,}1}{\sin 14^0 50} = 6{,}39 + 4{,}18 + 4{,}29 = 14{,}86 \text{ пог. метр.;}$$

$$\omega = \left\{6{,}39 + \frac{4{,}18 + 4{,}29}{2}\right\} 1{,}1 = 11{,}69 \text{ кв. метр. } = 125{,}78 \text{ кв. ф.}$$

$$R = \frac{\omega}{p} = \frac{11{,}69}{14{,}86} = 0{,}787;$$

$$v^2 = \frac{R \,.\, i}{0{,}00028\left(1 + \frac{1{,}25}{R}\right)} = \frac{0{,}787 \times 0{,}008}{0{,}00028\left(1 + \frac{1{,}25}{0{,}787}\right)} = 8{,}7;$$

$$v = \sqrt{8{,}7} = 2{,}95 \text{ метра;}$$

$$Q = \omega \,.\, v = 11{,}69 \times 2{,}95 = 33{,}48 \text{ куб. метр.,}$$

что достаточно близко къ дѣйствительному расходу—32,07 кубич. метра.

Слѣдовательно, выражая все въ футахъ, будемъ имѣть:

$$Q = 3{,}3 \text{ куб. саж. } \ldots\ldots\ldots = 1132 \text{ куб. фута;}$$
$$a = 1{,}1 \text{ метра } \ldots\ldots\ldots = 3{,}61 \text{ фут.;}$$
$$c = c = 2{,}95 \text{ метра } \ldots\ldots\ldots = 9{,}67 \text{ »}$$
$$k = \frac{c^2}{2g} = \frac{\overline{9{,}67}^2}{64{,}4} \quad \ldots\ldots\ldots = 1{,}45 \text{ »}$$
$$h = \frac{V^2 - c^2}{2g} = \frac{\overline{14}^2 - \overline{9{,}67}^2}{64{,}4} \quad \ldots = 1{,}60 \text{ »}$$
$$\mu = 0{,}90.$$

Слѣдовательно:

$$b = \frac{1132}{0{,}9\sqrt{64{,}4}\left\{\frac{2}{3}\left[(3{,}05)^{3/2} - 1{,}45^{3/2}\right] + 3{,}61\,(3{,}05)^{1/2}\right\}} = \frac{1132}{62{,}31} = 18 \text{ ф.} = 2{,}57 \text{ с.}$$

Зная h, найдемъ болѣе точное значеніе b. Такъ какъ высота подпертой воды:

$$a + h = 3{,}61 \text{ ф.} + 1{,}60 = 5{,}21 \text{ ф.,}$$

то ширина потока по верху (рис. 293): $21\ \text{ф.} + \frac{5{,}21}{tang\ 15^0} + \frac{5{,}21}{tang\ 14^0 50'} = 60{,}3\ \text{ф.}$

Площадь сѣченія: $\frac{(21 + 60{,}3)}{2} \times 5{,}21 = 211{,}78$ кв. ф.

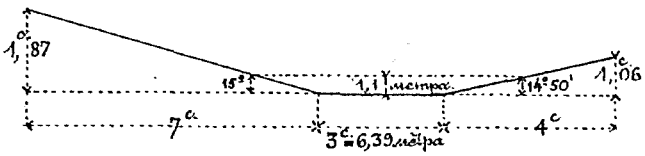


Рис. 293.

Исправленная скорость притеканія:

$$c = 9{,}67\ \text{ф.} \times \frac{125{,}78}{211{,}78} = 5{,}74\ \text{ф.},\ k = \frac{\overline{5{,}74}^2}{64{,}4} = 0{,}52\ \text{ф.};\ h = \frac{\overline{14}^2 - \overline{5{,}74}^2}{64{,}4} = 2{,}53\ \text{ф.}$$

Слѣдовательно, болѣе точное значеніе отверстія моста:

$$b = \frac{1132}{0{,}9\sqrt{64{,}4}\left\{\frac{2}{3}\left[(3{,}05)^{3/2} - 0{,}52^{3/2}\right] + 3{,}61\,(3{,}05)^{1/2}\right\}} = \frac{1132}{69{,}42} = 16{,}30\ \text{ф.} = 2{,}33\ \text{с.}$$

Высота подпертой воды: 3,61 ф. + 2,53 ф. = 6,14 ф. = 0,88 с., что ниже бровки полотна на 1,50 с. — 0,88 с. = 0,62 с.

Пренебрегая скоростью c, т. е. полагая: $k = 0$, будемъ имѣть: $h = \frac{14^2}{64{,}4} = 3{,}05$;

$$b_1 = \frac{1132}{0{,}9\sqrt{64{,}4 \times 3{,}05}\left(\frac{2}{3} \cdot 3{,}05 + 3{,}61\right)} = \frac{1132}{70{,}44} = 16\ \text{ф.} = 2{,}3\ \text{с.}$$

б) *Опредѣленіе отверстій каменныхъ трубъ.* При опредѣленіи отверстія каменныхъ трубъ слѣдуетъ имѣть въ виду, что теченіе полнымъ сѣченіемъ ие допускается, горизонтъ потока внутри трубы долженъ быть ие выше пять кирпичнаго свода, или даже ниже иа 0,10 саж., а при бетонныхъ или каменныхъ сводахъ не выше $^3/_4$ полной высоты трубы, при чемъ въ послѣднемъ случаѣ до ключа свода должеиъ оставаться просвѣтъ въ 0,40 с., если своды съ подъемомъ болѣе $^1/_3$, и не менѣе 0,25 с. при меньшихъ подъемахъ. Предѣльныя скорости тѣ же, что и для открытыхъ мостиковъ; слѣдовательно, и въ данномъ случаѣ предѣльная величина подпора: 3,04 ф.

Если каменная труба не длинная, то отверстіе можетъ быть опредѣлено по формуламъ, приведеннымъ для опредѣленія отверстія открытыхъ мостиковъ. Примѣненіе вышеуказанныхъ формулъ обусловливается тѣмъ, чтобы перепадъ занималъ почти все протяженіе (по длинѣ), ограниченное устоями моста или трубы.

Въ мостахъ и въ каменныхъ трубахъ незначительнаго протяженія это условіе почти выполняется; если же труба длинная, правильнѣе примѣнять другую формулу, предложенную Брессомъ, выражающую расходъ чрезъ отверстіе въ стѣикѣ сосуда (неполное сжатіе, неполный водосливъ), предполагая, что за стѣнкой сосуда имѣется длинный открытый каналъ горизонтальный или съ незначительнымъ уклономъ, шириною равный ширинѣ отверстія въ стѣнкѣ и съ дномъ, расположеннымъ иа той же высотѣ, какъ и порогъ водослива, при чемъ въ такой трубѣ движеніе можно считать уже установившимся.

Пусть высота подпертаго горизонта надъ подошвой капала—y; высота слоя надъ подошвой въ предѣлахъ канала — η; тогда, если предположить, что въ каналѣ установилось равномѣрное движеніе, при постоянной скорости V и толщинѣ слоя — η, то расходъ въ какомъ-либо сѣченіи канала, шириною b, выразится чрезъ:

$$Q = \mu . b . \eta . V = \mu . b . \eta \sqrt{2g\,(y + k - \eta)} . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (5)$$

гдѣ $k = \frac{c^2}{2g}$, если $v = c$—скорость притекающей воды.

Если же скорость притеканія къ отверстію $= 0$, то $k = 0$, и тогда:

$$Q = \mu . b . \eta \sqrt{2g\,(y - \eta)} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (6)$$

Въ этой формулѣ при данномъ Q и b неизвѣстны: y и η.

Въ формулѣ (3) (приведенной раньше), толщина слоя η названа буквою a, при чемъ мы принимали, что a, представляя глубину потока въ концевомъ сѣченіи въ предѣлахъ устоевъ моста, равно глубинѣ потока ниже моста и кромѣ того равно той глубинѣ, которая соотвѣтствуетъ нестѣсненному живому сѣченію. Эту послѣднюю глубину, очевидно, мы могли бы опредѣлить ощупью, зная расходъ, уклонъ и поперечную профиль оврага.

Въ данномъ случаѣ нельзя допустить, чтобы глубина потока, сохраняясь постоянною въ предѣлахъ трубы, была бы равна глубинѣ при нестѣсненномъ сѣченіи, а потому по необходимости ее слѣдуетъ считать неизвѣстной.

Допускаемъ (рис. 294), что между η и y должно установиться такое соотношеніе, чтобы при данныхъ условіяхъ расходъ былъ наибольшій.

При постоянныхъ $y + k$ и b, наибольшій Q будетъ имѣть мѣсто при $\eta = \frac{2}{3}(y + k)$.

Дѣйствительно:

$$\frac{Q^2}{2g\,b^2} = \mu^2 . \eta^2 (y + k - \eta) = U;$$

$$\frac{dU}{d\eta} = \mu^2 (2\eta y + 2\eta k - 3\eta^2) = 0,$$

откуда:

$$\eta = \frac{2}{3}\,(y + k).$$

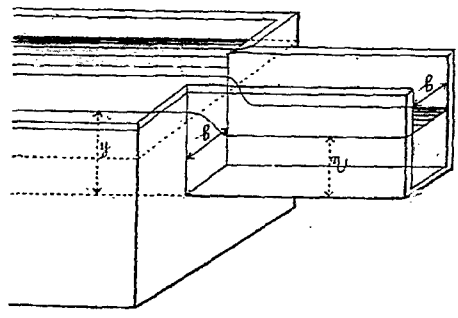


Рис. 294.

Въ этомъ случаѣ, замѣчая, что $\mu = 0{,}9$:

$$Q = \mu . b\,(y + k)\,\frac{2}{3\sqrt{3}}\sqrt{2g\,(y + k)} = \mu . 0{,}3849 . b\,(y + k)\sqrt{2g\,(y + k)} =$$

$$= 0{,}35\,b\,(y + k) . \sqrt{2g\,(y + k)} . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (7)$$

или, при $k = 0$:

$$Q = \mu . 0{,}385\,b . y . \sqrt{2gy} = 0{,}35 . b . y \sqrt{2gy} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (8)$$

Изъ формулъ (5) и (6) слѣдуетъ, что однообразная скорость, съ которой вода протекаетъ по трубѣ, выразится формулой:

$$V = \sqrt{2g\,(y + k - \eta)},$$

или при $k = 0$:

$$V = \sqrt{2g\,(y - \eta)}.$$

Вставляя же вмѣсто: η равную ей величину: $\frac{2}{3}(y + k)$, или: $\eta = \frac{2}{3} \cdot y$, получимъ:

$$V = \sqrt{2g\left(\frac{y + k}{3}\right)} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (9)$$

или при $k = 0$:

$$V = \sqrt{2g \cdot \frac{y}{3}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (10)$$

Такимъ образомъ по даннымъ Q и V можно найти y и b, рѣшая совмѣстно (7) и (9), или (8) и (10), и легко видѣть, сдѣлавъ подстановку, что изъ обѣихъ группъ уравненій хотя получатся различные y, но b будетъ одно и то же.

По вставкѣ въ формулу (7) вмѣсто $y + k$ — его значенія, мы получимъ въ футахъ:

$$b = \frac{Q}{0{,}35\,\frac{3V^2}{2g}\sqrt{3V^2}} = \frac{Q}{\frac{0{,}35\,V^3 \cdot 3\sqrt{3}}{2g}} = \frac{35{,}45\,Q}{V^3} \quad . \quad . \quad . \quad (11)$$

Высота подпертаго горизонта въ футахъ:

$$y = \frac{3V^2}{2g} - k = 0{,}04658V^2 - k \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (12$$

при $k = 0$:

$$y = 0{,}04658\ V^2\ ; \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (13)$$

высота слоя въ трубѣ при наибольшемъ Q и при всякомъ k

$$\eta = \frac{2}{3}(y + k) = 0{,}03105\ V^2 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (14)$$

Во всякомъ случаѣ расчетъ отверстія по этимъ формуламъ Бресса возможенъ лишь до тѣхъ поръ, пока $y > a$, гдѣ a — высота слоя при нестѣсненномъ сѣченіи, а наибольшее возможное значеніе для $y = 1{,}6$ с. $= 11{,}2$ ф. при средней скорости $V = 15{,}6$ ф. въ 1 секунду, отвѣчающей скорости по лотку въ $14'$. При меньшемъ V и предѣлы для y соотвѣтственно уменьшаются. Еслибы оказалось, что $y < a$, тогда остается воспользоваться формулой (5), предположивъ: $\eta = a$ и опредѣливъ y изъ $y + k - a = \frac{V^2}{2g}$. Зная y, найдемъ и b. Это значеніе b — уже не будетъ наивыгоднѣйшее, соотвѣтствующее шах. расхода при $\eta = \frac{2}{3}y$. Полученное значеніе b можно нѣсколько уменьшить съ соотвѣтственнымъ увеличеніемъ высоты устоевъ, имѣя притомъ въ виду, чтобы средняя скорость была не болѣе V.

Пользуясь формулой (11), можно задаться серіей отверстій трубъ, измѣняющихся, напримѣръ, чрезъ 0,25 с. и, кромѣ того, допускаемыми по дну лотка скоростями, напримѣръ въ $7'$, $10'$ и $14'$, которымъ соотвѣтствуютъ среднія скорости въ $8',40$, $11',40$ и $15',60$ и вычислить по формулѣ (11) соотвѣтственныя значенія расходовъ. Составленная на основаніи сего таблица можетъ служить

пособіемъ при подборѣ отверстія трубъ по заданному расходу при той или другой допущенной скорости.

Такъ, напримѣръ, на Средне-Сибирской желѣзной дорогѣ составлена слѣдующая таблица.

ТАБЛИЦА (а).

При:		Показаннымъ отверстіямъ трубъ соотвѣтствуютъ расходы по формулѣ Bress'a (i): $b = \frac{35{,}45 \cdot Q}{V^3}$.											
допущенной скорости по дну лотка.	соотвѣтствующей средней скорости въ трубѣ.	Отверстія трубъ.											
		0,25 с.	0,50 с.	0,75 с.	1,00 с.	1,25 с.	1,50 с.	1,75 с.	2,00 с.	2,25 с.	2,50 с.	2,75 с.	3,00 с.
		Расходъ въ кубическихъ саженяхъ.											
7′,00	8′,40	0,085	0,171	0,256	0,341	0,427	0,512	0,597	0,683	0,768	0,853	0,938	1,024
10′,00	11′,40	0,213	0,426	0,640	0,853	1,066	1,279	1,493	1,706	1,919	2,132	2,345	2,559
14′,00	15′,60	0,546	1,093	1,639	2,186	2,732	3,279	3,825	4,372	4,917	5,464	6,010	6,557

Такъ какъ отвѣчающая наибольшему расходу скорость зависитъ отъ высоты слоя подпертой воды (форм. 9 и 10), то, задаваясь высотою этого слоя (отъ чего находится въ зависимости и высота устоевъ трубы), можно вычислить по (9) или (10) скорости, а по формулѣ (11) соотвѣтственные расходы для различныхъ отверстій трубъ. Эти данныя удобнѣе представить въ видѣ діаграммы, въ которой ординатами слѣдуетъ обозначить высоты слоя воды, или что тоже — высоты устоевъ, а абсциссами — расходы, при чемъ расчеты слѣдуетъ сдѣлать для нѣсколькихъ серій отверстій.

Въ слѣдующей діаграммѣ (рис. 295), составленной въ Управленіи Средне-Сибирской желѣзной дороги, показаны результаты расчетовъ.

Какъ сказано выше, пользуясь формулой (10), можно опредѣлить, для различныхъ значеній глубины потока въ трубѣ, среднія скорости, отвѣчающія наибольшему расходу. Такъ, напримѣръ, получимъ:

ТАБЛИЦА (б).

y въ саженяхъ	v въ футахъ	y въ саженяхъ	V въ футахъ
0,6	9,50	1,20	13,43
0,7	10,26	1,30	13,97
0,8	10,96	1,40	14,49
0,9	11,63	1,50	15,01
1,00	12,26	1,60	15,50
1,10	12,86	—	—

Объ таблицы и діаграмма могутъ служить указаніемъ для подбора по данному расходу — отверстія трубы и высоты устоя. Пусть напримѣръ, расходъ $Q = 1{,}1$ кубич. саж. Согласно діаграммѣ этому расходу отвѣчаютъ трубы:

1) отверстіемъ 1,5 саж. при высотѣ устоя . . . . . $y = 0{,}79$ с.
2) » 1,00 » » » » . . . . . $y = 1{,}03$ »
3) » 0,75 » » » » . . . . . $y = 1{,}21$ »

Остается выбрать трубу съ наименьшимъ количествомъ кладки. Для сего необходимо составить предварительно таблицу или діаграмму, въ которой при заданномъ типѣ трубъ, были бы показаны объемы кладки на погонную единицу для различныхъ высотъ устоевъ. Въ слѣдующихъ діаграммахъ (рис. 295, 296, 297 и 298) показаны результаты этихъ расчетовъ, составленные въ Управленіи

Рис. 295.

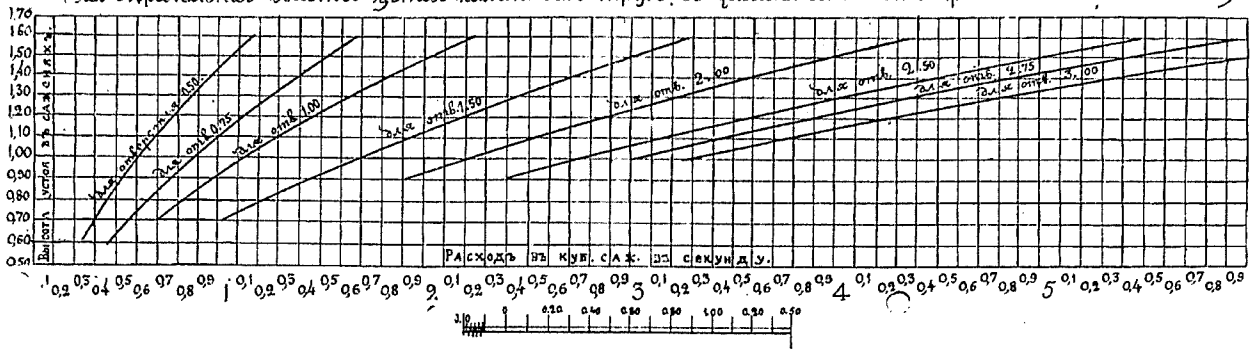
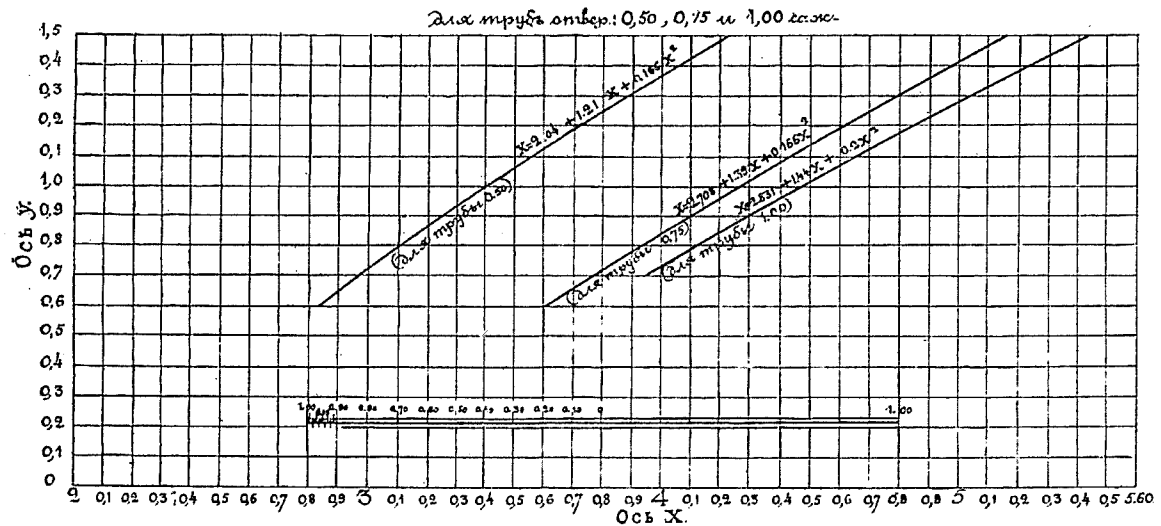


Рис. 296.



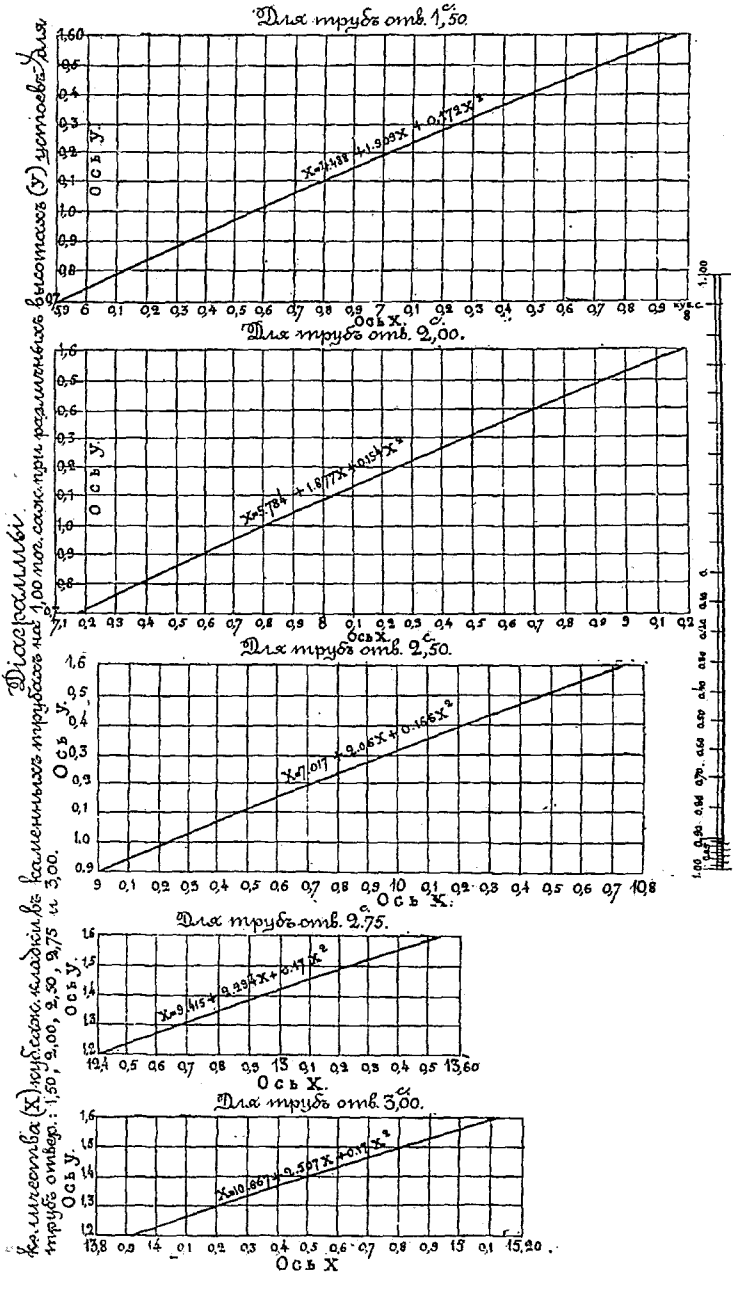


Рис. 297.

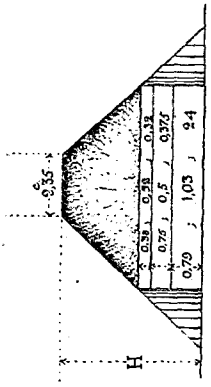


Рис. 298.

Средне-Сибирской желѣзной дороги—для принятаго на дорогѣ типа трубъ различныхъ отверстій, при чемъ по оси X-овъ отложены количества кладки на погонную единицу (не считая крыльевъ), а по оси Y-овъ высоты устоевъ. (Во второй части уравненій кривыхъ вмѣсто x и x^2 должно быть y и y^2).

Для разсматриваемаго случая изъ этихъ діаграммъ имѣемъ:

1) объемъ кладки на 1 пог. саж. длины трубы отвер. 1,50 с., при $y=0{,}79$ с. . . . $x=6{,}10$ куб. с.
2) » » » 1 » » » » » 1,00 » » $y=1{,}03$ » . . . $x=1{,}53$ » »
3) » » » 1 » » » » » 0,75 » » $y=1{,}24$ » . . . $x=4{,}70$ » »

Если H—высота насыпи и ширина полотна —2,35 с. (рис. 298) и если толщина свода въ ключѣ для трубъ отверстіемъ 1,5 с. — 0,38 с., а для трубъ отверстіемъ 1,00 с. и 0,75 с. — 0,32 с., то длина трубъ по своду:

для трубъ отверстіемъ:

1) 1,50 с. . . . $L=2{,}35$ с. $+3\,[H-0{,}79-0{,}75-0{,}38]=3H-3{,}41$ с.;
2) 1,00 » . . . $L=2{,}35$ с. $+3\,[H-1{,}03-0{,}50-0{,}32]=3H-3{,}20$ с.;
3) 0,75 » . . . $L=2{,}35$ с. $+3\,[H-1{,}24-0{,}375-0{,}32]=3H-3{,}45$ с.;

Слѣдовательно, объемы кладки каждой трубы, не считая крыльевъ и обратныхъ стѣнокъ будутъ:

при отверстіи

1) 1,50 с. . . . . $r=6{,}1\,[3H-3{,}41]=18{,}3\,H-20{,}801$,
что, напр., при $H=5$ с., составитъ *70,699* куб. с.
2) 1,00 с. . . . . $r=4{,}53\,[3H-3{,}20]=13{,}59\,H-14{,}496$,
что, напр., при $H=5$ с., составитъ *53,454* куб. с.
3) 0,75 с. . . . . $r=4{,}7\,[3H-3{,}45]=14{,}1\,H-16{,}215$,
что, напр., при $H=5$ с., составитъ *54,285* куб. с.

Такимъ образомъ слѣдуетъ остановиться или на трубѣ отверстіемъ 1,00 с. при высотѣ устоевъ 1,03 с., или отверстіемъ 0,75 с. при высотѣ устоевъ 1,21 с. Первая труба предпочтительнѣе, такъ какъ ей отвѣчаетъ, какъ показываетъ вышеприведенная таблица, средняя скорость около 12,25 ф., что соотвѣтствуетъ скорости по лотку около: $12',25 \times 0{,}83 = 10{,}17$ ф.

Замѣтимъ, что, согласно принятой теоріи Бресса, когда движеніе въ трубѣ установилось, — глубина потока η составляетъ всего лишь $\frac{2}{3}$ отъ глубины подпертой воды y; поэтому, казалось бы, что высоту устоевъ, величиною y, елѣдуетъ дѣлать лишь на протяженіи перепада (рис. 299), а за предѣлами перепада эта высота можетъ быть понижена до $\eta=\frac{2}{3}y$.

Такое *пониженіе* устоевъ трубы сопровождается сбереженіемъ расходовъ около $10^0/_0$, какъ показали расчеты, сдѣланные въ Управленіи Средне-Сибирской желѣзной дороги.

Протяженіе перепада инженеръ Подруцкій опредѣляетъ такимъ образомъ. Пусть ae и gh — вертикальныя сѣченія (рис. 299), ограничивающія перепадъ, съ соотвѣтственными глубинами: $\eta=\frac{2}{3}y$ и y. Предположимъ, что въ сѣченіи ae — скорость притекающей воды: $v=0$; поэтому происхожденіе скорости v въ сѣченіи gh должно быть объяснено исключительно давленіемъ частицъ воды, лежащихъ выше сѣченія ch. Если возьмемъ сѣченіе, безконечно-близкое къ ae и назовемъ вѣсъ жидкости въ объемѣ $cdef$ чрезъ m, то вѣсъ въ объемѣ $abcd$ — будетъ $2m$ $\left(\text{въ виду того, что } \eta=\frac{2}{3}y\right)$, а вѣсъ всего объема $abcf$ — $3m$. Давленіе столба $cdcf$ — передается, очевидно, на нижележащій столбъ $abcd$, распространяясь во всѣ стороны. Давленіе внизъ уничтожится сопротивленіемъ лотка; давленіе влѣво, встрѣчая неподвижную массу, обиару-

живается въ видѣ подпора, а давленіе вправо сообщаетъ находящейся въ покоѣ жидкости равномѣрно-ускоренное движеніе, пока скорость не достигнетъ извѣстнаго предѣла въ сѣченіи gh. Такъ какъ величина силы f, вызвавшей движеніе, есть вѣсъ m, то ускореніе, сообщаемое всей массѣ $3m$, можетъ быть принято въ: $g' = \frac{g}{3} = \frac{32,2}{3} = 10,73$ ф. Время t—но прошествіи котораго скорость достигаетъ предѣла v, найдется изъ: $v = \mu . g' t$, гдѣ $\mu = 0,8$—коэффиціентъ сжатія, а путь, пройденный частицей за это время, т. е. длина перепада:

$$s = \frac{\mu . g' t^2}{2} = \frac{0,8 \times 10,75 . t^2}{2}.$$

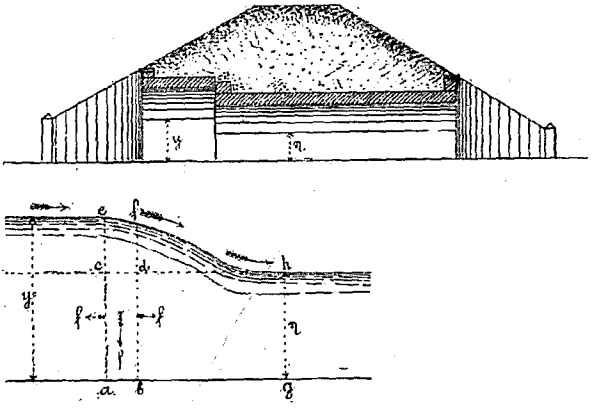


Рис. 299.

Въ слѣдующей таблицѣ помѣщена вычисленная по указанной формулѣ длина перепада для различныхъ y и принятая при исполненіи на Средне-Сибирской желѣзной дорогѣ длина перепада, достаточно увеличенная противъ теоретической величины:

y въ саженяхъ	v въ футахъ	s теоретическая длина перепада въ футахъ.	Принятая длина перепада въ саженяхъ.
0,60	9,49	5,20	не $<$ 1,5 с.
0,70	10,25	6,12	„
0,80	10,97	7,02	„
0,90	11,63	7,88	„
1,00	12,25	8,74	не $<$ 2,00 с.
1,10	12,86	9,63	„
1,20	13,43	10,50	„
1,30	13,97	11,36	„
1,40	14,49	12,23	не $<$ 2,2 с.
1,50	15,01	13,14	не $<$ 2,5 с.
1,60	15,50	14,00	„

Возьмемъ примѣръ, разсмотрѣнный при опредѣленіи отверстій открытыхъ мостиковъ, полагая только, что высота насыпи 12 саж. При такихъ условіяхъ, очевидно, выгоднѣе поставить трубу, а не мостъ.

Слѣдовательно:

$$Q = 1132 \text{ кубич. фут.};$$

$$k = 0,52 \text{ фута};$$

$$V = 14 \text{ футъ въ 1 секунду.}$$

Тогда:

$$b = \frac{35,4 \times 1132}{\overline{14}^2} = 14,6 \text{ ф.} = 2,10 \text{ с.};$$

$$y = 0,04658 \times \overline{14}^2 - 0,52 = 8,61 \text{ фута};$$

$$\eta = 0,03105 \times 14^2 = 6,09 \text{ фут.}$$

Полагая: $k = 0$:

$$y = 0{,}04658 \times 14^2 = 9{,}13 \text{ фута};$$

$$\eta = 0{,}03105 \times 14^2 = 6{,}09 \text{ фута}.$$

Такимъ образомъ, если сводъ кирпичный, и не желательно, чтобы облицовка свода подвергалась дѣйствію протекающей воды, то, согласно предыдущей таблицѣ, высота устоевъ на протяженіи 2 саж. должна быть не менѣе 9,13 ф. = 1,3 с., а на остальномъ протяженіи не менѣе 6,09 ф. = 0,87 с., или кругло: 1,4 с. и 0,95 с., при отверстіи трубы въ 2,1 с. Высота подпертаго горизонта 9,13 фута = 1,31 саж., между тѣмъ какъ при проектированіи открытаго мостика,—величина отверстія опредѣлилась въ 2,33 саж. при высотѣ подпертаго горизонта въ 6,14 фута.

в) *Опредѣленіе отверстій чугунныхъ или вообще металлическихъ трубъ.* По металлическимъ трубамъ допускается протокъ воды полнымъ и неполнымъ сѣченіемъ со скоростью не болѣе 20 футъ, а при извѣстныхъ условіяхъ 30 футъ въ 1 секунду. Металлическія трубы вообще укладываются на каменномъ или бетонномъ основаніи. Если высота насыпи менѣе 4 саж., то допускается укладка трубъ на основаніи изъ мятой глины со щебнемъ, при условіи, чтобы при протеканіи полнымъ сѣченіемъ скорость не превосходила 10 ф. въ 1 сек., а при проходѣ воды неполнымъ сѣченіемъ скорость не должна превосходить 20 ф. въ 1 секунду. Предѣльные допускаемые діаметры чугунныхъ трубъ 0,50 с. и 0,75 с., при чемъ трубы могутъ быть одиночныя и двойныя, раздѣленныя каменной стѣнкой. Предѣльныя высоты насыпи 1.50 с. и 10 с.

Такъ какъ діаметръ трубы и допускаемая скорость—величины извѣстныя, то для каждаго даннаго случая можетъ быть опредѣлена предѣльная высота напора передъ трубой. Опредѣливъ эту величину и сообразуясь съ высотою насыпи (бровка полотна должна быть выше горизонта подпертой воды не менѣе какъ на 0,50 с.), съ площадью и объемомъ бассейна, съ продолжительностью дождя, слѣдуетъ рѣшить, не можетъ ли вода подняться болѣе предѣльной высоты напора и во всякомъ случаѣ не выше отмѣтки на 0,50 с. ниже бровки полотна, что и укажетъ, пригодна ли труба для даннаго бассейна. При этомъ можетъ оказаться, что для большихъ бассейновъ, но очень пологихъ и широкихъ (развалистыхъ), чугунная труба скорѣе пригодна, чѣмъ для небольшихъ бассейновъ болѣе извѣстнаго предѣла, но крутыхъ и узкихъ. Дѣйствительно, еслибы даже наибольшій допускаемый расходъ чрезъ трубу въ единицу времени былъ *менѣе* прихода воды къ трубѣ со всего бассейна, то при широкомъ пологомъ бассейнѣ въ немъ можетъ умѣститься въ данный промежутокъ времени значительная масса воды, не образуя предѣльнаго напора. Съ другой стороны, очевидно также, что, если наибольшій допускаемый расходъ въ трубѣ *равенъ* или *болѣе* прихода къ трубѣ, то каково бы ни было очертаніе бассейна, подпоръ никогда не можетъ сдѣлаться *болѣе* предѣльнаго, такъ какъ въ тотъ моментъ, когда подпоръ достигаетъ предѣльной величины, *расходъ* сдѣлается *равенъ приходу* и дальнѣйшее повышеніе горизонта воды не можетъ имѣть мѣста, какъ бы долго ни продолжался дождь.

Повѣрка достаточности отверстія при протеканіи полнымъ сѣченіемъ. Если l — длина трубы, v — допускаемая скорость въ выходномъ концѣ, ξ — коэффиціентъ сопротивленія при входѣ воды въ трубу, d — діаметръ трубы, то высота напора надъ центромъ *выходного* отверстія трубы:

$$h = \left(1 + \xi + \lambda \cdot \frac{l}{d}\right) \cdot \frac{v^2}{2g} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (16)$$

Что касается предѣльной скорости v, то при незначительныхъ уклонахъ, она принимается равною 20 ф. Эта предѣльная скорость 20 ф. въ 1 сек. обусловлена типомъ укрѣпленія выходного русла помощью деревяннаго лотка. Если паденіе оврага достаточно крутое, такъ что въ выходномъ концѣ укрѣпленіе русла можетъ быть устроено въ видѣ ряда ступенчатыхъ глубокихъ каменныхъ колодцевъ съ промежуточными возвышающимися порогами, то предѣльную скорость въ выходномъ концѣ разрѣшается увеличить до 30 ф. въ 1 сек. Глубина слоя воды въ каждомъ изъ колодцевъ должна быть не менѣе 0,75 с., и первый порогъ долженъ быть ниже центра выходного отверстія по крайней мѣрѣ на $1^1/_2$ діаметра трубы.

Коэффиціентъ ξ, представляющій коэффиціентъ сопротивленія при истеченіи жидкости чрезъ наклонную насадку выражается по Вейсбаху—0,870, если уголъ, составленный нормалью къ грани сосуда (къ откосу насыпи) съ осью насадки (трубы)—50°. Если этотъ уголъ $= 0°$, то: $\xi = 0{,}505$; при очень длинныхъ трубахъ иногда пренебрегаютъ этимъ коэффиціентомъ, въ сравненіи съ коэффиціентомъ тренія: $\lambda \cdot \frac{l}{d}$. Если входное колѣно трубы нѣсколько расширено, или края трубы закруглены, то: $\xi = 0{,}08$. Обыкновенно принимаютъ $\xi = 0{,}505$. По Вейсбаху численный коэффиціентъ λ зависитъ отъ скорости и выражается чрезъ:

$$\lambda = 0{,}01439 + \frac{0{,}0094711}{\sqrt{v}},$$

если скорость v выражена въ метрахъ.

Въ слѣдующей таблицѣ приводимъ значенія λ при различныхъ скоростяхъ:

v въ метрахъ.	λ.	v въ метрахъ.	λ.	v въ метрахъ.	λ.
0,05	0,0567	0,70	0,0257	3	0,0198
0,10	0,0433	0,80	0,0250	4	0,0191
0,15	0,0388	0,90	0,0244	5	0,0187
0,20	0,0356	1,00	0,0239	6	0,0183
0,25	0,0333	1,25	0,0229	7	0,0180
0,30	0,0317	1,50	0,0221	8	0,0177
0,40	0,0294	1,75	0,0215	10	0,0174
0,50	0,0278	2,00	0,0211	12	0,0171
0,60	0,0266	2,50	0,0204	15	0,0168

Найдя по вышеприведенный формулѣ h, т. е. возвышеніе подпертаго горизонта надъ центромъ выходного отверстія, слѣдуетъ затѣмъ опредѣлить наибольшій притокъ воды со всего бассейна въ единицу времени, задаться наиболѣе вѣроятной продолжительностью дождя и затѣмъ, сообразуясь съ объемомъ бассейна впереди трубы, опредѣлить расчетомъ, можетъ ли скопившаяся передъ насыпью во время дождя вода подняться выше предѣльной высоты подпора.

При рѣшеніи этого вопроса встрѣтится необходимость опредѣлить, до какой высоты можетъ подняться вода въ части бассейна передъ насыпью при *постоянномъ* приходѣ воды Q въ теченіе опредѣленнаго времени t, предполагая одновременно расходъ чрезъ трубу при *перемѣнномъ* напорѣ.

Если перемѣнную площадь поверхности подпертой воды назовемъ черезъ F_x (рис. 300), соотвѣтственную высоту горизонта подпертой воды надъ центромъ *входнаго* отверстія трубы, или приближенно надъ дномъ оврага обозначимъ черезъ x, если приходъ воды въ единицу времени — Q, площадь сѣченія трубы — ω,

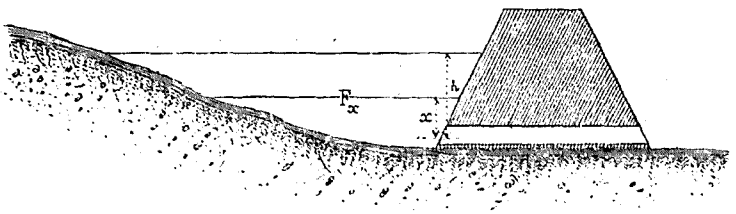


Рис. 300.

то во время dt притокъ составляетъ: $Q \,.\, dt$, а расходъ: $\mu \,.\, \omega \,.\, \sqrt{2gx}$; если: $Q \,.\, dt > \mu \,.\, \omega \sqrt{2gx} \,.\, dt$, то произойдетъ повышеніе горизонта подпертой воды на величину dx, и впереди насыпи задержится количество воды:

$$F_x \,.\, d_x = Q \,.\, dt - \mu \,.\, \omega \sqrt{2gx} \,.\, dt.$$

Слѣдовательно:

$$dt = \frac{F_x \,.\, d_x}{Q - \mu \,.\, \omega \sqrt{2gx}}; \quad t = \int_0^h \frac{F_x \,.\, d_x}{Q - \mu \,.\, \omega \sqrt{2gx}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (17)$$

Если труба *не имѣетъ уклона*, то въ предыдущей формулѣ h имѣетъ значеніе, опредѣленное по формулѣ (16); если же труба *уложена съ уклономъ* i, то верхній предѣлъ интеграла равняется значенію h изъ формулы (16), *уменьшенному* на $i \,.\, l$, гдѣ l — длина трубы.

Если бы извѣстенъ былъ видъ функціи F_x, то есть зависимость F_x отъ x, то, по интегрированіи второй части, могли бы найти искомое h, то есть высоту подпертой воды по прошествіи времени t.

Пусть, напримѣръ, продольный уклонъ дна оврага — i (рис. 301), что соотвѣтствуетъ, положимъ, углу α; уклонъ откосовъ оврага — r, что соотвѣтствуетъ углу α'; уклонъ откоса насыпи — k, соотвѣтствующій углу β; поперечное сѣченіе оврага — треугольникъ; тогда площадь:

$$F_x = abc = (ap + pq)\, bq = \left(\frac{x}{i} + \frac{x}{k}\right) \cdot \frac{x\,(k + i)}{k \,.\, \sqrt{r^2 - i^2}} = \frac{x^2\,(k + i)^2}{k^2 \,.\, i\sqrt{r^2 - i^2}},$$

такъ какъ:

$$mp = \frac{ap \times ps}{as} = \frac{x}{i} \cdot \frac{x}{r} \cdot \frac{r \,.\, 1}{x \,.\, \sqrt{r^2 - i^2}} = \frac{x}{\sqrt{r^2 - i^2}};$$

$$\frac{bq}{mp} = \frac{aq}{ap} = \frac{x\left(\frac{1}{i} + \frac{1}{k}\right)}{\frac{x}{i}};$$

$$bq = \frac{x}{\sqrt{r^2 - i^2}} \cdot \frac{(k + i)}{k}.$$

Слѣдовательно, обозначая $\frac{(k+i)^2}{k^2.i\sqrt{r^2-i^2}}$ чрезъ C:

$$F_x = Cx^2 \text{ и } t = \int_0^h \frac{F_x \,.\, dx}{Q - \mu \,.\, \omega\sqrt{2gx}} = \frac{C}{\mu.\omega\sqrt{2g}} \int_0^h \frac{x^2 \,.\, dx}{\beta - \sqrt{x}},$$

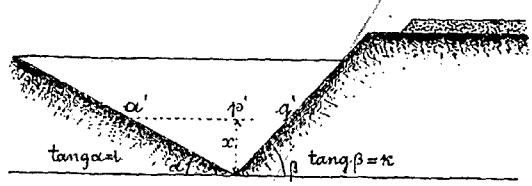
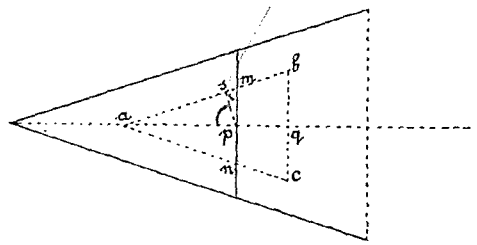


Рис. 301.



гдѣ: $\beta = \frac{Q}{\mu.\omega.\sqrt{2g}}$. Интегрированіе выполнимъ, полагая:

$$\beta - \sqrt{x} = y \text{ и } \sqrt{x} = \beta - y;$$
$$dx = -2(\beta - y) \,.\, dy;$$
при $x = 0; \quad y = \beta;$
$x = h; \quad y = \beta - \sqrt{h}.$

Тогда интегралъ: $\gamma = \int_0^h \frac{x^2 \,.\, dx}{\beta - \sqrt{x}}$ принимаетъ видъ:

$$\gamma = 2 \int_{\beta-\sqrt{h}}^{\beta} \frac{(\beta - y)^5 \,.\, dy}{y},$$

или, выполняя интегрированіе:

$$\gamma = 2\left[\beta^5 \,.\, log\, y - 5\beta^4 \,.\, y + 5\beta^3 \,.\, y^2 - \frac{10}{3} \,.\, \beta^2 \,.\, y^3 + \frac{5}{4}\beta \,.\, y^4 - \frac{y^5}{5}\right]_{\beta-\sqrt{h}}^{\beta}$$

и

$$t = \frac{2C}{\mu.\omega\sqrt{2g}}\left\{\beta^5 \,.\, \left[log\,\frac{\beta}{\beta-\sqrt{h}} - \frac{137}{60}\right] + 5\beta^3\sqrt{h}\,(\beta - \sqrt{h}) + \frac{10}{3} \,.\, \beta^2\,(\beta - \sqrt{h})^3 - \right.$$
$$\left. - \frac{5}{4} \,.\, \beta\,(\beta - \sqrt{h})^4 + \frac{(\beta - \sqrt{h})^5}{5}\right\},$$

а, слѣдовательно, по данному t (продолжительность дождя), посредствомъ послѣдовательныхъ приближеній, можетъ быть найдено искомое h.

Такъ какъ уклоны дна и откосовъ овраговъ не представляютъ постоянной величины по всему протяженію бассейна и, слѣдовательно, видъ функціи F_x гораздо сложнѣе, то, вмѣсто вышеуказаннаго пріема, рѣшаютъ задачу ощупью. Снимаютъ вблизи полотна дороги планъ бассейна горизонталями и опредѣляютъ графически, или инымъ путемъ, площади различныхъ горизонтальныхъ сѣченій: F_0, F_1, F_2, ... F_n, взятыхъ по высотѣ на одинаковыхъ разстояніяхъ.

Тогда, если h_n—высота впереди насыпи (рис. 302) объема воды, скопившейся передъ нею, n—четное число слоевъ одинаковой толщины, $F_0, F_1, F_2, \ldots F_n$—

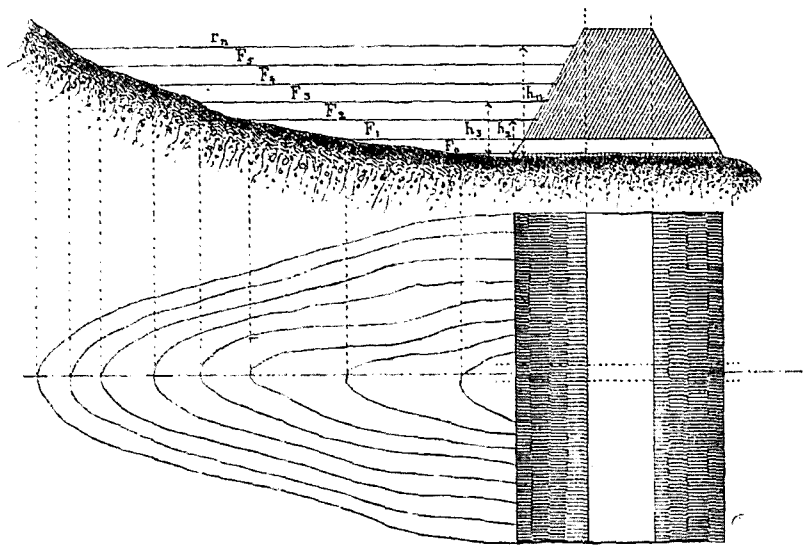


Рис. 302.

площади соотвѣтственныхъ горизонтальныхъ сѣченій, то объемъ по Симпсону можетъ быть выраженъ черезъ:

$$v = \frac{h_n}{3n}\{F_0 + 4(F_1 + F_3 + F_5 + \ldots + F_{n-1}) + 2(F_2 + F_4 + \ldots + F_{n-2}) + F_n\} \quad . \quad . \quad (a)$$

Если число слоевъ n—нечетное, тогда отдѣляютъ три слоя, объемъ коихъ опредѣлится по формулѣ:

$$v' = \frac{h_3}{8}[F_0 + 3(F_1 + F_2) + F_3] \ *);$$

а объемъ остальныхъ $n - 3$ слоевъ находится по формулѣ (a). Съ другой стороны сѣченію F_0 соотвѣтствуетъ напоръ $= 0$; сѣченію F_1 соотвѣтствуетъ напоръ h_1; сѣченію F_2 — напоръ h_2 и т. д.

Слѣдовательно, при четномъ числѣ слоевъ:

$$t = \int_0^{h_n} \frac{F_x \, . \, dx}{Q - \mu \, . \, \omega \sqrt{2gx}} = \frac{h_n}{3n} \times \left[\frac{F_0}{Q - \mu \, . \, \omega \sqrt{2g \, . \, o}} + \frac{4F_1}{Q - \mu \, . \, \omega \sqrt{2gh_1}} + \right.$$

$$\left. + \frac{2F_2}{Q - \mu \, . \, \omega \sqrt{2gh_2}} + \frac{4F_3}{Q - \mu \, . \, \omega \sqrt{2gh_3}} + \frac{2F_4}{Q - \mu \, . \, \omega \sqrt{2gh_4}} + \ldots + \frac{F_n}{Q - \mu \, . \, \omega \sqrt{2gh_n}} \right] \ldots (18)$$

Если число слоевъ нечетное, то, на основаніи вышеизложеннаго, будемъ имѣть:

$$t = \int_0^{h_n} \frac{F_x \, . \, dx}{Q - \mu \, . \, \omega \sqrt{2gx}} = \frac{h_3}{8} \left[\frac{F_0}{Q - \mu \, . \, \omega \sqrt{2g \, . \, o}} + \frac{3F_1}{Q - \mu \, . \, \omega \sqrt{2gh_1}} + \right.$$

*) J. Weisbach. Lehrbuch der Ingenieur-und Maschinen-Mechanik. Erster Theil, 63.

$$+\frac{3F_2}{Q-\mu.\omega\sqrt{2gh_2}}+\frac{F_3}{Q-\mu.\omega\sqrt{2gh_3}}\Big]+\frac{h_n-h_3}{3(n-3)}\times\Big[\frac{F_3}{Q-\mu.\omega\sqrt{2gh_3}}+$$

$$+\frac{4F_4}{Q-\mu.\omega\sqrt{2gh_4}}+\frac{2F_5}{Q-\mu.\omega\sqrt{2gh_5}}+\ldots+\frac{F_n}{Q-\mu.\omega\sqrt{2gh_n}}\Big]. \quad . \quad (19)$$

Искомое h_n находимъ, очевидно, ощупью, полагая h_n равнымъ: h_1, h_2, h_3 и т. д.

Повѣрка достаточности отверстія при протеканіи неполнымъ сѣченіемъ. Слѣдуетъ замѣтить, что при крутыхъ оврагахъ, укладывая трубу съ уклономъ, соотвѣтствующимъ уклону оврага, иногда вовсе нельзя допустить образованія подпора, т. е. протеканія воды полнымъ сѣченіемъ. Можетъ также случиться, что уклонъ настолько великъ, а приходъ настолько малъ, что приходъ сдѣлается равнымъ расходу и при протеканіи воды неполнымъ сѣченіемъ при скоростяхъ, не превышающихъ 20 ф. или соотвѣтственно 30 ф. въ 1 сек. Наибольшая глубина потока въ предѣлахъ трубы допускается не болѣе $^3/_4$ діаметра. Повѣрка достаточности отверстія дѣлается по формуламъ:

$$Q=\omega.v; \quad v=c\sqrt{\frac{\omega}{p}.i},$$

гдѣ ω — площадь сѣченія, при глубинѣ потока не болѣе $^3/_4$ діаметра;

p — смачиваемый периметръ;

i — уклонъ оврага;

c — коэффиціентъ, опредѣленный (см. группу I эмпирическихъ формулъ, стр. 144) по формулѣ Шези-Дарси-Базена:

$$\frac{1}{c^2}=0.00015\left(1+\frac{0.03}{\omega}p\right) \text{ (въ метр.)}$$

или по формулѣ Ganguillet и Kutter'a:

$$c=\frac{23+\frac{1}{n}+\frac{0,00155}{i}}{1+\left(23+\frac{0,00155}{i}\right)\frac{n}{\sqrt{\frac{\omega}{p}}}} \text{ (въ метр.).}$$

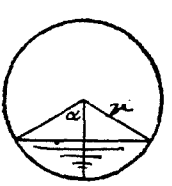


Рис. 303.

при чемъ n можно положить равнымъ: 0,01.

Если скорости, площади живого сѣченія и подводные периметры выражены въ саженяхъ, то:

$$c=\frac{23+\frac{1}{n}+\frac{0,00155}{i}}{1,4607+\left(23+\frac{0,00155}{i}\right)\frac{n}{\sqrt{\frac{\omega}{p}}}}.$$

Интересно опредѣлить, при какой глубинѣ потока въ круглой трубѣ получается наибольшій расходъ, предполагая, что коэффиціентъ c—величина постоянная.

Расходъ: (рис. 303):

$$Q=\omega.v=\omega.c\sqrt{\frac{\omega}{p}.i}=r^2(\alpha-\sin\alpha.\cos\alpha)\,c\sqrt{\frac{r^2(\alpha-\sin\alpha\cos\alpha)}{2r.\alpha}}.\sqrt{i}=$$

$$= r^2 \cdot c \sqrt{\frac{r}{2} \cdot i\,(\alpha - \sin\alpha\cos\alpha)} \sqrt{\frac{\alpha - \sin\alpha\cos\alpha}{\alpha}} =$$

$$= r^2 \cdot c \sqrt{\frac{r}{2} \cdot i\,(\alpha - \sin\alpha \cdot \cos\alpha)} \sqrt{1 - \frac{\sin 2\alpha}{2\alpha}} =$$

$$= r^2 \cdot c \sqrt{\frac{r}{2} \cdot i\,\alpha} \left(1 - \frac{\sin 2\alpha}{2\alpha}\right)^{3/2} = r^2 \cdot c \sqrt{\frac{r}{2} \cdot i}\, f(\alpha).$$

Приравнявъ нулю производную по α, получимъ:

$$\frac{df(\alpha)}{d\alpha} = -\frac{3}{2}\alpha \sqrt{1 - \frac{\sin 2\alpha}{2\alpha}} \left[\frac{4\alpha\cos 2\alpha - 2\sin 2\alpha}{4\alpha^2}\right] + \sqrt{\left(1 - \frac{\sin 2\alpha}{2\alpha}\right)^3} = 0,$$

или

$$\left[-\frac{3}{2}\frac{2\alpha\cos 2\alpha - \sin 2\alpha}{2\alpha} + 1 - \frac{\sin 2\alpha}{2\alpha}\right] \sqrt{1 - \frac{\sin 2\alpha}{2\alpha}} =$$

$$= \left[-\frac{3}{2}\cos 2\alpha + \frac{3}{2}\frac{\sin 2\alpha}{2\alpha} + 1 - \frac{\sin 2\alpha}{2\alpha}\right] \sqrt{1 - \frac{\sin 2\alpha}{2\alpha}} =$$

$$= \left[\frac{1}{2}\frac{\sin 2\alpha}{2\alpha} - \frac{3}{2}\cos 2\alpha + 1\right] \sqrt{1 - \frac{\sin 2\alpha}{2\alpha}} = 0,$$

или

$$\left[\frac{\sin 2\alpha}{2\alpha} - 3\cos 2\alpha + 2\right] \sqrt{1 - \frac{\sin 2\alpha}{2\alpha}} = 0 \quad \ldots\ldots\ldots \quad (b)$$

Ищемъ корень въ предѣлахъ: $0 \leq \alpha \leq \pi$. Уравненіе (b) удовлетворяется при $\alpha = 0$, при чемъ этотъ корень двойной; но при этомъ значеніи $f(\alpha)$, очевидно, не имѣетъ ни max. ни min., такъ какъ видъ $f(\alpha)$ указываетъ, что она при $\alpha = 0$ переходитъ черезъ 0 отъ $-$ къ $+$. Затѣмъ $f(\alpha)$ непрерывно возрастаетъ при измѣненіи α отъ 0 до $\frac{3}{4}\pi$. Такъ, при измѣненіи α отъ 0 до $\frac{\pi}{4}$, $\frac{\sin 2\alpha}{2\alpha}$ убываетъ, слѣдов., $1 - \frac{\sin 2\alpha}{2\alpha}$ и $f(\alpha)$ увеличивается; при измѣненіи α отъ $\frac{\pi}{4}$ до $\frac{2\pi}{4}$, $\frac{\sin 2\alpha}{2\alpha}$ тѣмъ болѣе убываетъ; наконецъ, при измѣненіи α отъ $\frac{2\pi}{4}$ до $\frac{3\pi}{4}$ $f(\alpha)$ продолжаетъ расти, такъ какъ въ этихъ предѣлахъ $\frac{df(\alpha)}{d\alpha}$ остается > 0. Слѣд. значеніе α, соотвѣтствующее max. $f(\alpha)$, должно заключаться между $\frac{3}{4}\pi$ и π. Легко видѣть, что уравненіе (b) имѣетъ корень, близкій къ $\alpha = 2{,}685$, т. е. $\alpha = 154^0$, такъ какъ:

$$\left[\frac{\sin 2\alpha}{2\alpha} - 3\cos 2\alpha + 2\right] \sqrt{1 - \frac{\sin 2\alpha}{2\alpha}} =$$

$$= \left[\frac{-0{,}7880}{2 \times 2{,}685} - 3 \times 0{,}6156 + 2\right] \sqrt{1 + 0{,}147} = 0{,}0062\sqrt{1{,}147}.$$

При $\alpha = 154^0\,30'$, $\frac{df(\alpha)}{d\alpha}$ получается уже отрицательнымъ.

Найденное значеніе α соотвѣтствуетъ max., такъ какъ вторая производная меньше нуля. Дѣйствительно:

$$\frac{d^2 f(\alpha)}{d\alpha^2} = \sqrt{1 - \frac{\sin 2\alpha}{2\alpha}} \left[\frac{4\alpha\cos 2\alpha - 2\sin 2\alpha}{4\alpha^2} + 6\sin 2\alpha\right] +$$

$$+ \left[\frac{\sin 2\alpha}{2\alpha} - 3\cos 2\alpha + 2\right] \left[-\frac{1}{2} \cdot \frac{4\alpha\cos 2\alpha - 2\sin 2\alpha}{4\alpha^2 \sqrt{1 - \frac{\sin 2\alpha}{2\alpha}}}\right]$$

При $\alpha = 2{,}7$:

$$\frac{d^2 f(\alpha)}{d\alpha^2} = \sqrt{1 + \frac{0{,}7880}{5{,}4}} \left[\frac{0{,}6156}{2{,}7} + \frac{0{,}7880}{14{,}58} - 6\,(0{,}788) \right], \text{ что} < 0.$$

Численное значеніе $f(\alpha)$ при $\alpha = 2{,}7$ равняется $f(\alpha) = 3{,}31$; если же положить $\alpha = 3{,}14$ т. е. π, то $f(\alpha) = 3{,}14$, т. е. при полномъ сѣченіи расходъ немного менѣе. Слѣдов. толщина слоя отвѣчающая наибольшему расходу:

$$h = r + r\cos 26^0 = 1{,}8988\, r = 0{,}9494\, d.$$

Численные примѣры. Возьмемъ нѣсколько численныхъ примѣровъ.

Примѣръ I-й. Пусть высота насыпи: $H = 1{,}40$ с. Площадь бассейна $= 0{,}66$ квадратной версты, длина его $= 2$ версты, уклонъ дна оврага—0,002, а уклонъ трубы: $i' = 0$.

Для полотна желѣзной дороги въ одинъ путь, ширина полотна по верху 2,60 с. Слѣдовательно, длина трубы:

$$l = 2{,}60 \text{ с.} + 3 \times 1{,}40 \text{ с.} = 6{,}80 \text{ с.} = 47{,}60 \text{ ф., или } 48 \text{ футъ.}$$

Діаметръ трубы: $d = 0{,}5$ с. $= 3{,}5$ ф. $= 1{,}067$ метр.; $v = 20$ футамъ въ 1 секунду $= 6{,}1$ метра въ секунду; коэффиціентъ:

$$\lambda = 0{,}01439 + \frac{0{,}0094711}{\sqrt{v \text{ метр.}}} = 0{,}01439 + \frac{0{,}0094711}{\sqrt{6{,}1}} = 0{,}01824.$$

Слѣдовательно, наибольшій допускаемый подпоръ при $\xi = 0{,}505$:

$$h = \left(1 + 0{,}505 + 0{,}01824 \times \frac{48}{3{,}5}\right) \frac{\overline{20}^2}{64{,}4} = 10{,}90 \text{ ф.} = 1{,}56 \text{ с.}$$

При $\xi = 0$:

$$h = \left(1 + 0{,}01824 \times \frac{48}{3{,}5}\right) \frac{20^2}{64{,}4} = 7{,}764 \text{ фута} = 1{,}109 \text{ саж.}$$

Такъ какъ труба не длинная, то безопаснѣе положить: $\xi = 0{,}505$, т. е. считать допускаемый подпоръ въ 1,56 саж.

Но такъ какъ, съ другой стороны, высота насыпи: $H = 1{,}40$ саж., то наибольшая возможная высота подпора надъ центромъ отверстія, если поднятіе насыпи почему-либо нежелательно, будетъ

$$1{,}40 \text{ с.} - 0{,}50 \text{ с.} - 0{,}25 \text{ с.} = 0{,}65 \text{ с.} = 4{,}55 \text{ фута.}$$

Соотвѣтствующая скорость:

$$v = \sqrt{\frac{2gh}{1 + \xi + \lambda \frac{l}{d}}} = \sqrt{\frac{64{,}4 \times 4{,}55}{1 + 0{,}505 + 0{,}01824 \times \frac{48}{3{,}5}}} = 12{,}92 \text{ ф.}$$

Слѣдовательно, наибольшій возможный расходъ черезъ трубу:

$$Q = \frac{\pi d^2}{4} \times v = \frac{3{,}14}{4} \times 3{,}5^2 \times 12{,}92 = 124{,}89 \text{ куб. фут.} = 0{,}364 \text{ куб. саж.}$$

Что же касается притока воды, то по нормамъ Köstlin'a (стр. 157), при пологомъ бассейнѣ, съ уклономъ: $i = 0{,}002$, всего притекаетъ: $Q = 1{,}875\ .\ FL = 1{,}875 \times 0{,}66 \times \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} =$ $= 0{,}309$ куб. саж., а такъ какъ наибольшій возможный расходъ — 0,364 куб. саж., т. е. приходъ *менѣе* возможнаго расхода, то, слѣдовательно, чугунная труба въ данномъ случаѣ возможна.

Положимъ теперь, что при сохраненіи всѣхъ вышеупомянутыхъ условій, уклонъ бассейна крутой: $i = 0{,}008$. Въ такомъ случаѣ коэффиціентъ $L = \frac{1}{2}$ не слѣдуетъ уменьшить вдвое, и притокъ будетъ: 0,618 куб. саж., т. е. приходъ будетъ *болѣе* возможнаго расхода. Кромѣ того пред-

положимъ, что труба укладывается не горизонтально, а съ уклономъ $i = 0{,}008$, такъ что при длинѣ трубы $l = 48$ ф., возвышеніе центра входного отверстія надъ центромъ выходного:

$$48 \times 0{,}008 = 0{,}384 \text{ ф.} = 0{,}055 \text{ с.}$$

Прямо нельзя сказать, возможна въ данномъ случаѣ труба или нѣтъ; все будетъ зависѣть отъ очертанія бассейна, дозволяющаго скопленіе опредѣленнаго количества воды. Если бы труба была уложена горизонтально, то возможное поднятіе воды надъ центромъ входного отверстія, какъ найдено было выше, — 0,65 с.; въ данномъ же случаѣ возможное возвышеніе надъ центромъ входного отверстія: 0,65 с. — 0,055 с. = 0,595 с. или 0,60 с. Пусть, напримѣръ, найдено было съемкой:

$h_0 = 0$ . . . . $F_0 =$ 10 кв. саж.,
$h_1 = 0{,}1$ с. . . . $F_1 =$ 150 »
$h_2 = 0{,}2$ » . . . $F_2 =$ 550 »
$h_3 = 0{,}3$ » . . . $F_3 =$ 1200 »
$h_4 = 0{,}4$ » . . . $F_4 =$ 2100 »
$h_5 = 0{,}5$ » . . . $F_5 =$ 3250 »
$h_6 = 0{,}6$ » . . . $F_6 =$ 4650 »
$h_7 = 0{,}7$ » . . . $F_7 =$ 6300 »
$h_8 = 0{,}8$ » . . . $F_8 =$ 8200 »
$h_9 = 0{,}9$ » . . . $F_9 =$ 10350 »

Примѣняемъ формулу Симпсона съ четнымъ числомъ слоевъ:

$$t = \frac{h_n}{3n}\left[\frac{F_0}{Q} + 4\left(\frac{F_1}{Q - \mu.\omega\sqrt{2gh_1}} + \frac{F_3}{Q - \mu.\omega\sqrt{2gh_3}} + \ldots + \frac{F_{n-1}}{Q - \mu.\omega\sqrt{2gh_{n-1}}}\right) + 2\left(\frac{F_2}{Q - \mu.\omega\sqrt{2gh_2}} + \frac{F_4}{Q - \mu.\omega\sqrt{2gh_4}} + \ldots + \frac{F_{n-2}}{Q - \mu.\omega\sqrt{2gh_{n-2}}}\right) + \frac{F_n}{Q - \mu.\omega\sqrt{2gh_n}}\right].$$

Если вторая часть равенства окажется не менѣе *2 часовъ* = 3600 сек. × 2 = 7200 сек. (предполагая по нормамъ Министерства, что продолжительность ливня не болѣе 2-хъ часовъ), тогда, очевидно, укладка трубы можетъ быть допущена, и наоборотъ.

Выражая все въ саженяхъ и въ секундахъ, найдемъ, что при $\xi = 0{,}505$:

$$Q = 0{,}618 \text{ куб. саж.}; \quad \mu = \frac{1}{1 + \xi + \lambda\frac{l}{d}} = \frac{1}{1{,}768} = 0{,}57;$$

$$\omega = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3{,}14}{4} \times 3{,}5^2 \frac{1}{49} = 0{,}196 \text{ кв. саж.};$$

$2g = 64{,}4$ фута $= 9{,}2$ саж.; $\mu.\omega\sqrt{2g} = 0{,}57 \times 0{,}196\sqrt{9{,}2} = 0{,}339$.

Слѣдовательно, будемъ имѣть:

$$t = \frac{0{,}6 \text{ с.}}{3\times 6}\left[\frac{10}{0{,}618} + 4\left(\frac{150}{0{,}618 - 0{,}339\sqrt{0{,}1}} + \frac{1200}{0{,}618 - 0{,}339\sqrt{0{,}3}} + \frac{3250}{0{,}618 - 0{,}339\sqrt{0{,}5}}\right) + 2\left(\frac{550}{0{,}618 - 0{,}339\sqrt{0{,}2}} + \frac{2100}{0{,}618 - 0{,}339\sqrt{0{,}4}}\right) + \frac{4650}{0{,}618 - 0{,}339\sqrt{0{,}6}}\right] = \frac{0{,}6 \text{ с.}}{3\times 6}[16{,}2 + 4(294 + 2778 + 8600) + 2(1181 + 5198) + 13102] = \frac{0{,}6 \text{ с.}}{3\times 6}[16{,}2 + 46688 + 12758 + 13102] = 2418{,}81 \text{ с.}$$

между тѣмъ, какъ должно быть 7200. Слѣдовательно, чугунная труба діаметромъ 0,50 с. не можетъ быть допущена.

Если бы вмѣсто одной трубы уложить двѣ рядомъ, т. е. вмѣсто: $\mu\omega\sqrt{2g} = 0{,}339$ имѣть: $2\mu\omega\sqrt{2g} = 0{,}678$, то нашли бы, что предѣльный подпоръ: 0,60 с. наступаетъ по прошествіи 6374 сек., что также менѣе 2 часовъ. Слѣд. остается увеличить діаметръ трубы или настолько поднять высоту насыпи, чтобы можно было допустить подпоръ, отвѣчающій наибольшей возможной скорости 20 ф., или при неудовлетворительныхъ результатахъ перейти къ другому типу искусственнаго сооруженія.

Примѣръ 2-й. Пусть площадь бассейна—4,39 квадратныхъ верстъ, длина—3 версты; уклонъ дна бассейна: $i = 0{,}003$; высота насыпи—3 саж. Слѣдовательно:

$$l = 2{,}6 + 3 \times 3 = 11{,}6 \text{ с.} = 81{,}2 \text{ ф. или } 82 \text{ фута.}$$

Наибольшій допускаемый подпоръ надъ центромъ выходного отверстія:

$$h = \left(1 + \xi + \lambda \frac{l}{d}\right)\frac{v^2}{2g} = \left(1 + 0{,}505 + 0{,}01824 \times \frac{82}{3{,}5}\right)\frac{20^2}{64{,}4} = 12{,}07 \text{ ф.} = 1{,}72 \text{ с.}$$

Если труба длиною $l = 82$ фут. уложена съ уклономъ: $i = 0{,}003$, то допускаемый подпоръ надъ центромъ входного отверстія:

$$1{,}72 \text{ с.} - \frac{82 \text{ ф.} \times 0{,}003}{7} = 1{,}72 \text{ с.} - 0{,}035 \text{ с.} = 1{,}685 \text{ с.}$$

При высотѣ насыпи въ 3 саж. подпоръ 1,685 с. можетъ быть допущенъ, такъ какъ 1,685 саж. $<$ (3 с. — 0,5 с.—0,25 с.).

Наибольшій возможный расходъ чрезъ трубу діаметромъ 3,5 ф. и при скорости $v = 20$ ф.:

$$Q' = 3{,}14 \times \frac{3{,}5^2}{4} \times 20 = 192{,}5 \text{ куб. фут.} = 0{,}56 \text{ куб. саж.}$$

Такъ какъ бассейнъ пологій, то, по нормамъ Köslin'a имѣемъ:

$$Q = 1{,}875 \,.\, F \,.\, L = 1{,}875 \times 4{,}39 \times \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} = 2{,}060 \text{ куб. саж.}$$

Слѣдовательно, *приходъ*—2,06 куб. саж. болѣе возможнаго *расхода*—0,56 куб. саж., и поэтому необходимо еще пзслѣдовать, не можетъ ли помѣститься въ бассейнѣ запасъ воды за время 2-хъ часоваго ливня, не достигая предѣльной высоты подпора 1,685 с. или 1,70 с.

Пусть съемкой найдено, что при:

$h_0 = 0$ . . . . $F_0 =$ 200 кв. саж.
$h_1 = 0{,}30$ . . . . $F_1 =$ 16500 »
$h_2 = 0{,}60$ . . . . $F_2 =$ 63000 »
$h_3 = 0{,}90$ . . . . $F_3 =$ 139500 »
$h_4 = 1{,}20$ . . . . $F_4 =$ 246000 »
$h_5 = 1{,}50$ . . . . $F_5 =$ 382500 »
$h_6 = 1{,}80$ . . . . $F_6 =$ 549000 »

$$Q = 2{,}16 \text{ куб. саж.}; \qquad \mu = \frac{1}{1 + \xi + \lambda \frac{l}{d}} = \frac{1}{1{,}932} = 0{,}52;$$

$$\omega = 0{,}196 \text{ кв. саж.}; \qquad 2g = 64{,}4 \text{ фут.} = 9{,}2 \text{ саж.};$$

$$\mu \,.\, \omega \,.\, \sqrt{2g} = 0{,}52 \times 0{,}196 \sqrt{9{,}2} = 0{,}309.$$

Но, въ виду того, что t не должно быть менѣе 7200 сек., легко видѣть, что достаточно по-

вѣрить время наполненія только двухъ или трехъ нижнихъ слоевъ. Тогда для двухъ слоевъ:

$$t = \frac{0,6}{3\sqrt{2}}\left[\frac{200}{2,06} + \frac{4\times 16500}{2,06 - 0,309\sqrt{0,3}} + \frac{63000}{2,06 - 0,309\sqrt{0,6}}\right].$$

$$= 0,1\ \{97 + 34.902 + 34.595\} = 6.959 \text{ сек.},$$

что менѣе 7200. Разсмотримъ три слоя:

$$t = \frac{0,9}{8}\left[\frac{200}{2,06} + \frac{3\times 16.500}{2,06 - 0,309\sqrt{0,3}} + \frac{3\times 63.000}{2,06 - 0,309\sqrt{0,6}} + \right.$$

$$\left. + \frac{139.500}{2,06 - 0,309\sqrt{0,9}}\right] = 0,112\ \{97 + 26.190 + 103.850 + 78.950\} = 23.418 \text{ сек.},$$

что уже болѣе 2 часовъ. Слѣдовательно, вода поднимается передъ трубой на высоту болѣе 0,60 с. и менѣе 0,90 с., что во всякомъ случаѣ менѣе предѣла 1,685 саж.

Изъ этихъ примѣровъ видно, что несмотря на то, что приходъ воды можетъ быть значительно болѣе наибольшаго возможнаго расхода чрезъ чугунную трубу, эта послѣдняя, въ зависимости отъ очертанія бассейна, будетъ работать въ крайнемъ случаѣ при подпорѣ даже значительно менѣе предѣльнаго. Слѣдовательно, въ пологихъ равнинахъ, въ болотистыхъ ровныхъ мѣстахъ при значительной величинѣ бассейна, чугунныя трубы въ извѣстныхъ случаяхъ могутъ быть вполнѣ умѣстны.

Если бы въ предыдущемъ примѣрѣ высота насыпи была всего 1,20 с., то укладку чугунной трубы діаметромъ 0,50 с. нельзя было бы допустить, такъ какъ предѣльное возвышеніе надъ центромъ входного отверстія: 1,20 с. — 0,50 с. — 0,25 с. — 0,035 с. = 0,415 с., что недостаточно; подпоръ, при двухчасовомъ ливнѣ, какъ найдено, будетъ $> 0,6$ с. и $< 0,9$ с. Оставалось бы поставить двѣ трубы, увеличивая въ случаѣ нужды діаметръ до $d = 0,75$ с. Если эти мѣры нежелательны или привели бы также къ неудовлетворительнымъ результатамъ, то оставалось бы построить открытый мостикъ.

Найдемъ отверстіе моста:

$$Q = 2,06 \text{ куб. саж.} = 2,06 \times 9,72 = 20 \text{ куб. метр.}$$

По Базену:

$$v^2 = \frac{Ri}{0,00028\left(1 + \frac{1,25}{R}\right)};$$

кромѣ того:

$$Q = \omega \,.\, v = 20 \text{ куб. метрамъ.}$$

Этому удовлетворяетъ довольно близко высота слоя въ 0,25 метра:

$$\omega = (64 + 125)\,.\,0,25 = 47,25 \text{ квадр. метра;}$$

$$p = 64 + 250 = 314;$$

$$R = \frac{\omega}{p} = \frac{47,25}{314} = 0,15;$$

$$Ri = 0,15 \times 0,003 = 0,00045;$$

$$\frac{1,25}{R} = \frac{1,25}{0,15} = 8,3;$$

$$v^2 = \frac{0,00045}{0,00260} = 0,176;$$

$$v = 0,416;$$

$$Q = \omega \,.\, v = 47,25 \times 0,416 = 19,66 \text{ куб. метра вмѣсто 20 куб. метра.}$$

Слѣдовательно, выражая все въ футахъ:

$$Q = 2{,}06 \text{ куб. с.} = 707 \text{ куб. фут.}; \; a = 0{,}25 \text{ метр.} = 0{,}82 \text{ фута.}$$

При каменномъ лоткѣ допускается скорость: $v = 14$ фут. Слѣдовательно, допускаемый подпоръ:

$$h = \frac{v^2}{2g} = \frac{14^2}{64{,}4} = 3{,}04 \text{ фута.}$$

По приближенной формулѣ, при скорости подхода $c = 0$, отверстіе моста:

$$b = \frac{Q}{\mu \cdot \sqrt{2gh}\left(\frac{2}{3}h + a\right)} = \frac{707}{0{,}9\sqrt{64{,}4 \times 3{,}04}\left(\frac{2}{3} \times 3{,}04 + 0{,}82\right)} = 19{,}74 \text{ ф.} = 2{,}82 \text{ с.}$$

Слѣдовательно, гдѣ для высокой насыпи достаточно было бы уложить чугунную трубу отверстіемъ 0,50 с., тамъ при низкой насыпи необходимъ открытый мостикъ отверстіемъ 3,00 саж.

Заставляя чугунную трубу работать подъ напоромъ значительное время, необходимо укладку трубы произвести такъ (о чемъ будетъ сказано въ своемъ мѣстѣ), чтобы звенья не могли быть вынесены, и, кромѣ того, покрыть откосы насыпи непроницаемымъ для воды слоемъ глины.

Примѣръ 3-ій. Пусть длина бассейна 1,00 вер.; площадь бассейна: $F = 0{,}35$ кв. вер.; длина трубы подъ станціоннымъ путями: $l = 50{,}4$ с. $= 107{,}6$ мет.; уклонъ оврага и трубы: $i = 0{,}07$: діаметръ трубы: $d = 0{,}50$ с. $= 1{,}067$ мет. или 1,07 мет.; высота насыпи у входного отверстія; 1,00 с. $= 2{,}134$ мет. Наибольшій приходъ къ трубѣ по Köstlin'у (см. стр. 157):

$$Q \text{ куб. саж.} = 1{,}875 \times F \times L = 1{,}875 \times 0{,}35 \times \frac{1}{2} = 0{,}32 \text{ куб. саж.} = 3{,}1 \text{ куб. мет.}$$

Если предположить, что вода будетъ протекать полнымъ сѣченіемъ, то въ зависимости отъ высоты насыпи возможный допускаемый подпоръ надъ центромъ входного отверстія:

$$2{,}134 - 1{,}067 \text{ мет.} - \frac{1{,}067}{2} = 0{,}534 \text{ мет.};$$

возможный допускаемый подпоръ надъ центромъ выходного отверстія:

$$h \text{ мет.} = 0{,}534 \text{ мет.} + i \cdot l = 0{,}534 \text{ мет.} + 0{,}07 \times 107{,}6 = 8{,}066 \text{ мет.}$$

Наибольшая возможная скорость опредѣлится по формулѣ:

$$v = \sqrt{\frac{2gh}{1 + \xi + \lambda \cdot \frac{l}{d}}},$$

гдѣ по Вейсбаху:

$$\lambda = 0{,}01439 + \frac{0{,}0094711}{\sqrt{v \text{ мет.}}}.$$

Примемъ для перваго приближенія: $v = 20$ ф. $= 6{,}1$ мет. Слѣдовательно:

$$\lambda = 0{,}01439 + \frac{0{,}0094711}{\sqrt{6{,}1}} = 0{,}01823,$$

$$v = \sqrt{\frac{2 \times 9{,}81 \times 8{,}066}{1 + 0{,}505 + 0{,}01823 \times \frac{107{,}6}{1{,}07}}} = 6{,}88 \text{ мет.}$$

При второмъ приближеніи:

$$\lambda = 0{,}01439 + \frac{0{,}0094711}{\sqrt{6{,}88}} = 0{,}018.$$

Слѣдовательно:

$$v = \sqrt{\frac{2 \times 9{,}81 \times 8{,}066}{1{,}505 + 0{,}018 \times \frac{107{,}6}{1{,}07}}} = 6{,}91 \text{ мет.} = 3{,}23 \text{ саж.}$$

Поэтому наибольшій возможный расходъ:

$$Q = \frac{\pi d^2}{4} \times v = 3{,}14 \times \frac{\overline{1{,}067}^2}{4} \times 6{,}91 = 6{,}18 \text{ куб. мет.}$$

Наибольшій же приходъ всего: 3,1 куб. мет. А такъ какъ при скорости: $v = 6{,}91$ мет., подпоръ надъ центромъ входного отверстія: 0,534 мет., т. е. вода только что покрываетъ все отверстіе трубы, то, очевидно, въ данномъ случаѣ вода никогда не пойдетъ полнымъ сѣченіемъ.

Остается опредѣлить глубину потока въ трубѣ при протеканіи неполнымъ сѣченіемъ и скорость протеканія. Рѣшая для сего ощупью совмѣстно уравненія:

$$Q = \omega \,.\, v; \quad v = c \sqrt{\frac{\omega}{p} \,.\, i},$$

гдѣ $Q = 3{,}1$ куб. мет.,

$$\omega = r^2 \,(\alpha - \sin\alpha \,\cos\alpha) \text{ (рис. 303)},$$

$$p = 2r\alpha;$$

и по Шези-Дарси-Базену:

$$c = \sqrt{\frac{1}{0{,}00015 \left(1 + 0{,}03 \,.\, \frac{p}{\omega}\right)}},$$

найдемъ, что этому удовлетворяетъ съ достаточнымъ приближеніемъ значеніе: $\alpha = 80°$. Дѣйствительно:

$$\omega = r^2 \,(\alpha - \sin\alpha \,.\, \cos\alpha) = \overline{0{,}534}^2 \,(1{,}396 - 0{,}985 \quad 0{,}174) = 0{,}349 \text{ кв. мет.}$$

$$p = 2 \,.\, r \,.\, \alpha = 2 \times 0{,}534 \times 1{,}396 = 1{,}49 \text{ мет.}$$

$$c = \sqrt{\frac{1}{0{,}00015 \left(1 + 0{,}03 \times \frac{1{,}49}{0{,}34\,9}\right)}} = 76{,}89;$$

$$v = 76{,}89 \sqrt{\frac{0{,}349}{1{,}49} \times 0{,}07} = 9{,}84 \text{ мет.};$$

$$Q = \omega \,.\, v = 0{,}349 \times 9{,}84 = 3{,}43 \text{ куб. мет.}$$

Расходъ нѣсколько болѣе, чѣмъ $Q = 3{,}1$, но скорость: $v = 9{,}84$ мет. болѣе допускаемаго предѣла: 30 ф. = 9,146 мет.

Въ виду сего трубу необходимо уложить съ меньшимъ уклономъ. Пусть $i = 0{,}055$; тогда:

$$v = 76{,}92 \sqrt{\frac{0{,}349}{1{,}49} \times 0{,}055} = 8{,}73 \text{ мет.}$$

$$Q = \omega \,.\, v = 0{,}349 \times 8{,}73 = 3{,}05 \text{ куб. мет.}$$

Примѣняя же формулу Ganguillet и Kutter'a:

$$c = \frac{23 + \frac{1}{n} + \frac{0{,}00155}{i}}{1 + \left(23 + \frac{0{,}00155}{i}\right) \frac{n}{\sqrt{\frac{\omega}{p}}}} = \frac{23 + \frac{1}{0{,}01} + \frac{0{,}00155}{0{,}055}}{1 + \left(23 + \frac{0{,}00155}{0{,}055}\right) \frac{0{,}01}{\sqrt{\frac{0{,}349}{1{,}49}}}} = 83{,}3,$$

получаемъ:

$$v = 83{,}3 \sqrt{\frac{0{,}349}{1{,}49} \times 0{,}055} = 9{,}46 \text{ мет.},$$

$$Q = \omega \,.\, v = 0{,}349 \times 9{,}46 = 3{,}30 \text{ куб. мет.}$$

Въ среднемъ:

$$v = \frac{8{,}73 + 9{,}46}{2} = 9{,}09 \text{ мет.},$$

что менѣе предѣла $v = 9{,}146$ мет., и

$$Q = \frac{3{,}05 + 3{,}30}{2} = 3{,}175 \text{ куб. мет.},$$

что не многимъ превосходитъ $Q = 3{,}1$ куб. мет.

Такимъ образомъ въ данномъ случаѣ необходимо уложить трубу съ уклономъ $i = 0{,}055$, при чемъ скорость протеканія: $v = 9{,}09$ мет., и вода поднимется лишь до высоты:

$$r - r\cos\alpha = r\,(1 - 0{,}174) = 0{,}826\,r = 0{,}413\,d.$$

Мѣры предосторожности противъ заполненія отверстій трубъ наносами. При осмотрѣ овраговъ слѣдуетъ обращать вниманіе на характеръ ложа и состояніе откосовъ, чтобы судить о томъ, можно ли ожидать паносовъ или нѣтъ. Въ этихъ случаяхъ недостаточно знанія одного наибольшаго расхода воды, опредѣляемаго по количеству выпадающаго дождя и проч. Расходъ этотъ можетъ значительно увеличиться отъ присутствія крупнаго наноса. Если нельзя предотвратить доступъ этихъ наносовъ къ искусственному сооруженію, то при опредѣленіи отверстій слѣдуетъ брать ихъ въ расчетъ. При значительномъ уклонѣ полезно увеличивать отверстіе: при незначительномъ уклонѣ увеличеніе отверстія можетъ быть, напротивъ, опасно, такъ какъ оно будетъ способствовать еще бо́льшему отложенію наносовъ, и въ такихъ случаяхъ остается только поднять высоту полотна, если она недостаточна. Тоже самое слѣдуетъ сказать и о горныхъ рѣкахъ (напримѣръ, на Кавказѣ), влекущихъ достаточное количество наносовъ. Лучше задерживать наносы въ мѣстахъ ихъ образованія устройствомъ особыхъ сквозныхъ плотинъ (Schotterfänge) или укрѣпленіемъ откосовъ овраговъ разсадкою и проч. Подобно тому, какъ общій расходъ воды и наносовъ уменьшается задержаніемъ этихъ послѣднихъ, въ извѣстныхъ случаяхъ, какъ, напримѣръ, въ горныхъ потокахъ, полезно умепьшать временно расходъ воды устройствомъ особыхъ собирательныхъ резервуаровъ. Вообще слѣдуетъ признать правиломъ, что чугунныя трубы или каменныя трубы небольшихъ отверстій не должны быть устраиваемы въ тѣхъ мѣстахъ, гдѣ предвидится большое количество паносовъ. Трубы забиваются пескомъ и перестаютъ дѣйствовать, что можетъ привести къ гибельнымъ послѣдствіямъ.

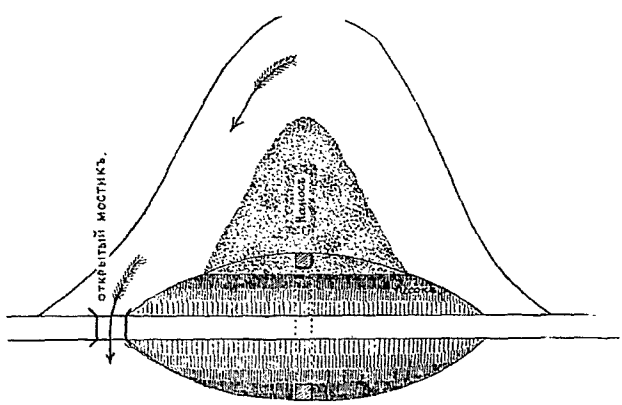


Рис. 304.

Подобное сплошное заполненіе трубы (чугунной) имѣло мѣсто на Тамбово-Саратовской и Харьково-Николаевской желѣзныхъ дорогахъ; на первой изъ нихъ

отложеніе наносовъ въ оврагѣ поднялось на 0,90 с. выше трубы. Въ настоящее время входное и выходное отверстія трубы задѣланы каменной кладкой, и въ сторонѣ построенъ открытый мостикъ, отверстіемъ 2,00 с., для пропуска воды сквозь полотно дороги (рис. 304).

На Харьково-Николаевской желѣзной дорогѣ (рис. 305), благодаря значительной высотѣ насыпи и возможности скопленія воды предъ полотномъ дороги въ большомъ количествѣ, признано было удобнѣе, расчистивъ трубу, устроить

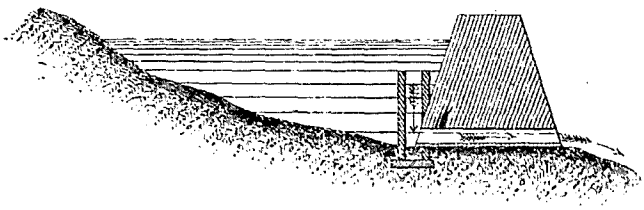


Рис. 305.

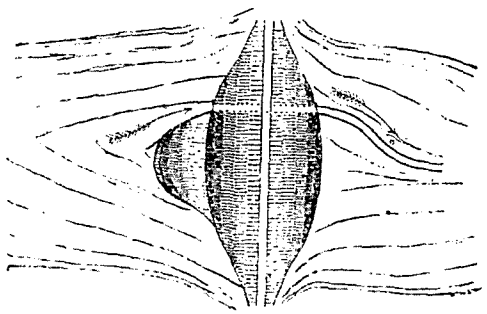


Рис. 306.

съ входной стороны вертикальную каменную трубу: при такомъ устройствѣ наносы складываются на днѣ оврага передъ насыпью, и въ чугунную трубу попадаетъ лишь отстоявшаяся чистая вода.

Для уменьшенія длины какъ чугунныхъ, такъ и каменныхъ трубъ, полезно выносить ихъ изъ наиболѣе пониженнаго мѣста оврага, съ устройствомъ съ верховой стороны подсыпной бермы и подводящаго русла, а съ низовой—выводного русла (рис. 306). Такое расположеніе выгодно еще въ другомъ отношеніи, а именно—оно сберегаетъ расходы по устройству дорогого основанія, въ виду того, что по откосамъ оврага грунтъ болѣе крѣпкій, чѣмъ въ пониженной части оврага.

Выборъ наивыгоднѣйшей величины пролета.

Общія соображенія. Опредѣленіе наивыгоднѣйшей величины пролета, перекрытаго каменными арками и балочными фермами: разрѣзными, неразрѣзными и системы Гербера. Примѣры.

Общія соображенія. Относительная величина пролетовъ при данномъ полномъ отверстіи моста зависитъ отъ мѣстныхъ условій, т. е. отъ глубины рѣки, положенія фарватера, отъ грунта ложа рѣки и отъ предѣла, допускаемаго системою и матеріаломъ пролетной части моста. На рѣкѣ несудоходной, неглубокой и неподверженной въ то же время ни сильнымъ паводкамъ, ни ледоходу, даютъ преимущество малымъ пролетамъ, если только свойства дна рѣки не вовлекутъ въ значительные расходы по устройству опоръ моста. Если же рѣка судоходна и подвержена сильному ледоходу и большимъ поднятіямъ горизонта воды, то останавливаются на большихъ пролетахъ. При большомъ скопленіи льда и малыхъ пролетахъ могутъ образоваться передъ мостомъ такъ называемыя зажоры, сопровождающіяся быстрымъ и значительнымъ поднятіемъ горизонта; при прорывѣ зажоры отъ напора, вода устремляется въ пролеты съ громадной скоростью, что можетъ быть не безопаснымъ для устойчивости опоръ.

Образованію зажоръ особенно благопріятствуютъ условія, въ которыхъ находятся Сибирскія рѣки, а именно—болѣе раннее вскрытіе верховьевъ рѣкъ

(рѣки текутъ съ юга на сѣверъ), обиліе отмелей и острововъ, задерживающихъ льдины. Первая причина способствуетъ тому, что верховыя льдины частью нагромождаются, частью подплываютъ подъ неподвижный низовый ледъ, образуя зажору; иногда верховыя воды настолько обильны, что, взламывая и приподнимая низовый ледъ, онѣ вызываютъ появленіе льдинъ площадью въ нѣсколько десятинъ. Всѣ эти причины требуютъ не столько значительнаго общаго отверстія моста, сколько значительныхъ отдѣльныхъ пролетовъ. Такъ, напримѣръ, для моста черезъ рѣку Енисей величина отдѣльныхъ пролетовъ назначена въ 65 саженъ.

Промежуточныя опоры стараются всегда располагать такъ, чтобы онѣ оставляли свободнымъ главный фарватеръ, и, слѣдовательно, если этотъ послѣдній находится на серединѣ рѣки, то число пролетовъ обыкновенно нечетное.

Кромѣ того величина пролетовъ должна быть сообразована съ наибольшей шириной, а иногда и длиной трудно управляемыхъ плотовъ, бѣлянъ и проч. Она находится также въ зависимости отъ системы и матеріала пролетныхъ частей моста, отъ профили очертанія дна; такъ, напримѣръ, нѣкоторыя изъ промежуточныхъ опоръ помѣщаютъ въ опредѣленныхъ мѣстахъ, выгодныхъ въ отношеніи дешевизны заложенія основанія и проч.

Нѣтъ надобности всѣ пролеты дѣлать одинаковыми. Иногда, для мѣньшаго стѣсненія живого сѣченія въ главномъ руслѣ и для удобства судоходства, одинъ или нѣсколько среднихъ пролетовъ дѣлаютъ одного размѣра, а остальные береговые пролеты—меньшихъ размѣровъ.

Приведемъ выписку изъ цирнуляра Департ. Шосс. и Вод. Сообщ. 1897 г. № 39 относительно правилъ, которыми слѣдуетъ руководствоваться при назначеніи величины отдѣльныхъ пролетовъ на судоходныхъ рѣкахъ.

1. Относительно числа и расположенія судо- и плото-ходныхъ пролетовъ.

а) Мостъ долженъ имѣть такое число судо- и плото-ходныхъ пролетовъ, которое соотвѣтствуетъ условіямъ безопаснаго и безпрепятственнаго судоходства и сплава по существующимъ и необходимымъ направленіямъ ходовъ, какъ во время межени, такъ и во время высокихъ водъ.

б) Одинъ пролетъ можетъ вмѣщать въ себѣ или одинъ судовый, или плотовый ходъ, или, при соотвѣтственно большихъ размѣрахъ, два одновременныхъ, сопредѣльныхъ хода; средина пролета должна находиться въ первомъ случаѣ на оси хода, во второмъ—на линіи, разграничивающей ходы.

в) Оси и боковыя грани опоръ, ограничивающихъ судо- и плото-ходные пролеты, должны быть параллельны направленію теченія и осямъ ходовъ, и въ случаѣ перевала хода выше моста отъ одного берега къ другому, мостъ долженъ быть расположенъ ниже точки начала поворота судовъ на другой ходъ на такомъ отъ этой точки разстояніи, которое соотвѣтствуетъ возможности безопаснаго перевала сплавныхъ судовъ.

г) Если требованія пункта *в* въ избранномъ для постройки моста мѣстѣ естественными условіями рѣки не удовлетворяются, то должны быть удовлетворены посредствомъ соотвѣтственныхъ выправительныхъ работъ въ предѣлахъ меженнихъ горизонтовъ и посредствомъ струенаправляющихъ сооруженій для высокихъ водъ выше моста.

д) Для возможности сужденія о соотвѣтствіи моста всѣмъ вышеприведеннымъ требованіямъ, проектъ моста долженъ сопровождаться планомъ русла и долины рѣки на достаточномъ протяженіи съ верховой и низовой сторонъ моста, съ показаніемъ на немъ: границъ коренного русла, линіи наибольшихъ глубинъ въ немъ, линій судовыхъ и плотовыхъ ходовъ, весеннихъ протоковъ, границъ разлива, расположенія моста и его пролетовъ.

2. Относительно возвышенія низа фермъ надъ судоходнымъ горизонтомъ и ширины пролетовъ между опорами.

а) Въ судоходныхъ пролетахъ мостовъ деревянныхъ, съ деревянными опорами, низъ фермъ на наибольшей ширинѣ надводнаго габарита судовъ и плотовъ долженъ возвышаться надъ наивысшимъ

судоходнымъ горизонтомъ не менѣе увеличенной 2 футами наибольшей высоты надводнаго габарита (отъ ватерлиніи) судовъ и плотовъ, а разстояніе между опорами въ свѣту должно быть не менѣе увеличенной на 1 саж. наибольшей ширины судовъ и плотовъ.

б) Въ судоходныхъ пролетахъ мостовъ съ каменными опорами возвышеніе низа фермъ надъ наивысшимъ судоходнымъ горизонтомъ въ предѣлахъ средней 10-ти саженной ширины каждаго судоходнаго пролета должны быть не менѣе 16,5 футъ и не менѣе увеличенной на 1 фута наибольшей высоты надводнаго габарита (надъ ватерлиніей) судовъ, а разстояніе между опорами въ свѣту должно быть не менѣе требуемаго по мѣстнымъ условіямъ судоходства и во всякомъ случаѣ не менѣе 15 саж.

в) Если приведенныя требованія относительно возвышенія низа фермъ надъ наивысшимъ судоходнымъ горизонтомъ не могутъ быть удовлетворены, то въ мостѣ должна быть устраиваема разводная часть, при чемъ ширина ея пролета, т. е. чистое разстояніе между наружными гранями опоръ должно быть: при деревянныхъ опорахъ не менѣе увеличенной на 0,50 саж. наибольшей ширины судовъ, а при каменныхъ опорахъ не менѣе увеличенной на 2 саж. наибольшей ширины судовъ и не менѣе 15 саж.

3. Относительно стѣсненія русла рѣки.

а) Въ коренномъ руслѣ рѣки въ предѣлахъ урѣзовъ высокихъ водъ, если воды эти не выходятъ изъ береговъ, и въ предѣлахъ всей ширины коренного русла, если высокія воды выходятъ изъ береговъ, должны быть размѣщаемы лишь опоры, необходимыя для поддержанія моста, и никакихъ постоянныхъ глухихъ загражденій для высокихъ водъ не должно быть возводимо, и

б) Если рѣка во время высокихъ водъ выходитъ изъ береговъ коренного русла, то на поемныхъ берегахъ его должны быть устраиваемы съ верховой и съ низовой стороны моста соотвѣтственныя струенаправляющія сооруженія, для правильнаго направленія теченія воды подъ мостъ и ниже его.

Опредѣленіе наивыгоднѣйшаго пролета каменныхъ арочныхъ мостовъ. Для *каменныхъ арочныхъ* мостовъ подъ два пути предложены Мейеромъ *) слѣдующія формулы (въ метрахъ):

$$\left.\begin{aligned} l &= \sqrt{\frac{P}{1{,}25\,k}} \text{ — для полуцпркульныхъ сводовъ} \\ l &= \sqrt{\frac{P}{1{,}1\,k}} \text{ — для сводовъ съ подъемомъ въ } {}^1/_7 \end{aligned}\right\}, \quad . \quad . \quad (20)$$

гдѣ P стоимость опоры, а k — стопмость кубическаго метра сводчатой кладки.

По Hoffmann'у **) для каменныхъ арочныхъ мостовъ подъ одинъ путь всего шириною 4 метра:

$$l = \sqrt{\frac{P}{0{,}165 + 0{,}104\,k}}$$

Для моетовъ подъ два пути всего шириною 8 метровъ:

$$l = \sqrt{\frac{P}{0{,}245 + 0{,}208\,k}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (21)$$

По Винклеру, если H — высота опоры, то наивыгоднѣйшій пролетъ:

$$l \text{ мет.} = 4 + 0{,}4\,H.$$

Опредѣленіе наивыгоднѣйшей величины пролета, перекрытаго балочными фермами: разрѣзными и неразрѣзными. Эмпирическія формулы для металлическихъ віадуковъ. Стоимость пролетныхъ частей тѣмъ выше, а стоимость опоръ тѣмъ меньше, чѣмъ значительнѣе отдѣльные пролеты, и обратно. Слѣдовательно,

*) Deutsche Bauzeitung. 1874 г.
**) Zeitschrift des Architecten und Ingenieur Vereins für das Königreich Hannover 1878 г.

размѣры пролетовъ слѣдуетъ сообразовать такъ, чтобы общая сумма расходовъ составляла minimum.

Пусть, напримѣръ, для мостовъ съ пролетными частями *балочной системы*.

L—общее отверстіе моста;

l—наивыгоднѣйшая величина пролета;

$Cl + F$—собственный вѣсъ (металла) пролетныхъ частей на погонную единицу (Cl—вѣсъ главныхъ фермъ, F—вѣсъ проѣзжей части);

k—стоимость единицы вѣса матеріала въ пролетныхъ частяхъ моста;

P—стоимость одной опоры;

тогда полный расходъ:

$$u = (Cl + F)\,L.k + \left(\frac{L}{l} + 1\right) P.$$

Приравниваемъ нулю производную по l:

$$\frac{du}{dl} = CL.k - \frac{PL}{l^2} = 0, \text{ откуда: } l = \sqrt{\frac{P}{C.k}}\ ^{*}). \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (22)$$

Такъ, напримѣръ, если пролеты выражены въ футахъ и вѣсъ въ пудахъ, то среднее значеніе коэффиціента C для желѣзнодорожныхъ мостовъ: $C = 0{,}20$. Если далѣе стоимость пуда желѣза въ дѣлѣ—около 4,5 руб., стоимость опоры—100000 руб., то наивыгоднѣйшій пролетъ:

$$l = \sqrt{\frac{100000}{0{,}2 \times 4{,}5}} = \sqrt{\frac{100000}{0{,}9}} = \sqrt{111111} = 333 \text{ ф.} = 47{,}6 \text{ саж.}$$

[Для примѣрныхъ расчетовъ въ примѣненіи къ однопутнымъ желѣзнодорожнымъ мостамъ, наивыгоднѣйшій пролетъ въ футахъ равенъ $\sqrt{\ }$ изъ числа, выражающаго стоимость опоры въ рубляхъ].

Если очертаніе поперечной профили рѣки таково, что глубина заложенія и, слѣдовательно, высота опоръ неодинаковы, то можно разбить общее отверстіе моста на нѣсколько болѣе или менѣе однородныхъ частей и для каждой такой части опредѣлить наивыгоднѣйшій пролетъ. Такимъ образомъ, при трудно-размываемомъ грунтѣ, пролеты въ предѣлахъ разлива, меньшіе по сравненію съ пролетами въ главномъ руслѣ, отвѣчаютъ вмѣстѣ съ тѣмъ и болѣе экономическому рѣшенію вопроса.

Тотъ же пріемъ очевидно относится, при соотвѣтственномъ измѣненіи значенія коэффиціентовъ, и къ опредѣленію наивыгоднѣйшаго пролета въ случаѣ примѣненія деревянныхъ пролетныхъ частей на каменныхъ или деревянныхъ опорахъ или металлическихъ пролетныхъ частей на *металлическихъ* опорахъ на каменномъ фундаментѣ. Помимо сего для послѣдняго типа предложены эмпирическія формулы, дающія прямо значенія наивыгоднѣйшаго пролета въ зависимости отъ

---

*) Вставляя это значеніе l въ выраженіе u, получимъ:

$$u = \left(C.\sqrt{\frac{P}{C.k}} + F\right) L.k + \left(L\sqrt{\frac{C.k}{P}} + 1\right) P = L\sqrt{PC.k} + LFk + L\sqrt{PC.k} + P,$$

то-есть при наивыгоднѣйшемъ пролетѣ стоимость главныхъ фермъ должна равняться стоимости всѣхъ опоръ безъ одной, или, что то же, стоимость *главныхъ* фермъ въ *одномъ* пролетѣ должна равняться стоимости *одной* опоры.

высоты металлической опоры. Такъ напр., Вейсомъ предложены слѣдующія формулы:

$$\left.\begin{aligned} l \text{ мет.} &= 20{,}8 \sqrt{\frac{X.H}{1 - 9{,}7\frac{X.H}{L}}} \\ \text{для одпопутныхъ віадуковъ и} \\ l \text{ мет.} &= 15{,}6 \sqrt{\frac{X.H}{1 - 9{,}7\frac{X.H}{L}}} \\ \text{для двухпутныхъ віадуковъ.} \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots (23)$$

Въ приведенныхъ формулахъ: L — вся длина віадука или моста: H — высота опоръ; $X = \frac{M}{E}$ — отношеніе стоимости 1 куб. метра кладки въ фундаментѣ къ стоимости 1 тонны пролетныхъ частей моста.

По другимъ формуламъ наивыгоднѣйшій пролетъ для одиопутнаго віадука:

$$\left.\begin{aligned} l \text{ мет.} &= H \sqrt{\frac{0{,}017 + \frac{F}{E.H^2}}{0{,}035 - 0{,}0504\frac{H}{L}}}; \\ \text{для двухпутнаго віадука:} \\ l \text{ мет.} &= H \sqrt{\frac{0{,}023 + \frac{F}{E.H^2}}{0{,}07 - 0{,}069\frac{H}{L}}}, \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots (24)$$

гдѣ F — стоимость каменнаго фундамента въ опорѣ; остальныя значенія — прежнія.

Если віадукъ американскаго типа, т. е. металлическія опоры состоятъ изъ четырехъ реберъ, опирающихся на четыре каменные столба, при чемъ ребра по фасаду віадука взаимно параллельны и раздвинуты на величину около 30 ф., то по Johnson'у наивыгоднѣйшая величина пролета измѣряемая между осями двухъ такихъ опоръ:

$$l_1 \text{ ф.} = \sqrt{\frac{21{,}200}{9 - \frac{h}{25}}},$$

гдѣ h — высота металлической опоры въ футахъ.

Выводъ формулы слѣдующій. Вѣсъ металла въ пролетныхъ частяхъ на погон. футъ одиночнаго пути: p фунт. $= 9l + 110$; вѣсъ металлической опоры высотою h, при величинѣ пролета l, на погон. футъ одиночнаго пути: W фунт. $= 10{,}3\,h - \frac{h.l}{25}$. Если предположить, что ребра опоръ раздвинуты по фасаду на 30 ф., а l — чистое отверстіе между крайними ребрами двухъ смежныхъ опоръ, такъ что $l_1 = l + 30$ ф. будетъ разстояніе въ футахъ между осями двухъ опоръ, то вѣсъ металла въ пролетныхъ частяхъ и въ опорѣ на пог. футъ пути, при величинѣ пролета l_1 будетъ:

$$p_1 \text{ фунт.} = \frac{\{9\,(l_1 - 30) + 110\}\,(l_1 - 30)}{l_1} + \frac{(9 \times 30 + 110) \times 30}{l_1} + 10{,}3\,h - \frac{h l_1}{25} =$$

$$= \frac{(9l_1 - 160)(l_1 - 30)}{l_1} + \frac{380 \times 30}{l_1} + 10{,}3h - \frac{hl_1}{25} =$$

$$= 9l_1 - 430 + \frac{16200}{l_1} + 10{,}3h - \frac{hl_1}{35}.$$

Если далѣе предположить, что стоимость четырехъ каменныхъ столбовъ равна стоимости 5000 фунт. желѣза, то полный приведенный къ стоимости металла вѣсъ віадука на пог. футь пути:

$$p_1 \text{ фунт.} = 9l_1 - 430 + \frac{16200}{l_1} + 10{,}3h - \frac{hl_1}{25} + \frac{5000}{l_1}.$$

Приравнявъ нулю производную по l_1, найдемъ, что:

$$l_1 = \sqrt{\frac{21{,}200}{9 - \frac{h}{25}}}.$$

Такимъ образомъ p_1 min:

для $l_1 = 60$ ф. $= l + 30$ ф. $= 30 + 30$ ф., при $h = 77{,}5$ фут.
» $l_1 = 80$ » $= l + 30$ » $= 50 + 30$ » » $h = 142{,}0$ »
» $l_1 = 100$ » $= l + 30$ » $= 70 + 30$ » » $h = 162$ »

Въ случаѣ *неразрѣзныхъ фермъ*—наивыгоднѣйшее отношеніе пролетовъ: 7 : 8 : 7; 9 : 10 : 10 : 9 и т. д.

Опредѣленіе наивыгоднѣйшаго пролета въ случаѣ примѣненія фермъ системы Гербера. Для *балочныхъ мостовъ системы Гербера* наиболѣе выгодное распредѣленіе общаго отверстія на нѣсколько отдѣльныхъ пролетовъ, съ назначеніемъ соотвѣтственной длины для консолей, можно сдѣлать, если оставить въ сторонѣ стоимость опоръ, исходя изъ условія, чтобы объемъ матеріала въ фермахъ былъ min. Само собою разумѣется, что предварительно, въ зависимости отъ стоимости опоръ, необходимо опредѣлить наиболѣе выгодное среднее значеніе пролета, пользуясь хотя бы вышеприведенной формулой (22): $l = \sqrt{\frac{P}{c \cdot k}}$, а затѣмъ уже видоизмѣнить это значеніе сообразно новымъ условіямъ задавія. Кромѣ того при выборѣ длины консолей слѣдуетъ имѣть въ виду, допускается или нѣтъ *отрицательное* сопротивленіе опоры, при чемъ въ первомъ случаѣ необходимо принять мѣры противъ возможности поднятія конца фермъ при соотвѣтственной загрузкѣ пролетовъ.

Рѣшая предложенную задачу, необходимо имѣть выраженія теоретическаго вѣса свободно опирающихся фермъ, консолей, фермъ со свѣсами и проч.

Найдемъ эти выраженія для нижеуказаннаго примѣра; для другого типа фермъ Гербера, имѣю-

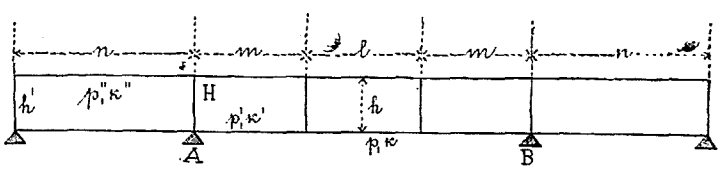


Рис. 307.

щаго въ своемъ составѣ ферму съ двумя свѣсами (рис. 307), слѣдуетъ примѣнить аналогичный выводъ формулъ.

Выведемъ предварительно *выраженія теоретическаго вѣса объема поясовъ и частей рѣшетки въ функціи моментовъ и перерѣзывающихъ усилій.*

Пусть: p, k, p', k', p'' и k''—постоянная и подвижная нагрузки для пролетныхъ частей съ свободными фермами, для консолей и для крайнихъ пролетовъ.

I. *Свободная ферма пролетомъ l.*

а) *Объемъ поясовъ.* Выраженіе момента:

$$(p + k)\frac{x}{2}(l - x).$$

Среднее значеніе момента:

$$M = \int_0^l \frac{(p + k)\frac{x}{2}(l - x)\,dx}{l} = \frac{(p + k)}{2l}\left(l\frac{x^2}{2} - \frac{x^3}{3}\right)_0^l = \frac{(p + k)\,l^2}{12} \quad \ldots \quad (a)$$

Усиліе въ поясѣ:

$$O = \frac{M}{h} = \frac{(p + k)\,l^2}{12h}.$$

Объемъ верхняго и нижняго поясовъ:

$$v_1 = \frac{2\,(p + k)\,l^2}{12\,.\,h\,.\,R}\,.\,l = \frac{(p + k)\,l^3}{6\,.\,R\,.\,h} \quad \ldots \quad (\sigma)$$

б) *Объемъ раскосовъ.* Выраженіе *max.* перерѣзывающаго усилія:

$$p\left(\frac{l}{2} - x\right) + k\frac{(l - x)^2}{2l}.$$

которое распространяется на длину:

$$\lambda = l\left\{\left(1 + \frac{p}{k}\right) - \sqrt{\left(\frac{p}{k}\right)^2 + \left(\frac{p}{k}\right)}\right\} = \frac{(p + k)}{k}\,.\,l\left\{1 - \frac{p}{k}\sqrt{\frac{k + p}{p}}\,.\,\frac{k}{k + p}\right\} =$$

$$= \frac{(p + k)}{k}\,.\,l\left\{1 - \sqrt{\frac{p}{p + k}}\right\}.$$

[При достаточно большихъ пролетахъ: $p = k$; тогда $\lambda = 2l\left(1 - \sqrt{\frac{1}{2}}\right) = 0{,}5858\,l$].

Среднее значеніе *max.* перерѣзывающаго усилія на протяженіи участка λ (рис. 308):

$$\mathfrak{B} = \frac{1}{\lambda}\int_0^\lambda \left[p\left(\frac{l}{2} - x\right) + k\frac{(l - x)^2}{2l}\right]dx = p\left(\frac{l}{2} - \frac{\lambda}{2}\right) + \frac{k}{2l}\left(l^2 - l\lambda + \frac{\lambda^2}{3}\right) \quad \ldots \quad (\beta)$$

Среднее значеніе усилія въ раскосѣ: $\frac{\mathfrak{B}}{\cos\alpha}$. Сѣченіе раскоса: $\frac{\mathfrak{B}}{R\,.\,\cos\alpha}$; объемъ его

$$\frac{\mathfrak{B}}{R\,.\,\cos\alpha}\,.\,S = \frac{\mathfrak{B}}{R\,.\,\cos\alpha}\,.\,\frac{h}{\cos\alpha}.$$

Если панель: $d = h\,tang\,\alpha$, то на протяженіи панели приходится одинъ раскосъ объемомъ $\frac{\mathfrak{B}h}{R\,.\,\cos^2\alpha}$, а на длину, равную единицѣ, объемъ раскоса:

$$\frac{\mathfrak{B}h}{R\,.\,\cos^2\alpha\,.\,d} = \frac{\mathfrak{B}}{R\,.\,\cos^2\alpha\,.\,tang\,\alpha} = \frac{\mathfrak{B}}{R\,.\,\cos\alpha\,.\,\sin\alpha}.$$

На длину λ — объемъ раскосовъ: $\frac{\mathfrak{B}\lambda}{R\,.\,\cos\alpha\,.\,\sin\alpha}$, а на длину, занимаемую раскосами обоихъ па-

правленій, т. е. на 2λ, объемъ раскосовъ:

$$v'_1 = \frac{\mathfrak{P}2\lambda}{R \,.\, \cos\alpha \,.\, \sin\alpha} = \frac{2\lambda}{R \,.\, \cos\alpha \,.\, \sin\alpha} \cdot \left[p\left(\frac{l}{2} - \frac{\lambda}{2}\right) + \frac{k}{2l}\left(l^2 - l\lambda + \frac{\lambda^2}{3}\right)\right].$$

Вставляя вмѣсто λ значеніе его:

$$\lambda = \frac{(p+k)\,l}{k}\left\{1 - \sqrt{\frac{p}{p+k}}\right\}$$

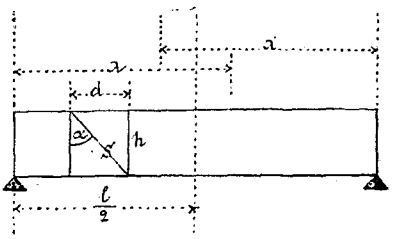


Рис. 308.

и замѣчая, что:

$$l - \lambda = \frac{(p+k)\,l}{k}\sqrt{\frac{p}{p+k}} - \frac{pl}{k};$$

$$l^2 - l\lambda = \frac{(p+k)\,l^2}{k}\sqrt{\frac{p}{p+k}} - \frac{pl^2}{k};$$

$$\frac{\lambda^2}{3} = \frac{1}{3}\left(\frac{p+k}{k}\right)^2 . l^2\left(1 - 2\sqrt{\frac{p}{p+k}} + \frac{p}{p+k}\right);$$

$$p\,(l-\lambda) + \frac{k}{l}\left(l^2 - l\lambda + \frac{\lambda^2}{3}\right) = p\,\frac{(p+k)\,l}{k}\sqrt{\frac{p}{p+k}} - \frac{p^2 l}{k} + (p+k)\,l\sqrt{\frac{p}{p+k}} - pl +$$

$$+ \frac{1}{3}(p+k)^2 \,.\, \frac{l}{k}\left(1 - 2\sqrt{\frac{p}{p+k}} + \frac{p}{p+k}\right) = \frac{(p+k)\,l}{k}\left[p\sqrt{\frac{p}{p+k}} - \frac{p^2}{p+k} + \right.$$

$$\left. + k\sqrt{\frac{p}{p+k}} - \frac{p\,.\,k}{p+k} + \frac{(p+k)}{3}\left(1 - 2\sqrt{\frac{p}{p+k}} + \frac{p}{p+k}\right)\right] =$$

$$= \frac{(p+k)\,l}{k}\left[\frac{p}{3}\sqrt{\frac{p}{p+k}} - \frac{p}{3} + \frac{k}{3} + \frac{k}{3}\sqrt{\frac{p}{p+k}}\right],$$

получимъ:

$$v'_1 = \frac{\lambda}{R \,.\, \cos\alpha \,.\, \sin\alpha}\left[p\,(l-\lambda) + \frac{k}{l}\left(l^2 - l\lambda + \frac{\lambda^2}{3}\right)\right] =$$

$$= \frac{1}{R \,.\, \cos\alpha \,.\, \sin\alpha} \cdot \left(\frac{p+k}{k}\right)^2 . l^2\left\{\frac{p}{3}\sqrt{\frac{p}{p+k}} - \frac{p}{3} + \frac{k}{3} + \frac{k}{3}\sqrt{\frac{p}{p+k}} - \frac{p}{3} \cdot \frac{p}{(p+k)} + \right.$$

$$\left. + \frac{p}{3}\sqrt{\frac{p}{p+k}} - \frac{k}{3}\sqrt{\frac{p}{p+k}} - \frac{k}{3} \cdot \frac{p}{(p+k)}\right\} = \frac{1}{R \,.\, \cos\alpha \,.\, \sin\alpha} \cdot \left(\frac{p+k}{k}\right)^2 \times$$

$$\times\, l^2\left\{\frac{2}{3}p\sqrt{\frac{p}{p+k}} - \frac{p}{3} - \frac{p^2}{3\,(p+k)} + \frac{k^2}{3\,(p+k)}\right\} =$$

$$= \frac{1}{R \,.\, \cos\alpha \,.\, \sin\alpha}\left(\frac{p+k}{k}\right)^2 . l^2\left\{\frac{2}{3}p\sqrt{\frac{p}{p+k}} - \frac{2p}{3} + \frac{k}{3}\right\} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

[При достаточно большихъ пролетахъ: $p = k$; тогда:

$$v_1' = \frac{1}{R \,.\, \cos\alpha \,.\, \sin\alpha} \cdot \frac{4}{3}pl^2(2\sqrt{0{,}5} - 1) = \frac{1}{R \,.\, \cos\alpha \,.\, \sin\alpha} \,.\, 0{,}55228\,pl^2\Big].$$

Если бы мы пренебрегли объемомъ обратныхъ раскосовъ на протяженіи: $2\left(\lambda - \frac{l}{2}\right)$, то среднее значеніе перерѣзывающаго усилія на длину $\frac{l}{2}$:

$$\mathfrak{P} = \frac{1}{\frac{l}{2}} \int_0^{\frac{l}{2}} \left[p\left(\frac{l}{2} - x\right) + k\frac{(l-x)^2}{2l} \right] dx =$$

$$= p\left(\frac{l}{2} - \frac{l}{4}\right) + \frac{k}{2l}\left(l^2 - \frac{l^2}{2} + \frac{l^2}{12}\right) = \frac{pl}{4} + \frac{7}{24}kl \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (\partial)$$

Объемъ раскосовъ на длину $2\frac{l}{2} = l$:

$$v'_1 = \frac{\mathfrak{P}l}{R \cdot \cos\alpha \cdot \sin\alpha} = \left(\frac{pl^2}{4} + \frac{7}{24}kl^2\right) \cdot \frac{1}{R \cdot \cos\alpha \cdot \sin\alpha}\ ^*) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (e)$$

$$\left[\text{При } p = k;\ v_1' = \frac{13}{24} \cdot \frac{pl^2}{R \cdot \cos\alpha \cdot \sin\alpha} = \frac{0{,}54167\, pl^2}{R \cdot \cos\alpha \cdot \sin\alpha}\right].$$

Слѣдовательно, по сравненію съ предыдущимъ случаемъ, объемъ менѣе всего на $\frac{0.0106\, pl^2}{R.\cos\alpha.\sin\alpha}$, т. е. менѣе на 2%. Въ виду сего, въ дальнѣйшемъ будемъ пользоваться формулой (e), а не точной формулой (z) и вообще будемъ исчислять объемъ раскосовъ лишь до середины пролета.

в) *Объемъ стоекъ.* Среднее значеніе перерѣзывающаго усилія на протяженіи участка $\frac{l}{2}$, на основаніи формулы (∂):

$$\frac{pl}{4} + \frac{7}{24}kl.$$

Среднее значеніе объема одной стойки:

$$\left(\frac{pl}{4} + \frac{7}{24}kl\right)\frac{h}{R}.$$

Число стоекъ на протяженіи l:

$$\frac{l}{d} + 1 = \frac{l+d}{d} = \frac{l + h\ tang\,\alpha}{h\ tang\,\alpha}.$$

Слѣдовательно, объемъ стоекъ:

$$v'_1 = \left(p\frac{l}{4} + \frac{7}{24}kl\right)\frac{h}{R}\left(1 + \frac{l}{h\ .\ tang\,\alpha}\right) = \left(\frac{p}{4} + \frac{7}{24}k\right)\frac{l^2}{R.tang\,\alpha} + \left(\frac{pl}{4} + \frac{7}{24}kl\right)\frac{h}{R}\ ^{**}) \quad (\text{ж}).$$

---

*) Изъ этой формулы слѣдуетъ, между прочимъ, что наивыгоднѣйшій уголъ наклоненія для однихъ раскосовъ найдется изъ:

$$\frac{-\cos^2\alpha + \sin^2\alpha}{\cos^2\alpha\ .\ \sin^2\alpha} = 0, \qquad \text{откуда: } \alpha = 45°.$$

**) Изъ совмѣстнаго разсмотрѣнія формулъ (ж) и (е) слѣдуетъ, между прочимъ, что наивыгоднѣйшій уголъ наклоненія для раскосовъ раскосной фермы (стойки и раскосы) найдется изъ того условія, чтобы: $\frac{1}{\cos\alpha\ .\ \sin\alpha} + \frac{1}{tang\,\alpha}$ было min. Взявъ производную, найдемъ:

$$\frac{-\cos^2\alpha + \sin^2\alpha}{\cos^2\alpha\ .\ \sin^2\alpha} - \frac{1}{\sin^2\alpha} = 0,$$

откуда $$\sin^2\alpha = 2\cos^2\alpha,$$

или $$tang^2\alpha = 2;\ tang\,\alpha = \sqrt{2} = 1{,}414;\ \alpha = 54°\,45'.$$

Переходимъ теперь къ отысканію выраженія объема частей консоли и крайняго пролета (рис. 309).

II. *Консоль длиною m.*

а) *Объемъ поясовъ.*

Моментъ въ сѣченіи x, вызванный нагрузкою свободнаго пролета:

$$(p + k)\,\frac{l}{2}\,x.$$

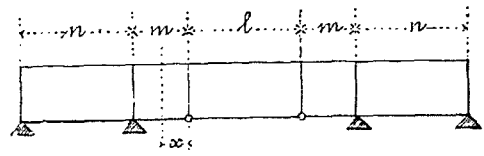


Рис. 309.

Моментъ въ сѣченіи x, вызванный нагрузкою консоли:

$$(p' + k')\,\frac{x^2}{2}.$$

Среднее значеніе момента въ предѣлахъ всего протяженія консоли:

$$M = \frac{1}{m}\int_0^m \left[(p + k)\,\frac{l}{2}\,x + (p' + k')\,\frac{x^2}{2}\right] dx = (p + k)\,\frac{ml}{4} + (p' + k')\,\frac{m^2}{6} \quad . \quad . \quad . \quad (з)$$

Объемъ верхняго и нижняго поясовъ:

$$v_{\text{п}} = \frac{2m}{R\,.\,h}\left\{(p + k)\,\frac{ml}{4} + (p' + k')\,\frac{m^2}{6}\right\} = \frac{(p + k)\,m^2\,.\,l}{2R\,.\,h} + \frac{(p' + k')\,m^3}{3R\,.\,h} \quad . \quad . \quad (и)$$

Если: $p = p'$, $k = k'$, то:

$$v_{\text{п}} = \frac{(p + k)\,m^2}{R\,.\,h}\left(\frac{l}{2} + \frac{m}{3}\right) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (и')$$

б) *Объемъ раскосовъ.*

Перерѣзывающее усиліе отъ нагрузки свободнаго пролета:

$$(p + k)\,\frac{l}{2}.$$

Перерѣзывающее усиліе отъ нагрузки консоли:

$$(p' + k')\,x.$$

Среднее значеніе перерѣзывающаго усилія:

$$\mathfrak{B} = (p + k)\,\frac{l}{2} + (p' + k')\,\frac{m}{2} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (і)$$

Объемъ раскосовъ на длину панели:

$$\frac{\mathfrak{B}}{R\,.\,\cos\alpha}\,S = \frac{\mathfrak{B}\,.\,h}{R\,.\,\cos^2\alpha}.$$

Объемъ раскоса на единицу длины:

$$\frac{\mathfrak{B}}{R\,.\,\cos^2\alpha}\,.\,\frac{h}{d} = \frac{\mathfrak{B}}{R\,.\,\cos^2\alpha\,.\,tang\,\alpha} = \frac{\mathfrak{B}}{R\,.\,\cos\alpha\,.\,\sin\alpha}.$$

Объемъ раскосовъ на всю длину консоли:

$$v'_{\text{п}} = \frac{m}{R\,.\,\cos\alpha\,.\,\sin\alpha}\left[(p + k)\,\frac{l}{2} + (p' + k')\,\frac{m}{2}\right] \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (к)$$

Если: $p = p'$, $k = k'$, то:

$$v'_{\text{п}} = \frac{(p + k)\,m}{2R\,.\,\cos\alpha\,.\,\sin\alpha}\,.\,(l + m) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (к')$$

в) *Объемъ стоекъ.* Такъ какъ среднее значеніе перерѣзывающаго усилія то же, что и въ пре-

дыдущемъ случаѣ, то, согласно формулѣ (*ж*), объемъ всѣхъ стоекъ:

$$r''_{\text{н}} = \left[(p+k)\frac{l}{2} + (p'+k')\frac{m}{2}\right]\frac{h}{R}\left(1 + \frac{m}{h\,.\,tang\,\alpha}\right) =$$

$$= \left[(p+k)\frac{l}{2} + (p'+k')\frac{m}{2}\right]\frac{m}{R\,.\,tang\,\alpha} + \left[(p+k)\frac{l}{2} + (p'+k')\frac{m}{2}\right]\cdot\frac{h}{R} \quad . \quad . \quad . \quad (л)$$

Если: $p = p'$, $k = k'$, то:

$$r''_{\text{н}} = \frac{(p+k)}{2}(l+m)\left(\frac{m}{R\,.\,tang\,\alpha} + \frac{h}{R}\right) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (л')$$

III. *Крайній пролетъ длиною n.*

а) *Объемъ поясовъ.* Такъ какъ изъ зависимости отъ значенія нагрузокъ и пролетовъ: l, m и n знакъ момента можетъ измѣниться, то необходимо опредѣлить предварительно то сѣченіе λ, гдѣ ординаты кривыхъ наибольшихъ положительныхъ и отрицательныхъ моментовъ одинаковы; затѣмъ найти площадь, ограниченную кривою наибольшихъ положительныхъ моментовъ на длинѣ

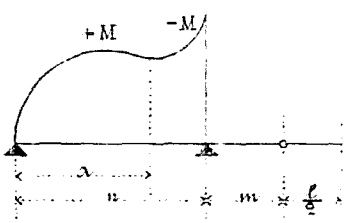


Рис. 310.

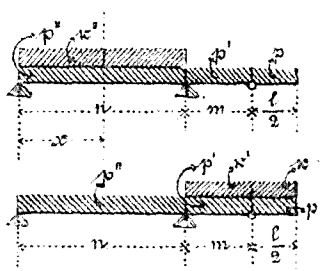


Рис. 311 и 312.

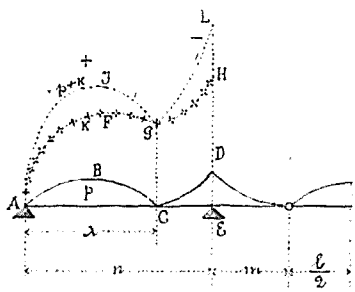


Рис. 313.

отъ 0 до λ (рис. 310), и площадь, ограниченную кривою наибольшихъ отрицательныхъ моментовъ на длинѣ отъ λ до n, сложить эти двѣ площади (взявъ ихъ съ одинаковыми знаками, такъ какъ здѣсь имѣетъ значеніе, очевидно, абсолютное значеніе момента) и, наконецъ, раздѣлить сумму на длину пролета n; это и будетъ среднее значеніе момента.

Такъ, напримѣръ, въ первомъ случаѣ сопротивленіе лѣвой опоры (рис. 311):

$$A = (p''+k'')\frac{n}{2} - \frac{pl}{2}\cdot\frac{m}{n} - \frac{p'm^2}{2n};$$

во второмъ случаѣ (рис. 312):

$$A = \frac{p''n}{2} - (p+k)\frac{l}{2}\cdot\frac{m}{n} - (p'+k')\frac{m^2}{2n}.$$

Моментъ въ сѣченіи x въ первомъ случаѣ:

$$\left[(p''+k'')\frac{n}{2} - \frac{pl}{2}\cdot\frac{m}{n} - \frac{p'm^2}{2n}\right]x - (p''+k'')\cdot\frac{x^2}{2},$$

а во второмъ случаѣ:

$$\left[\frac{p''n}{2} - (p+k)\frac{l}{2}\cdot\frac{m}{n} - (p'+k')\frac{m^2}{2n}\right]x - \frac{p''x^2}{2}.$$

Приравнявъ оба выраженія и перемѣнивъ предварительно въ одномъ изъ нихъ знакъ на противоположный, найдемъ абциссу λ, при которой моменты равны.

Дальнѣйшія выкладки получаются очень сложными; для упрощенія расчета опредѣлимъ площади, ограниченныя кривыми наибольшихъ положительныхъ и отрицательныхъ моментовъ между сѣченіями 0 и λ, λ и n (рис. 313), гдѣ λ отвѣчаетъ абциссѣ, при которой, въ случаѣ дѣйствія одной

постоянной нагрузки, положительные моменты переходятъ въ отрицательные. Пріемъ этотъ не достаточно точенъ, но можетъ быть допущенъ съ извѣстнымъ приближеніемъ. Предположимъ далѣе, также для упрощенія расчета, что: $p = p' = p''$ и $k = k' = k''$. Тогда выраженіе момента отъ постоянной нагрузки:

$$\left(\frac{pn}{2} - \frac{pl}{2} \cdot \frac{m}{n} - \frac{pm^2}{2n}\right) x - \frac{px^2}{2} = 0,$$

откуда:

$$\lambda = n - \frac{m}{n}(l + m) = n - c, \text{ если } c = \frac{m(l+m)}{n}.$$

Площадь кривой положительныхъ моментовъ отъ постоянной нагрузки:

$$ABC = \int_0^{n-c} \left[\frac{p}{2}(n-c)x - \frac{px^2}{2}\right] dx = \frac{p}{2} \cdot \frac{(n-c)^3}{2} - \frac{p}{6}(n-c)^3 = \frac{p}{12}(n-c)^3.$$

Площадь кривой отрицательныхъ моментовъ отъ постоянной нагрузки:

$$CDE = \int_{n-c}^{n} \left[\frac{p}{2}(n-c)x - \frac{px^2}{2}\right] dx = \frac{p}{2}(n-c)\frac{n^2}{2} - \frac{pn^3}{6} - \frac{p}{12} \cdot (n-c)^3.$$

Сумма площадей ABC и CDE (перемѣнивъ предварительно въ выраженіи CDE знакъ на противоположный):

$$ABCDE = \frac{p}{6}(n-c)^3 - \frac{pn^3}{12} + \frac{pcn^2}{4} = p\left(\frac{n^3}{12} - \frac{n^2c}{4} + \frac{cn^2}{2} - \frac{c^3}{6}\right) =$$

$$= \frac{p}{12}(n^3 - 3n^2c + 6nc^2 - 2c^3).$$

Площадь кривой $AFGC$ положительныхъ моментовъ отъ подвижной нагрузки, расположенной на пролетѣ n:

$$AFGC = \int_0^{n-c} \frac{k}{2} x(n-x)\,dx = \frac{k}{2} n \frac{(n-c)^2}{2} - \frac{k}{2} \cdot \frac{(n-c)^3}{3} =$$

$$= \frac{k}{6}(n-c)^2 \cdot \left(\frac{3}{2}n - (n-c)\right) = \frac{k}{6}(n-c)^2 \cdot \left(\frac{n}{2} + c\right) = \frac{k}{12}(n^3 - 3nc^2 + 2c^3).$$

Площадь $CGHE$ отрицательныхъ моментовъ отъ подвижной нагрузки:

$$CGHE = -\int_{n-c}^{n} \left(k\frac{l}{2} \cdot \frac{m}{n} + \frac{km^2}{2n}\right) x\,dx = -\int_{n-c}^{n} \frac{k}{2} \cdot cx\,dx =$$

$$= -\frac{k}{2} \cdot c \cdot \frac{n^2}{2} + \frac{k}{2} \cdot c\frac{(n-c)^2}{2} = -\frac{k}{2}\left(c^2n - \frac{c^3}{2}\right).$$

Перемѣнивъ въ этомъ послѣднемъ выраженіи знакъ на противоположный и складывая съ предыдущимъ, получимъ:

$$AFGHE = \frac{k}{12}(n^3 - 3nc^2 + 2c^3 + 6c^2n - 3c^3) = \frac{k}{12}(n^3 + 3c^2n - c^3).$$

Слѣдовательно, общая площадь:

$$AIGLE = \frac{p}{12}(n^3 - 3n^2c + 6nc^2 - 2c^3) + \frac{k}{12}(n^3 + 3nc^2 - c^3) = \Omega \quad \ldots \quad (м)$$

Среднее значеніе момента: $\frac{\Omega}{n} \cdot \cdot \cdot$

Объемъ поясовъ:

$$v_{\text{п}} = 2n \cdot \frac{\Omega}{n \cdot R \cdot h} = \frac{2\Omega}{R \cdot h} \cdot \cdots \cdots \cdots \cdots \cdots \cdots \cdots \cdots (n)$$

б) *Объемъ раскосовъ.* Согласно предыдущему опредѣлимъ площади, ограниченныя кривыми наибольшихъ положительныхъ и отрицательныхъ перерѣзывающихъ усилій для участковъ отъ 0 до μ и отъ μ до n (рис. 314), гдѣ μ—абсцисса, при которой происходитъ перемѣна знака перерѣзывающаго усилія въ случаѣ дѣйствія одной постоянной нагрузки.

Найдемъ это значеніе μ. Приравнявъ нулю выраженіе перерѣзывающаго усилія при дѣйствіи одной постоянной нагрузки, получимъ:

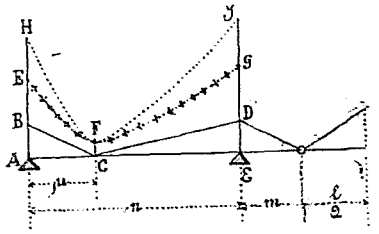


Рис. 314.

$$\left(\frac{pn}{2} - \frac{pl}{2} \cdot \frac{m}{n} - \frac{pm^2}{2n}\right) - px = 0,$$

откуда:

$$\mu = \frac{n}{2} - \frac{m\,(l + m)}{2n} = \frac{n}{2} - \frac{c}{2}.$$

Площадь, ограниченная кривой положительныхъ перерѣзывающихъ усилій, вызванныхъ постоянной нагрузкой:

$$ABC = \int_0^{\mu} p\left[\left(\frac{n}{2} - \frac{c}{2}\right) - x\right] dx = p\left[\left(\frac{n-c}{2}\right)^2 - \frac{1}{2}\left(\frac{n-c}{2}\right)^2\right] = p\,\frac{(n-c)^2}{8}.$$

Площадь, ограниченная кривой отрицательныхъ перерѣзывающихъ усилій, вызванныхъ постоянной нагрузкой:

$$CDE = \int_{\frac{n-c}{2}}^{n} p\left[\left(\frac{n-c}{2}\right) - x\right] dx = p\left[\left(\frac{n-c}{2}\right) \cdot n - \frac{n^2}{2} - \frac{(n-c)^2}{8}\right],$$

Перемѣняя въ послѣднемъ выраженіи знакъ на противоположный и складывая съ предыдущимъ, получимъ площадь:

$$ABCDE = p\left[\frac{(n-c)^2}{4} + \frac{n \cdot c}{2}\right] = \frac{p}{4}\,(n^2 + c^2).$$

Площадь, ограниченная кривой наибольшихъ положительныхъ перерѣзывающихъ усилій отъ подвижной нагрузки:

$$AEFC = \int_0^{\frac{n-c}{2}} k\,\frac{(n-x)^2}{2n} \cdot dx = \frac{k}{2n} \int_0^{\frac{n-c}{2}} [n^2 - 2nx + x^2] \cdot dx =$$

$$= \frac{k}{2n}\left[n^2\left(\frac{n-c}{2}\right) - n\left(\frac{n-c}{2}\right)^2 + \frac{(n-c)^3}{24}\right] = \frac{k}{2n}\left(\frac{n-c}{2}\right) \cdot \left[n^2 - n\left(\frac{n-c}{2}\right) + \right.$$

$$\left. + \frac{(n-c)^2}{12}\right] = k\left[\frac{7}{48}n^2 - \frac{n \cdot c}{16} - \frac{c^2}{16} - \frac{c^3}{48n}\right] \text{ (рис. 315).}$$

Площадь, ограниченная кривой $FCGE$, отвѣчающая *max.* отрицательнаго перерѣзывающаго усилія отъ подвижной нагрузки (рис. 316):

$$FCGE = \int_{\frac{n-c}{2}}^{n} \left[-\frac{kx^2}{2n} - \frac{kl}{2} \cdot \frac{m}{n} - \frac{km^2}{2n}\right] dx = -\frac{k}{2n} \int_{\frac{n-c}{2}}^{n} (x^2 + lm + m^2)\, dx =$$

$$= -\frac{k}{2n}\int_{\frac{n-c}{2}}^{n}(x^2 + cn)\,dx = -\frac{k}{2n}\left(\frac{x^3}{3} + cnx\right)_{\frac{n-c}{2}}^{n} =$$

$$= -\frac{k}{2n}\left[\frac{n^3}{3} + cn^2 - \frac{(n-c)^3}{24} - cn\frac{(n-c)}{2}\right] = -k\left[\frac{7n^2}{48} + \frac{5}{16}cn + \frac{3}{16}c^2 + \frac{c^3}{48n}\right].$$

Площадь $AEFGE$ получится отъ суммированія двухъ послѣднихъ выраженій, съ перемѣной въ послѣднемъ знака на противоположный. Тогда:

$$AEFGE = k\left[\frac{7}{48}n^2 - \frac{nc}{16} - \frac{c^2}{16} - \frac{c^3}{48n} + \frac{7}{48}n^2 + \frac{5}{16}cn + \frac{3}{16}c^2 + \frac{c^3}{48n}\right] =$$

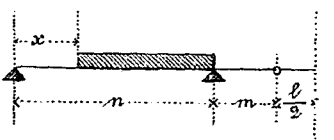
$$= k\left(\frac{7}{24}n^2 + \frac{nc}{4} + \frac{c^2}{8}\right) = \frac{k}{24}(7n^2 + 6nc + 3c^2).$$

Слѣдовательно, общая площадь:

$$AHFIE = \frac{p}{4}(n^2 + c^2) + \frac{k}{24}(7n^2 + 6nc + 3c^2) = \omega\ ^*) \quad \ldots\ldots \quad (o)$$

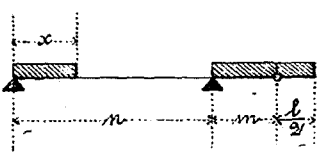
Среднее значеніе перерѣзывающаго усилія:

$$\frac{\omega}{n}.$$



Объемъ раскосовъ на длину n, согласно съ формулой (κ):

$$v'_{\text{III}} = \frac{\omega}{R \,.\, \cos\alpha \,.\, \sin\alpha} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (n)$$



в) *Объемъ стоекъ.* По формулѣ $(л)$, объемъ стоекъ:

$$v''_{\text{III}} = \frac{\omega}{R \,.\, tang\,\alpha} + \frac{\omega}{n} \cdot \frac{h}{R} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (p)$$

Рис. 315 и 316.

Если: $p = p' = p''$, $k = k' = k''$, то, сложивъ выраженія: $(б)$, $(с)$, $(ж)$, $(и')$, $(к')$ $(л')$, $(н)$, $(п)$ и $(р)$, получимъ общій объемъ v. Если далѣе все отверстіе: $L = 2n + 2m + l$, то, взявъ: $\frac{dv}{dn} = 0$ и $\frac{dv}{dm} = 0$, при чемъ n, m и l связаны вышеуказанной зависимостью, получимъ три уравненія съ тремя неизвѣстными, откуда и найдемъ искомыя: n, m и l въ функціи L.

Формулы получаются очень сложными и поэтому удобнѣе рѣшить вопросъ ощупью, задаваясь, на основаніи существующихъ сооруженій, нѣсколькими соотношеніями между n, m и l, и вычислить для каждаго такого соотношенія объемы, остановившись затѣмъ на наиболѣе выгодномъ результатѣ. Такъ какъ въ данномъ примѣрѣ объемы поясовъ получаются отъ умноженія *площади* наибольшихъ моментовъ на $\frac{2}{R \,.\, h}$, объемы раскосовъ — отъ умноженія площади наибольшихъ перерѣзывающихъ усилій на $\frac{1}{R \,.\, \cos\alpha \,.\, \sin\alpha}$, а объемы стоекъ получаются отъ умноженія площади наибольшихъ перерѣзывающихъ усилій въ свободной фермѣ пролетомъ l—на $\left(\frac{1}{R \,.\, tang\,\alpha} + \frac{h}{l \,.\, R}\right)$, въ консоли длиною m—на $\left(\frac{1}{R \,.\, tang\,\alpha} + \frac{h}{m \,.\, R}\right)$, въ крайнемъ пролетѣ длиною n—на $\left(\frac{1}{R \,.\, tang\,\alpha} + \frac{h}{n \,.\, R}\right)$, то значеніе объемовъ легко получить, зная площади моментовъ и перерѣзывающихъ усилій.

---

*) У Винклера: Der Brückenbau 1 Heft, 1 Lieferung, стран. 45—показано почему-то:

$$\omega = \frac{p}{4}(n^2 + c^2) + \frac{k}{24}(7n^2 + 12nc + 6c^2)$$

Въ извѣстномъ сочиненіи Винклера *) приведены эти значенія площадей и перерѣзывающихъ усилій для двухъ типовъ фермъ Гербера.

1. Если шарниры помѣщены въ среднемъ пролетѣ (разсмотрѣнный нами случай), то:

а) *для крайняго пролета* (безъ шарнира) (рис. 317) площадь, отвѣчающая наибольшему значенію перерѣзывающихъ усилій:

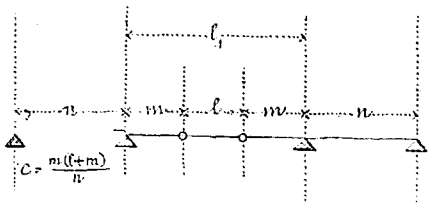


Рис. 317.

$$\omega = \frac{p}{4}(n^2 + c^2) + \frac{k}{24}(7n^2 + 12nc + 6c^2). \quad (c)$$

[Эта формула есть, очевидно, формула (o), съ несходствомъ въ коэффиціентахъ двухъ послѣднихъ членовъ. Повидимому, вмѣсто $12nc$ и $6c^2$ должно быть $6nc$ и $3c^2$, какъ это выведено въ формулѣ (o)].

Площадь, отвѣчающая наибольшимъ моментамъ:

$$M = \frac{p}{12}(n^3 - 3n^2c + 6nc^2 - 2c^3) + \frac{k}{12}(n^3 + 3nc^2 - c^3) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (m)$$

что есть формула ($м$).

б) *для средняго пролета* $l_1 = 2m + l$ площадь перерѣзывающихъ усилій:

$$\omega = \frac{pl_1^2}{4} + \frac{k}{24}(6l_1^2 + l^2) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (y)$$

[Эта формула есть, очевидно, формула ($д$), умноженная на l и сложенная съ удвоеннымъ произведеніемъ формулы (i) на m, при чемъ: $p = p'$, $k = k'$].

Дѣйствительно:

$$\frac{pl^2}{4} + \frac{7}{24}kl^2 + (p + k)\,lm + (p + k)\,m^2 = \frac{p}{4}(l + 2m)^2 +$$

$$+ \frac{k}{24}[6(l + 2m)^2 + l^2] = \frac{p}{4}l_1^2 + \frac{k}{24}(6l_1^2 + l^2).$$

Площадь моментовъ:

$$M = \frac{1}{24}(p + k) \cdot [l_1^3 - 3l_1l^2 + 4l^3] \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (g)$$

Эта формула есть, очевидно, формула (a), умноженная на l и сложенная съ удвоеннымъ произведеніемъ формулы ($з$) на m, при чемъ: $p = p'$, $k = k'$.

Дѣйствительно:

$$(p + k)\frac{l^3}{12} + (p + k)\frac{m^2 \cdot l}{2} + (p + k)\frac{m^3}{3} = \frac{(p + k)}{24}(2l^3 + 12m^2l + 8m^3) =$$

$$= \frac{(p + k)}{24}[(l + 2m)^3 - 3(l + 2m)\,l^2 + 4l^3] = \frac{(p + k)}{24}(l_1^3 - 3l_1l^2 + 4l^3).$$

2. Если шарниры помѣщены въ крайнихъ пролетахъ (рис. 318), то:

а) *для крайняго пролета* $l_1 = l + m$ площадь перерѣзывающихъ усилій:

$$\omega = \frac{p}{4}(l_1^2 + m^2) + \frac{k}{24}(7l_1^2 - 2l_1m + 7m^2) = \frac{l'}{4}[(l + m) + m^2] +$$

$$+ \frac{k}{24}(7l^2 + 12m[l + m]) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (x)$$

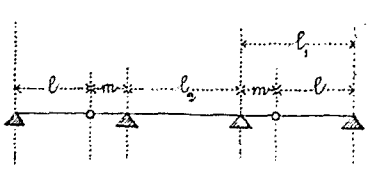


Рис. 318.

Площадь моментовъ:

$$M = \frac{1}{12}(p + k)[l^3 + 3lm^2 + 2m^3] \quad . \quad . \quad (u)$$

*) Winkler. Der Brückenbau. 1 Heft, 1 Lieferung, стран. 45.

Такъ какъ здѣсь крайній пролетъ находится въ тѣхъ же условіяхъ, что и средній пролетъ въ предыдущемъ случаѣ, съ присоединеніемъ *одной* консоли, то эти формулы должны получиться: первая отъ сложенія произведеній (*д*) на l и (*і*)—на m, а вторая—отъ сложенія произведеній (*а*) на l и (*з*) — на m, полагая: $p = p'$, $k = k'$.

Дѣйствительно:

$$\frac{pl^2}{4} + \frac{7}{24} kl^2 + (p + k) \frac{lm}{2} + (p + k) \frac{m^2}{2},$$

или

$$\frac{pl^2}{4} + \frac{7}{24} kl^2 + (p + k) \frac{lm}{2} + (p + k) \frac{m^2}{2} = \frac{p}{4} [(l + m)^2 + m^2] +$$

$$+ \frac{k}{24} [7l^2 + 12m (l + m)].$$

Затѣмъ вторая формула:

$$(p + k) \frac{l^3}{12} + (p + k) \frac{m^2 l}{4} + (p + k) \frac{m^3}{6} = \frac{(p + k)}{12} (l^3 + 3lm^2 + 2m^3).$$

б) Для *средняго пролета* (безъ шарнира) длиною l_2, называя черезъ: $c_1 = \frac{m(m + n)}{l_2}$, $\rho_1 = l_2 - 4c_1$, получается площадь перерѣзывающихъ усилій:

$$\omega = \frac{pl_2^2}{4} + \frac{kl_2}{24} (7l_2 + 12c_1) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (ч)$$

Площадь моментовъ: при $c_1 < \frac{l_2}{4}$:

$$M = \frac{pl_2}{24} (l_2^2 + 4\rho_1 \sqrt{l_2\rho_1} - 3l_2\rho_1) + \frac{kl_2}{12} [\rho_1 \sqrt{l_2\rho_1} + 6l_2c_1];$$

при $c_1 > \frac{l_2}{4}$

$$M = \frac{pl^2}{12} (6c_1 - l_2) + \frac{kl_2^2 c_1}{2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (ш)$$

Винклеромъ вычислены таблицы значеній ω и M для различныхъ соотношеній, при чемъ онъ пользовался формулами (*с*), (*т*), (*у*), (*ф*), (*х*), (*ц*), (*ч*) и (*ш*), помѣщенными на страницахъ: 45, 46 и 47 упомянутаго труда. Таблицы эти облегчаютъ находить наивыгоднѣйшее соотношеніе.

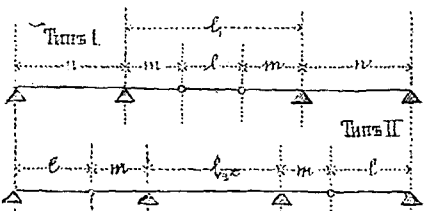


Рис. 319.

Разсмотримъ нѣсколько частныхъ случаевъ.

1) *Наивыгоднѣйшее отношеніе между пролетами при постоянномъ сѣченіи поясовъ фермъ*, не принимая въ расчетъ значеній перерѣзывающихъ усилій.

Въ этомъ случаѣ наивыгоднѣйшее отношеніе будетъ, очевидно, отвѣчать равенству наибольшихъ моментовъ на опорахъ и въ промежуточныхъ сѣченіяхъ:

Въ типѣ I-мъ (рис. 319) наибольшій моментъ на опорѣ (независимо отъ знака):

$$M_1 = (p + k) \frac{l}{2} m + (p + k) \frac{m^2}{2} = \frac{(p + k)}{2} m (l + m) =$$

$$= \frac{(p + k)}{2} \cdot \frac{(l_1 - l)}{2} \cdot \frac{(l_1 + l)}{2} = \frac{(p + k)}{8} (l_1^2 - l^2) \quad \ldots\ldots \quad (\alpha)$$

Наибольшій моментъ въ пролетѣ l:

$$M' = (p + k) \cdot \frac{l^2}{8} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \quad (\beta)$$

Наибольшій моментъ въ пролетѣ n найдется такимъ образомъ:

$$M_x = \left[(p + k)\frac{n}{2} - \frac{pl}{2} \cdot \frac{m}{n} - \frac{pm^2}{2n}\right] x - (p + k)\frac{x^2}{2};$$

$$\frac{dM}{dx} = (p + k)\frac{n}{2} - \frac{pl}{2} \cdot \frac{m}{n} - \frac{pm^2}{2n} - (p + k) \cdot x = 0,$$

откуда:

$$x = \frac{n}{2} - \frac{p}{p + k} \cdot \frac{l}{2} \cdot \frac{m}{n} - \frac{p}{p + k} \cdot \frac{m^2}{2n} = \frac{n}{2} - \frac{p}{p + k} \cdot \frac{m}{2n}(l + m).$$

Слѣдовательно, наибольшее значеніе момента:

$$M'' = (p + k)\frac{x}{2}(n - x) - \frac{pm}{2n}(l + m)\, x = (p + k)\left[\frac{n}{4} - \frac{p}{p + k} \cdot \frac{m}{4n}(l + m)\right] \times$$

$$\times \left[\frac{n}{2} + \frac{p}{p + k} \cdot \frac{m}{2n} \cdot (l + m)\right] - \frac{pm}{2n}(l + m)\left[\frac{n}{2} - \frac{p}{p + k} \cdot \frac{m}{2n}(l + m)\right] =$$

$$= (p + k)\, 2\left[\frac{n^2}{16} - \frac{p^2}{(p + k)^2} \cdot \frac{m^2}{16n^2}(l + m)^2\right] - \frac{pm}{2n}(l + m)\left[\frac{n}{2} - \frac{p}{p + k} \cdot \frac{m}{2n}(l + m)\right] =$$

$$= \frac{1}{8(p + k)}\left[(p + k)^2 n^2 - \frac{p^2 m^2}{n^2}(l + m)^2\right] - \frac{pm(l + m)}{4} + \frac{p^2}{(p + k)} \cdot \frac{m^2}{4n^2}(l + m)^2 =$$

$$= \frac{1}{8(p + k)}\left[(p + k)^2 \cdot n^2 - \frac{p^2 m^2}{n^2}(l + m)^2 - 2p(p + k)m(l + m) + 2p^2 \frac{m^2}{n^2}(l + m)^2\right] =$$

$$= \frac{1}{8(p + k)}\left[(p + k)^2 \cdot n^2 - \frac{p^2}{n^2} \cdot \frac{(l_1^2 - l^2)^2}{16}\ ^*) - 2p(p + k) \cdot \frac{(l_1^2 - l^2)}{4} + \frac{2p^2}{n^2} \cdot \frac{(l_1^2 - l^2)^2}{16}\right] =$$

$$= \frac{1}{8(p + k)}\left[(p + k)^2 \cdot n^2 + \frac{p^2}{n^2} \cdot \frac{(l_1^2 - l^2)^2}{16} - \frac{p(p + k) \cdot (l_1^2 - l^2)}{2}\right] =$$

$$= \frac{1}{8(p + k)}\left[(p + k)n - \frac{p}{4} \cdot \frac{(l_1^2 - l^2)}{n}\right]^2 \quad \ldots \ldots \ldots \quad (\gamma)$$

Приравнивая значенія: M_1, M' и M'' и приравнивая предварительно (α) и (β), имѣемъ, что: $l_1^2 - l^2 = l^2$, откуда:

$$l = \frac{l_1}{\sqrt{2}} = 0{,}707\, l_1 \quad \text{и} \quad M_1 = M' = \frac{(p + k) \cdot l_1^2}{16}$$

и затѣмъ:

$$M'' = \frac{1}{8(p + k)}\left[(p + k)\, n - \frac{p}{8} \cdot \frac{l_1^2}{n}\right]^2\ ^{**}).$$

---

*) Такъ какъ:

$$m(l + m) = \frac{(l_1 - l)}{2} \cdot \frac{(l_1 + l)}{2} = \frac{l_1^2 - l^2}{4}.$$

**) У Винклера, на стран. 49, новидимому, ошибочно:

$$M'' = \frac{1}{8(p + k)}\left[(p + k)\, n - \frac{p}{16} \cdot \frac{l_1^2}{n}\right]^2.$$

Приравнивая это выраженію: $(p + k)\frac{l_1^2}{16}$, получимъ:

$$\frac{l_1^2}{2} = \frac{1}{(p+k)^2}\left[(p+k)\,n - \frac{p}{8}\cdot\frac{l_1^2}{n}\right]^2;$$

$$\frac{l_1}{\sqrt{2}} = n - \frac{p}{p+k}\cdot\frac{l_1^2}{8n};\quad 0{,}707\,l_1\,n = n^2 - \frac{p l_1^2}{8\,(p+k)};$$

$$n = 0{,}3535\,l_1 \pm \sqrt{(0{,}3535\,l_1)^2 + \frac{p l_1^2}{8\,(p+k)}} = 0{,}3535\,l_1\left(1 \pm \sqrt{1 + \frac{p}{p+k}}\right).$$

Слѣдовательно:

$$\frac{l}{l_1} = 0{,}707$$

и

$$\frac{n}{l_1} = 0{,}3535\left(1 + \sqrt{1 + \frac{p}{p+k}}\right), \quad \ldots\ldots\ldots \quad (\delta)$$

или, такъ какъ:

$$l_1 = l + 2m = 0{,}707\,l_1 + 2m,$$

откуда:

$$l_1 = 6{,}8259\,m,$$

то

$$\frac{l}{m} = 0{,}707 \times 6{,}8259 = 4{,}8259 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (\varepsilon)$$

$$\frac{n}{m} = 6{,}8259 \times 0{,}3535\left(1 + \sqrt{1 + \frac{p}{p+k}}\right) = 2{,}4130\left(1 + \sqrt{1 + \frac{p}{p+k}}\right)^{*}) \ldots (\eta')$$

Затѣмъ:

$$l_1 = \frac{l}{0{,}707} = 1{,}414\,l \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (\varkappa)$$

$$\frac{n}{l} = \frac{n}{m}\cdot\frac{m}{l} = \frac{2{,}4130}{4{,}8259}\left(1 + \sqrt{1 + \frac{p}{p+k}}\right) = \frac{1}{2}\left(1 + \sqrt{1 + \frac{p}{p+k}}\right);$$

$$n = \frac{l}{2}\left(1 + \sqrt{1 + \frac{p}{p+k}}\right)^{**}) \quad \ldots\ldots\ldots \quad (\lambda)$$

Еслибы весь пролетъ: $l_1 + 2n$ былъ раздѣленъ на три равныя части величиною: $\lambda = \frac{l_1 + 2n}{3}$, то, напримѣръ, при $p = k$:

$$n = l_1\,[0{,}3535\,(1 + \sqrt{1{,}5})] = 0{,}786\,l_1; \quad \lambda = 0{,}857\,l_1$$

и наибольшій моментъ:

$$(p + k)\frac{\lambda^2}{8} = 0{,}0918\,(p + k)\,l_1^2;$$

*) По Krohn'y. Resultate aus der Theorie des Brückenbaues. Abtheil. I, стран. 21, 35 и 36: $\frac{l}{m} = 4{,}8284$;

$$\frac{n}{m} = 4{,}8284\sqrt{1 + \frac{p}{2\,(p+k)}};$$

послѣднее отношеніе, невидимому, ошибочно.

**) Такіе же результаты даетъ и *Keck*. Основы расчета строительныхъ сооруженій. Переводъ Страхова. Москва, 1896 г., стран. 129.

между тѣмъ какъ одинаковые наибольшіе моменты въ фермѣ типа I:

$$M = M' = M'' = (p + k)\frac{l_1^2}{16} = 0{,}0625\,(p + k)\,l_1^2,$$

т. е. въ фермѣ Гербера уменьшеніе наибольшаго момента составило бы около 32%.

Для типа II:

$$l_1 = l + m.$$

Наибольшій положительный моментъ въ пролетѣ l:

$$M' = (p + k)\frac{l^2}{8}.$$

Наибольшій отрицательный моментъ на опорѣ:

$$M_1 = \frac{(p+k)}{2} lm + (p + k)\frac{m^2}{2} = (p + k)\frac{m}{2}(l + m) = \frac{(p+k)}{2}(l_1 - l)\,l_1.$$

Наибольшій положительный моментъ въ пролетѣ l_2:

$$M'' = (p + k)\frac{l_2^2}{8} - \frac{pl}{2}m - \frac{pm^2}{2} = (p + k)\frac{l_2^2}{8} - \frac{pm}{2}(l + m).$$

Приравнивая M' и M_1, найдемъ: $l^2 = 4l_1^2 - 4ll_1$, откуда:

$$l_1 = \frac{l}{2} + \sqrt{\frac{l^2}{4} + \frac{l^2}{4}} = \frac{l}{2}(1 + \sqrt{2}) = m + l.$$

Слѣдовательно:

$$m = l\left(\frac{1}{2} + \frac{1}{2}\sqrt{2} - 1\right) = 0{,}207\,l; \quad \ldots\ldots\ldots \quad (\mu)$$

$$l_1 = m + l = 1{,}207\,l \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (\nu)$$

Приравнивая M'' и M', найдемъ:

$$(p + k)\frac{l_2^2}{8} - \frac{p}{2}(l_1 - l)\,l_1 = (p + k)\frac{l^2}{8},$$

или:

$$(p + k)\frac{l_2^2}{8} - \frac{p}{2} \times 0{,}207 \times 1{,}207\,l^2 = (p + k)\frac{l^2}{8};$$

$$(p + k)\,.\,l_2^2 - pl^2 = (p + k)\,l^2;$$

$$l_2^2 = l^2 + \frac{p}{p + k}l^2;$$

$$l_2 = l\left(\sqrt{1 + \frac{p}{p + k}}\right)^{*}); \quad \ldots\ldots\ldots \quad (\omega)$$

$$\frac{l_2}{m} = \frac{l_2}{0{,}207\,l} = \frac{1}{0{,}207}\sqrt{1 + \frac{p}{p + k}} = 4{,}83\sqrt{1 + \frac{p}{p + k}}^{**}) \quad \ldots\ldots \quad (\pi)$$

---

*) Тотъ же результатъ у Keck'a. Основы расчета строительныхъ сооруженій. Переводъ Страхова, Москва, 1896 г., стран. 129.

**) У Krohn'a:

$$\frac{l_2}{m} = 4{,}8284\sqrt{1 + \frac{p}{p + k}}.$$

Въ данномъ случаѣ при раздѣленіи пролета $l_2 + 2l_1$ на три равныя части, каждая часть:

$$\lambda = \frac{l_2 + 2l_1}{3}.$$

При $p =$

$= k$:

$$\lambda = \frac{l\sqrt{\frac{3}{2}} + 2 \times 1{,}207 l}{3} = 1{,}2129\, l.$$

Наибольшій моментъ:

$$(p + k)\frac{\lambda^2}{8} = 0{,}1839\, l^2 (p + k).$$

Въ случаѣ же примѣненія фермъ Гербера, наибольшій моментъ:

$$(p + k)\frac{l^2}{8} = 0{,}125\, (p + k)\, l^2.$$

Слѣдовательно, уменьшеніе наибольшаго момента составляетъ около 32%.

Примѣръ. Пусть общее отверстіе трехпролетнаго моста—L (рис. 320); затѣмъ сравнимъ объемы поясовъ и рѣшетки въ трехъ предположеніяхъ: 1) когда всѣ три пролета одинаковой длины $\frac{L}{3}$ и перекрываются разрѣзными фермами; 2) когда они перекрываются фермами Гербера съ двумя шарнирами по серединѣ, причемъ: $n = \frac{L}{3}$, $m = l = \frac{L}{9}$, и 3) когда при указанномъ выше типѣ фермъ Гербера отношеніе между n, m и l удовлетворяетъ равенству наибольшихъ моментовъ [см. формулы (δ), (ε), (η), $(\varkappa)$ и (λ)]. Кромѣ того, предположимъ, что: $p = p' = p'' = k = k' = k''$, что высота h постоянная и $\alpha = 45^0$.

1) Объемы поясовъ въ свободныхъ фермахъ получатся отъ умноженія площади наибольшихъ моментовъ на $\frac{2}{Rh}$; объемы раскосовъ—отъ умноженія площади наибольшихъ перерѣзывающихъ усилій на $\frac{1}{R\ cos\,\alpha\ sin\,\alpha} = \frac{2}{R}$, а объемъ стоекъ — отъ умноженія площади наибольшихъ перерѣзывающихъ усилій на:

$$\left(\frac{1}{R\ tang\,\alpha} + \frac{h}{lR}\right) = \frac{1}{R} + \frac{h}{lR},$$

гдѣ l—пролетъ.

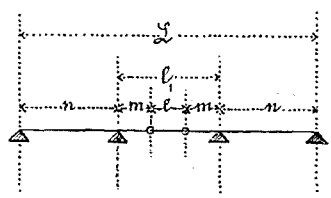


Рис. 320.

Слѣдовательно, объемъ частей фермы въ трехъ пролетахъ длиною каждый пролетъ $\lambda = \frac{L}{3}$ [см. формулы: (α), (β), (∂), (e) и $(\varkappa e)$]:

$$v_1 = 3\left[(p + k)\frac{\lambda^3}{12} \cdot \frac{2}{Rh} + \left(p\frac{\lambda^2}{4} + \frac{7}{24}k\lambda^2\right) \cdot \frac{2}{R} + \left(p\frac{\lambda^2}{4} + \frac{7}{24}k\lambda^2\right) \cdot \left(\frac{1}{R} + \frac{h}{\lambda R}\right)\right] =$$

$$= \frac{3}{R}\left[p\frac{\lambda^3}{3h} + \frac{13}{24}p\lambda^2\left(3 + \frac{h}{\lambda}\right)\right].$$

Если $h = \frac{\lambda}{10}$ то:

$$v_1 = \frac{3}{R}\left[\frac{10}{3}p\lambda^2 + \frac{40{,}3}{24}p\lambda^2\right] = \frac{3}{R} \times 5p\lambda^2 = 15p\frac{\lambda^2}{R} \quad \ldots\ldots \quad (A)$$

[Замѣтимъ здѣсь, что, на основаніи вышеизложеннаго, объемъ разрѣзной фермы пролетомъ λ: $5 \times p \cdot \frac{\lambda^2}{R}$. Если ψ—конструктивный коэффиціентъ: $\psi = 1{,}5$—$1{,}75$, δ—вѣсъ кубической единицы, то вѣсъ фермы: $P = 5 \times p\frac{\lambda^2}{R} \cdot \psi \cdot \delta$. Такъ какъ у насъ предположено, что: $p = k$, то это имѣетъ мѣсто для пролетовъ около 40,00 с. Для такихъ пролетовъ вѣсъ главныхъ фермъ на

погонный футъ пути: $p' = c\lambda = 0{,}22\,\lambda$, а вѣсъ *одной* фермы: $P = \frac{p'\lambda}{2} = 0{,}11\,\lambda^2$. Если: $\psi = 1{,}50$, $\delta = 13{,}33$ пуд, въ кубич. футѣ, $p = \frac{88}{2} = 44$ пуд. на погон. футъ фермы, $R = 275 \times 144 = 39600 \frac{\text{пуд.}}{\text{ф. т.}^2} \infty 40000 \frac{\text{пуд.}}{\text{ф. т.}^2}$, то: $P = 5 \cdot \frac{p}{R} \cdot \psi \cdot \delta \cdot \lambda^2 = 5 \cdot \frac{44}{40000} \times 1{,}50 \times 13{,}33 \lambda^2 = 0{,}1099\,\lambda^2$, что достаточно согласуется съ общепзвѣстной эмпирической формулой].

2) Такъ какъ: $n = \lambda$, $m = l = \frac{\lambda}{3}$, $l_1 = 2m + l = \lambda$, то:

$$c = \frac{m(l+m)}{n} = \frac{\lambda}{3} \cdot \frac{2\lambda}{3\lambda} = \frac{2}{9}\lambda$$

и на основаніи формулы (m), при $p = k$, для крайняго пролета:

$$M = \frac{p}{12}(2n^3 - 3n^2c + 9nc^2 - 3c^3) = \frac{p}{12}\left(2\lambda^3 - \frac{3 \cdot 2\lambda^3}{9} + \frac{9 \cdot 4\lambda^3}{81} - \frac{3 \cdot 8\lambda^3}{729}\right) =$$

$$= 0{,}1454\,\lambda^3 \cdot p.$$

Объемъ поясовъ въ *двухъ* крайнихъ пролетахъ:

$$v' = 2 \times 0{,}1454\,p\lambda^3 \frac{2}{Rh} = 0{,}5816\,\frac{p\lambda^3}{Rh} = 5{,}816\,\frac{p\lambda^2}{R}.$$

На основаніи формулы (c), для крайняго пролета, при $p = k$:

$$\omega = \frac{p}{24}(13n^2 + 12nc + 12c^2) = \frac{p}{24}\left(13\lambda^2 + \frac{12{,}2\lambda^2}{9} + \frac{12{,}4\lambda^2}{81}\right) = 0{,}6775\,p\lambda^2.$$

Слѣдовательно, объемъ раскосовъ и стоекъ въ двухъ крайнихъ пролетахъ:

$$v'' = 2 \times 0{,}6775\,p\lambda^2\left[\frac{2}{R} + \frac{1}{R} + \frac{h}{\lambda R}\right] = 4{,}201\,\frac{p\lambda^2}{R}.$$

Для средняго пролета, на основаніи формулы (β):

$$M = \frac{2}{24} \cdot p(l_1^3 - 3l_1l^2 + 4l^3) = \frac{1}{12}p\left(\lambda^3 - \frac{3\lambda^3}{9} + \frac{4\lambda^3}{27}\right) = 0{,}068\,p\lambda^3.$$

Объемъ поясовъ въ среднемъ пролетѣ:

$$v'_1 = 0{,}068\,p\lambda^3 \cdot \frac{2}{Rh} = \frac{0{,}136p\lambda^3}{Rh} = \frac{1{,}36\,p\lambda^2}{R}.$$

На основаніи формулы (γ):

$$\omega = \frac{pl_1^2}{4} + \frac{k}{24}(6l_1^2 + l^2) = \frac{p}{24}(12l_1^2 + l^2) = \frac{p}{24}\left(12\lambda^2 + \frac{\lambda^2}{9}\right) = 0{,}5046\,p\lambda^2.$$

Объемъ раскосовъ и стоекъ въ среднемъ пролетѣ:

$$v_1'' = 0{,}5046\,p\lambda^2\left[\frac{2}{R} + \frac{1}{R} + \frac{h}{\frac{\lambda}{3}R}\right] = 1{,}665\,\frac{p\lambda^2}{R}.$$

Объемъ фермъ во всѣхъ трехъ пролетахъ:

$$V = v' + v'' + v_1' + v_1'' = (5{,}816 + 4{,}201 + 1{,}36 + 1{,}665) \times \frac{p\lambda^2}{R} = 13{,}04\,\frac{p\lambda^2}{R} \ldots (B)$$

3) Въ разсматриваемомъ случаѣ, на основаніи формулы (λ):

$$l = \frac{2n}{1 + \sqrt{1 + \frac{p}{p+k}}} = \frac{2n}{1 + \sqrt{1 + \frac{1}{2}}} = 0{,}9n.$$

На основаніи формулы (η):

$$m = \frac{n}{2{,}413\left(1 + \sqrt{1 + \frac{p}{p + k}}\right)} = \frac{n}{2{,}413 \times 2{,}225} = 0{,}1863\, n.$$

Затѣмъ:

$$l_1 = 2m + l = 1{,}2726\, n \infty 1{,}27\, n;$$

$$c = \frac{m\,(l + m)}{n} = \frac{0{,}1863 \times 1{,}0863 \,.\, n^2}{n} = 0{,}2024\, n \infty 0{,}2\, n.$$

Слѣдовательно, на основаніи (m), для крайняго пролета, при $p = k$:

$$M = \frac{p}{12}(2n^3 - 3n^2c + 9nc^2 - 3c^3) = \frac{p}{12}(2n^3 - 3 \times 0{,}2n^3 + 9 \times 0{,}04n^3 - 3 \times 0{,}008n^3) =$$

$$= 0{,}1447\, pn^3.$$

Объемъ поясовъ въ двухъ крайнихъ пролетахъ:

$$v' = 2 \times 0{,}1447\, pn^3 \,.\, \frac{2}{Rh} = 0{,}5788\, \frac{pn^3}{Rh}.$$

Для удобства сравненія съ предыдущими случаями—выразимъ все въ функціи: $\lambda = \frac{L}{3}$.

Но:

$$2n + 2m + l = 3{,}27n = L,$$

откуда:

$$n = \frac{L}{3{,}27} = 0{,}306\, L.$$

Слѣдовательно:

$$\frac{n}{\lambda} = \frac{0{,}306}{0{,}333} = 0{,}919; \quad n = 0{,}919\, \lambda.$$

Поэтому, полагая также $h = 0{,}1\lambda$, имѣемъ:

$$v' = \frac{0{,}5788 \times \overline{0{,}919}^3\, p\lambda^3}{Rh} = \frac{5{,}788 \times \overline{0{,}919}^3\, p\lambda^2}{R} = 4{,}491\, \frac{p\lambda^2}{R}.$$

На основаніи формулы (c), для крайняго пролета, при $p = k$:

$$\omega = \frac{p}{24}(13n^2 + 12nc + 12c^2) = \frac{p}{24}(13n^2 + 12 \times 0{,}2n^2 + 12 \times 0{,}04n^2) = 0{,}662\, pn^2.$$

Слѣдовательно, объемъ раскосовъ и стоекъ въ двухъ крайнихъ пролетахъ:

$$v'' = 2 \times 0{,}662\, pn^2 \left(\frac{2}{R} + \frac{1}{R} + \frac{h}{nR}\right) = \frac{1{,}324}{R}\, pn^2 \left(3 + \frac{h}{n}\right),$$

или, выражая все въ функціи λ, т. е. замѣняя: $n = 0{,}919\, \lambda$:

$$v'' = \frac{1{,}324}{R} \cdot p\lambda^2\, \overline{(0{,}919)}^2 \left[3 + \frac{h}{0{,}919\, \lambda}\right] = \frac{1{,}324}{R}\, p\lambda^2\, (0{,}919)^2 \left[3 + \frac{1}{9{,}19}\right] = 3{,}485\, \frac{p\lambda^2}{R}.$$

Для средняго пролета, на основаніи формулы (ϕ):

$$M = \frac{2p}{24}(l_1{}^3 - 3l_1l^2 + 4l^3) = \frac{p}{12}[(1{,}27n)^3 - 3 \times 1{,}27 \times \overline{0{,}9}^2\, n^3 + 4 \times (0{,}9n)^3] =$$

$$= \frac{p}{12}(2{,}05n^3 - 3{,}09n^3 + 2{,}916n^3) = 0{,}1563\, pn^3.$$

Объемъ поясовъ въ среднемъ пролетѣ:

$$v_1' = 0{,}1563\ pn^3 \cdot \frac{2}{Rh} = \frac{0{,}3126\ p\lambda^3 \times (0{,}919)^3}{Rh} = \frac{3{,}126\ p\lambda^2 \times (0{,}919)^3}{R} = 2{,}425\frac{p\lambda^2}{R}.$$

При опредѣленіи объема раскосовъ и стоекъ въ среднемъ пролетѣ, состоящемъ изъ двухъ консолей длиною m и свободно-лежащей фермы длиною l, придется, между прочимъ, площадь перерѣзывающихъ усилій умножить: въ первомъ случаѣ на $\left(\frac{2}{R} + \frac{1}{R} + \frac{h}{mR}\right)$, а во второмъ на $\left(\frac{2}{R} + \frac{1}{R} + \frac{h}{lR}\right)$. Такъ какъ здѣсь m и l не равны между собою, то нельзя, какъ въ предыдущемъ случаѣ, брать сумму площадей перерѣзывающихъ усилій для двухъ консолей m и свободной фермы l и затѣмъ умножать на общій множитель $\left(\frac{2}{R} + \frac{1}{R} + \frac{h}{\frac{\lambda}{3}R}\right)$, гдѣ: $m = l = \frac{\lambda}{3}$. Необходимо взять отдѣльно площадь перерѣзывающихъ усилій для m и l и соотвѣтственно умножить на

$$\left(\frac{2}{R} + \frac{1}{R} + \frac{h}{mR}\right) \text{ и } \left(\frac{2}{R} + \frac{1}{R} + \frac{h}{lR}\right).$$

Площадь перерѣзывающихъ усилій для консоли m (что есть, очевидно, формула (i), умноженная на m):

$$(p + k)\frac{l}{2}\,m + (p + k)\frac{m^2}{2} = 2pm\left(\frac{l+m}{2}\right) = pm\,(l + m) =$$

$$= p.0{,}186\,n \times 1{,}086\,n = 0{,}202\,pn^2.$$

Объемъ раскосовъ и стоекъ въ двухъ консоляхъ:

$$2 \times 0{,}202\,pn^2\left(\frac{2}{R} + \frac{1}{R} + \frac{h}{mR}\right) = \frac{0{,}404}{R}\left(3 + \frac{h}{m}\right)pn^2 =$$

$$= \frac{0{,}404}{R}\left(3 + \frac{h}{0{,}186\,n}\right)pn^2 = \frac{0{,}404}{R}\left(3 + \frac{h}{0{,}186 \times 0{,}919\,\lambda}\right)p\,(0{,}919)^2\,\lambda^2 =$$

$$= \frac{0{,}404}{R}\left(3 + \frac{1}{1{,}71}\right)0{,}845\,p\lambda^2 = \frac{1{,}221\ p\lambda^2}{R}.$$

Площадь перерѣзывающихъ усилій для свободно-лежащей фермы длиною l (что есть, очевидно, формула (d), умноженная на l):

$$\frac{pl^2}{4} + \frac{7}{24}\,kl^2 = \frac{13}{24}\,pl^2 = \frac{13}{24} \times (0{,}9)^2 p\,.\,n^2.$$

Объемъ раскосовъ и стоекъ въ свободной фермѣ:

$$\frac{13}{24} \times (0{,}9)^2\,.\,pn^2\left(\frac{2}{R} + \frac{1}{R} + \frac{h}{lR}\right) = \frac{0{,}439\,pn^2}{R}\left(3 + \frac{h}{0{,}9\,n}\right) =$$

$$= 0{,}439\ p\,\frac{(0{,}919)^2\lambda^2}{R}\left(3 + \frac{h}{0{,}9 \times 0{,}919 \times \lambda}\right) = 0{,}371\,\frac{p\lambda^2}{R}\left(3 + \frac{1}{8{,}27}\right) = 1{,}158\frac{p\lambda^2}{R}.$$

Слѣдовательно, объемъ раскосовъ и стоекъ въ среднемъ пролетѣ:

$$v_1'' = 1{,}221\,\frac{p\lambda^2}{R} + 1{,}158\,\frac{p\lambda^2}{R} = 2{,}379\ \frac{p\lambda^2}{R}.$$

Слѣдовательно, общій объемъ фермъ во всѣхъ трехъ пролетахъ:

$$V = v' + v'' + v_1' + v_1'' = 4{,}491\ \frac{p\lambda^2}{R} + 3{,}485\ \frac{p\lambda^2}{R} + 2{,}425\ \frac{p\lambda^2}{R} +$$

$$+ 2{,}379\ \frac{p\lambda^2}{R} = 12{,}780\ \frac{p\lambda^2}{R} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (C)$$

Сравнивая объемы (A), (B) и (C), имѣемъ:

$$1)\ V = 15\ \frac{p\lambda^2}{R} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ (A);$$

$$2)\ V = 13{,}04\ \frac{p\lambda^2}{R} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ (B);$$

$$3)\ V = 12{,}78\ \frac{p\lambda^2}{R} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ (C),$$

т. е. расположеніе (3) — наиболѣе выгодное, доставляющее по сравненію съ (1) сбереженія около $\frac{2{,}22 \times 100}{15} = 14\%$. Расположеніе (2) по сравненію съ тремя независимыми пролетами даетъ сбереженія: $\frac{1{,}96 \times 100}{15} = 13\%$.

Такимъ образомъ при заданныхъ условіяхъ относительно нагрузокъ и высоты, равенство крайнихъ и средняго пролетовъ, въ случаѣ, если каждая изъ консолей составляетъ $^1/_3$ пролета [расположеніе (2)], не есть наиболѣе выгодное расположеніе. Крайніе пролеты должны быть менѣе средняго (примѣрно около 0,9), и консоли должны составлять около 0,2 отъ крайняго пролета.

Сравнивая въ каждомъ изъ расположеній отдѣльно объемы поясовъ и рѣшетки, мы замѣчаемъ:

	Объемъ поясовъ.	Объемъ рѣшетки.
въ расположеніи (1)	$10\ p\lambda^2$	$5{,}04\ p\lambda^2$
» расположеніи (2)	$7{,}17\ p\lambda^2$	$5{,}87\ p\lambda^2$
» расположеніи (3)	$6{,}92\ p\lambda^2$	$5{,}86\ p\lambda^2$

т. е., что по сравненію съ разрѣзными фермами въ типѣ фермъ Гербера пояса *легче* на 30%, а рѣшетка *тяжелѣе* на 17%, съ общимъ, однако, сбереженіемъ около 13%—15%. Затѣмъ въ разрѣзныхъ фермахъ объемъ рѣшетки составляетъ около 0,50 отъ объема поясовъ, а въ фермахъ Гербера—около 0,84.

О наивыгоднѣйшемъ отношеніи между пролетами при перемѣнномъ сѣченіи фермъ см. Winkler, Theorie der Brücken, Heft I, Lieferung 1, стран. 49—51. Большой разницы въ результатахъ съ предыдущимъ случаемъ не замѣчается. При разныхъ предположеніяхъ относительно p и k площади моментовъ въ фермахъ Гербера (по Винклеру) *менѣе* площадей моментовъ при разрѣзныхъ фермахъ примѣрно на 19% – 50%, а площади перерѣзывающихъ усилій—*болѣе* на 3%—8%.

2) *Наивыгоднѣйшее отношеніе между длиною консолей m и свободно-лежащей балки l независимо отъ вліянія на величину объема фермъ въ крайнемъ пролетѣ n.*

Если положить: $p = p' = k = k'$ и $\alpha = 45^\circ$, то объемъ поясовъ въ свободной фермѣ:

$$\frac{pl^3}{3Rh}\ \text{[см. формулу } (б)\text{]};$$

объемъ раскосовъ:

$$\frac{13}{24} \cdot \frac{pl^2}{R} \cdot 2 = 1{,}1\ \frac{pl^2}{R}\ \text{[см. формулу } (е)\text{]};$$

объемъ стоекъ:

$$\frac{13}{24} \cdot \frac{pl^2}{R} + \frac{13}{24} \cdot \frac{phl}{R}\ \text{[см. формулу } (ж)\text{]}.$$

Въ двухъ консоляхъ, длиною каждая—m,

объемъ поясовъ:

$$\frac{4pm^2}{Rh}\left(\frac{l}{2} + \frac{m}{3}\right)\ \text{[см. формулу } (и')\text{]};$$

объемъ раскосовъ:

$$\frac{2pm\ (l + m)}{R \times 0{,}50}\ \text{[см. формулу } (к')\text{]};$$

объемъ стоекъ:

$$\frac{2p\,(l+m)}{R}\,(m+h) \quad [\text{см. формулу } (a')].$$

Обозначая сумму шести написанныхъ выраженій чрезъ V, рѣшая совмѣстно: $L=l+2m$ и $\frac{dv}{dm}=0$, гдѣ l—длина свободной балки и m—длина консолей, и замѣчая, что три первыя выраженія не зависятъ отъ m, получимъ:

$$v = A + \frac{4pm^2}{Rh}\left(\frac{L}{2} - m + \frac{m}{3}\right) + \frac{4pm}{R}(L-m) + \frac{2p}{R}(L-m)\,.\,(m+h);$$

$$\frac{dv}{dm} = \frac{4p}{Rh}(mL - 2m^2) + \frac{4p}{R}(L-2m) + \frac{2p}{R}(L-2m-h) = 0;$$

$$\frac{2mL}{h} - \frac{4m^2}{h} + 3L - 6m - h = 0;$$

$$m^2 - m\left(\frac{L}{2} - \frac{3h}{2}\right) - (3L-h)\frac{h}{4} = 0;$$

$$m = \frac{L}{4} - \frac{3h}{4} \pm \sqrt{\left(\frac{L}{4} - \frac{3h}{4}\right)^2 + (3L-h)\frac{h}{4}}.$$

Если: $h = \frac{L}{10}$, то:

$$m = \frac{L}{4} - \frac{3L}{40} \pm \sqrt{\left(\frac{L}{4} - \frac{3L}{40}\right)^2 + (2{,}9)\frac{L^2}{40}} =$$

$$= 0{,}175L \pm \sqrt{(0{,}175\,L)^2 + 0{,}072\,L^2} = 0{,}175\,L + 0{,}32\,L = 0{,}495\,L,$$

т. е. почти половина пролета, причемъ: $l = 0{,}01\,L$. Если же взять въ расчетъ вліяніе этого распредѣленія на крайній пролетъ n, то обнаружится невыгода такого дѣленія пролетовъ.

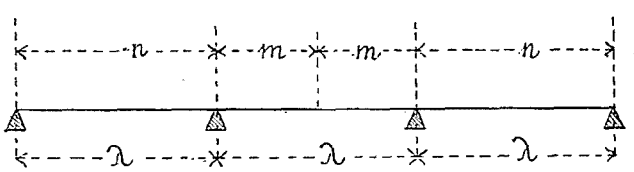


Рис. 321.

Дѣйствительно, для указаннаго на рис. 321 распредѣленія:

$$n = \lambda = \frac{L}{3}, \quad m = \frac{\lambda}{2}, \quad l = 0.$$

Слѣдовательно:

$$l_1 = 2m + l = \lambda; \quad c = \frac{m\,(l+m)}{n} = \frac{\lambda}{4}.$$

На основаніи формулы (m), для крайняго пролета:

$$M = \frac{p}{12}(2n^3 - 3n^2c + 9nc^2 - 3c^3) = \frac{p}{12}\left(2\lambda^3 - \frac{3\lambda^3}{4} + \frac{9\lambda^3}{16} - \frac{3\lambda^3}{64}\right) = 0{,}147\,p\lambda^3.$$

Объемъ поясовъ въ двухъ крайнихъ пролетахъ:

$$v' = 2 \times 0{,}147\,p\lambda^3 \cdot \frac{2}{Rh} = 0{,}588\,\frac{p\lambda^3}{Rh} + 5{,}88\,\frac{p\lambda^2}{R}\,.$$

На основаніи формулы (c), для крайняго пролета:

$$\omega = \frac{p}{24}(13n^2 + 12nc + 12c^2) = \frac{p}{24}\left(13\lambda^2 + \frac{12\lambda^2}{4} + \frac{12\lambda^2}{16}\right) = 0{,}7\,p\lambda^2.$$

Объемъ раскосовъ и стоекъ въ двухъ крайнихъ пролетахъ:

$$v'' = 2 \times 0{,}7\, p\lambda^2 \left(\frac{2}{R} + \frac{1}{R} + \frac{h}{\lambda R} \right) = 4{,}34\, \frac{p\lambda^2}{R}.$$

Для средняго пролета, на основаніи формулы (ϕ):

$$M = \frac{2}{24}\, p\, (l_1^3 - 3\, l_1 l^2 + 4 l^3) = \frac{p}{12}\, \lambda^3 = 0{,}083\, p\lambda^3.$$

Объемъ поясовъ въ среднемъ пролетѣ:

$$v'_1 = 0{,}083\, p\lambda^3 \cdot \frac{2}{Rh} = 1{,}66\, \frac{p\lambda^2}{R}.$$

На основаніи формулы (y):

$$\omega = \frac{p l_1^2}{4} + \frac{k}{24}\, (6 l_1^2 + l^2) = \frac{p}{24}\, (12\lambda^2) = 0{,}5 p\lambda^2.$$

Объемъ раскосовъ и стоекъ въ среднемъ пролетѣ:

$$v''_1 = 0{,}5\, p\lambda^2 \left(\frac{2}{R} + \frac{1}{R} + \frac{h}{\frac{\lambda}{2} R} \right) = 1{,}6\, \frac{p\lambda^2}{R}.$$

Объемъ фермъ во всѣхъ трехъ пролетахъ:

$$V = v' + v'' + v'_1 + v''_1 = (5{,}88 + 4{,}34 + 1{,}66 + 1{,}6)\, \frac{p\lambda^2}{R} = 13{,}48\, \frac{p\lambda^2}{R} \quad \ldots\ldots \quad (D)$$

Слѣдовательно, это распредѣленіе невыгоднѣе (2) и (3), но все-таки выгоднѣе (1).

Если, наконецъ, сдѣлать средній пролетъ вдвое болѣе крайнихъ, при чемъ, какъ и ранѣе, $l = 0$, (рис. 322), то:

$$n = \lambda'; \; m = \lambda'; \; l = 0; \; l_1 = 2m + l = 2\lambda'; \; c = \frac{m\,(l + m)}{n} = \lambda'; \lambda' = 0{,}75\, \lambda.$$

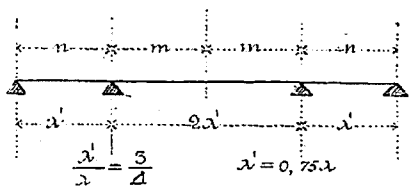


Рис. 322.

Слѣдовательно, на основаніи формулы (m), для крайняго пролета:

$$M = \frac{p}{12}\, (2n^3 - 3n^2 c + 9nc^2 - 3c^3) = \frac{p}{12}\, (2\lambda'^3 - 3\lambda'^3 + 9\lambda'^3 - 3\lambda'^3) = 0{,}417 p\lambda'^3.$$

Объемъ поясовъ въ двухъ крайнихъ пролетахъ:

$$v' = 2 \times 0{,}417\, p\lambda'^3 \cdot \frac{2}{Rh} = \frac{1{,}668 \cdot p\lambda^3\, (0{,}75)^3}{Rh} = 7{,}04\, \frac{p\lambda^2}{R}.$$

На основаніи формулы (c), для крайняго пролета:

$$\omega = \frac{p}{24}\, (13n^2 + 12nc + 12c^2) = \frac{p}{24}\, (13\lambda'^2 + 12\lambda'^2 + 12\lambda'^2) = \frac{37}{24}\, p\lambda'^2 = 1{,}54\, p\lambda'^2.$$

Объемъ раскосовъ и стоекъ въ двухъ крайнихъ пролетахъ:

$$v'' = 2 \times 1{,}54 p\lambda'^2 \left(\frac{2}{R} + \frac{1}{R} + \frac{h}{\lambda' R} \right) = 3{,}08\, \frac{p\lambda^2}{R}\, (0{,}75)^2 \cdot \left(3 + \frac{h}{0{,}75\, \lambda} \right) = 5{,}42\, \frac{p\lambda^2}{R}.$$

Для средняго пролета, на основаніи формулы (ϕ):

$$M = \frac{2p}{24}\, (l_1^3 - 3 l_1 l^2 + 4 l^3) = \frac{p}{12}\, (8\lambda'^3) = 0{,}67\, p\lambda'^3 = 0{,}67\, \overline{(0{,}75)^3}\; p\lambda^3 = 0{,}28\, p\lambda^3.$$

Объемъ поясовъ въ среднемъ пролетѣ:

$$v'_1 = 0{,}28\,\frac{p\lambda^3 \cdot 2}{Rh} = 5{,}6\,\frac{p\lambda^2}{R}.$$

На основаніи формулы (y):

$$\omega = \frac{p}{24}\,(12 l_1^2 + l^2) = \frac{p}{2} \cdot 4\lambda'^2 = 2p\lambda'^2.$$

Объемъ раскосовъ и стоекъ въ среднемъ пролетѣ:

$$v_1'' = 2p\lambda'^2\left(\frac{2}{R} + \frac{1}{R} + \frac{h}{\lambda' R}\right) = \frac{2p\lambda'^2}{R}\left(3 + \frac{h}{\lambda'}\right) =$$

$$= \frac{2p\,(0{,}75)^2 \cdot \lambda^2}{R}\left(3 + \frac{h}{0{,}75\,\lambda}\right) = 3{,}52\,\frac{p\lambda^2}{R}.$$

Объемъ во всѣхъ трехъ фермахъ:

$$V = v' + v'' + v_1' + v_1'' = (7{,}04 + 5{,}42 + 5{,}6 + 3{,}52)\,\frac{p\lambda^2}{R} = 21{,}58\,\frac{p\lambda^2}{R} \quad \ldots \quad (E)$$

Слѣдовательно, это расположеніе даже многимъ невыгоднѣе (объемъ болѣе, примѣрно, на 40%) расположенія (1) съ тремя равными отдѣльными пролетами, что и нужно было ожидать.

IV.

Внѣшнія силы, вызывающія усилія въ составныхъ частяхъ фермъ.

Внѣшнія силы, вызывающія усилія въ составныхъ частяхъ фермъ, могутъ быть раздѣлены на три группы:

I. На вертикальныя силы:

а) собственный вѣсъ, т. е. постоянная нагрузка; б) подвижная нагрузка; в) вертикальные удары при проходѣ подвижного груза; г) сопротивленіе опоръ.

II. На горизонтальныя силы:

а) давленіе вѣтра; б) боковыя качанія, сопровождающія перемѣщеніе подвижного груза; в) центробѣжная сила въ кривыхъ чаетяхъ пути.

III. Вліяніе температуры.

Постоянная нагрузка (собственный вѣсъ). Эмпирическія формулы и данныя для опредѣленія собственнаго вѣса деревянныхъ пролетныхъ частей мостовъ подъ желѣзную и обыкновенную дороги съ фермами изъ одиночныхъ балокъ, изъ составныхъ балокъ, съ фермами со сквозной стѣнкой, подносными, подвѣсными и арочными. Эмпирическія формулы и данныя для опредѣленія собственнаго вѣса металлическихъ пролетныхъ частей мостовъ подъ желѣзную и обыкновенную дороги съ фермами балочной системы, разрѣзными и неразрѣзными, системы Гербера, со сплошной и сквозной стѣнками. Эмпирическія формулы и данныя для опредѣленія собственнаго вѣса пролетныхъ частей мостовъ подъ желѣзную и обыкновенную дороги съ фермами арочной и висячей системъ. Собственный вѣсъ каменныхъ пролетныхъ частей.

Собственный вѣсъ пролетныхъ частей моста составляется изъ собственнаго вѣса главныхъ фермъ моста, проѣзжей части и связей. Что касается вѣса проѣзжей части и связей или, другими словами, сѣченія элемеитовъ проѣзжей части и связей, то таковыя не зависятъ отъ вѣса главныхъ фермъ и могутъ быть опредѣлены предварительно, при чемъ для перваго приближенія можно или пренебречь

собственнымъ вѣсомъ элементовъ проѣзжей части или задаться имъ примѣрно. Что же касается собственнаго вѣса главныхъ фермъ моста, или иначе сѣченія элементовъ главной фермы, то таковое существенно зависитъ отъ вѣса фермы и поэтому вѣсомъ нельзя пренебречь и для перваго приближенія.

Если въ формулы, выражающія усилія въ различныхъ составныхъ частяхъ главныхъ фермъ, ввести вліяніе собственнаго вѣса фермъ, какъ неизвѣстную величину, то выкладки становятся крайне сложными, и поэтому для предварительнаго расчета пользуются въ отношеніи собственнаго вѣса данными, взятыми изъ существующихъ пролетныхъ частей моста того же типа и той же величины пролета или же опредѣляютъ собственный вѣсъ по эмпирическимъ формуламъ, составленнымъ по такимъ же даннымъ. Опредѣливъ на основаніи этихъ данныхъ и подвижной нагрузки размѣры частей мостовой фермы, вычисляютъ дѣйствительный собственный вѣсъ, и если онъ отличается отъ принятаго въ расчетѣ болѣе, чѣмъ на $10^0/_0$, дѣлаютъ второй расчетъ усилій и размѣровъ съ исправленными данными собственнаго вѣса.

Собственный вѣсъ па погонную единицу увеличивается вмѣстѣ съ пролетомъ. Для извѣстныхъ системъ мостовыхъ фермъ изъ того или другого матеріала составлены эмпирическія формулы собственнаго вѣса пролетныхъ частей моста *на погонную единицу пути* (желѣзиодорожные мосты), *на квадратную единицу мостового полотна* или *на погонную единицу мостового полотна опредѣленной ширины* (мосты подъ обыкновенную дорогу).

Общій видъ большинства этихъ формулъ: $p = Cl + F$ или $p = Cl + C'l^2 + F$, гдѣ C, C' и F—постоянные коэффиціенты: членъ F, независящій отъ пролета *), выражаетъ собственный вѣсъ проѣзжей части, а Cl или $C'l^2$ — вѣсъ главныхъ фермъ или главныхъ прогоновъ. Слѣдовательно p выражаетъ полный собственный вѣсъ на погонную единицу желѣзнодорожнаго пути, также на квадратную единицу площади мостового полотна, или на погонную единицу мостового полотна опредѣленной ширины.

Что касается вѣса связей, то нѣкоторые относятъ ихъ въ членъ Cl, а другіе, какъ напримѣръ, Шюблеръ, въ членъ F. Такъ какъ на размѣры связей имѣетъ вліяніе высота фермы, а эта послѣдняя зависитъ отъ пролета, то казалось бы правильнѣе первое предположеніе, тѣмъ болѣе еще, что въ мостахъ съ ѣздою по-верху разстояніе между фермами, вліяющее на длину связей, также находится въ зависимости отъ величины пролета **).

Преимущество этого вида формулъ—простота; къ слабымъ же сторонамъ слѣдуетъ отнести то, что значенія коэффиціентовъ остаются справедливыми лишь для фермъ даннаго типа, опредѣленной высоты, при опредѣленномъ коэффиціентѣ допускаемаго напряженія и пр. Поэтому предпочтеніе слѣдуетъ отдать другому виду эмпирическихъ формулъ, хотя болѣе сложному, гдѣ вѣсъ пролетныхъ частей моста выраженъ въ функціи величины пролета, вѣса проѣзжей части, высоты фермы, подвижной нагрузки и коэффиціента допускаемаго напряженія.

---

*) Въ желѣзнодорожныхъ мостахъ значеніе коэффиціента F находится въ зависимости отъ расположенія ѣзды по-верху или по-низу, что обусловливаетъ собою опредѣленное разстояніе между фермами, вліяющее на длину, а слѣдовательно и на размѣры поперечныхъ балокъ. При большихъ пролетахъ это различіе выравнивается. Кромѣ того разстояніе между фермами находится отчасти въ зависимости и отъ величины пролета; особенно рѣзко это проявляется въ мостахъ съ ѣздою по-верху, такъ что для желѣзнодорожныхъ мостовъ членъ F можно считать постояннымъ лишь для опредѣленныхъ серій пролетовъ.

**) Виклеръ относитъ часть вѣса связей въ членъ Cl, а другую часть въ членъ F.

Приводимъ наиболѣе употребительныя формулы. (Въ нѣкоторыхъ изъ формулъ приняты за единицы килограммъ и метръ; 1 килограммъ = 0,061 пуда; 1 метръ = 3,28 ф.; 1 квадратный метръ = 10,76 квадратнаго фута).

Деревянныя пролетныя части.

1) Фермы (главные прогоны) изъ одиночныхъ балокъ.

Мосты подъ желѣзную дорогу.

а) По *Heinzerling*'у *) въ формулѣ вида $p = Cl + F$; $C = 84$; $F = 400$; $p = 84l + 400$ килограммовъ на погонный метръ пути, причемъ 400 килогр. представляетъ вѣсъ поперечинъ, настила и рельсовъ со скрѣпленіями:

б) По *Winkler*'у **): $C = 11 + 15{,}4l$; $F = 536$ килогр. на погон. метръ пути при нагрузкѣ на ось въ 13 тоннъ и $F = 505$ килогр. при нагрузкѣ на ось въ 10 тоннъ. Такимъ образомъ по Винклеру; $p = 11l + 15{,}4l^2 + (505$ до $536)$ кил. на погонный метръ пути.

в) Изъ существующихъ у насъ примѣровъ можно вывести слѣдующія данныя:

Для пролета въ $l = 0{,}8$ с. = 5,6 ф. на погон. ф. пути:

вѣсъ главныхъ фермъ	2,22	пуд.
вѣсъ поперечинъ	3,33	»
вѣсъ настила и охранныхъ брусьевъ	2,45	»
вѣсъ рельсовъ со скрѣпленіями	1,13	»

Для пролета въ $l = 2$ с. = 14 ф. на погон. ф. пути:

вѣсъ главныхъ фермъ	7,8	»
вѣсъ поперечинъ (поочередно короткихъ и длинныхъ)	4,7	»
вѣсъ настила и охранныхъ брусьевъ	3,7	»
вѣсъ рельсовъ со скрѣпленіями	1,13	»

Слѣдовательно въ первомъ случаѣ имѣемъ формулу:

$$p \text{ пуд.} = Cl + F = 0{,}4l + 6{,}91 \text{ на пог. ф. пути;}$$

во второмъ случаѣ:

$$p \text{ пуд.} = 0{,}55l + 9{,}53 \text{ на пог. ф. пути.}$$

На Средне-Сибирской желѣзной дорогѣ:

При величинѣ пролета $l = 1$ с. = 7 ф. на пог. ф. пути:

вѣсъ главныхъ фермъ	4	пуд.
вѣсъ поперечинъ длиною 15′	5,7	»
вѣсъ досокъ и охранныхъ брусьевъ	2,2	»
вѣсъ рельсовъ	1,13	»

откуда:

$$p \text{ пуд.} = Cl + F = 0{,}57l + 9{,}0.$$

При величинѣ пролета $l = 2$ с. = 14 ф. на пог. ф. пути:

вѣсъ главныхъ фермъ	11,5	пуд.
вѣсъ поперечинъ	5,7	»

*) Heinzerling. Die Brücken der Gegenwart.
**) Winkler. Vorträge über Brückenbau. Hölzerne Brücken.

вѣсъ досокъ и охранныхъ брусьевъ . . . . . 2,2 пуд.
вѣсъ рельсовъ . . . . . 1,13 »

откуда:

$$p \text{ пуд.} = Cl + F = 0{,}8l + 9{,}0.$$

Слѣдовательно въ формулѣ: $p = Cl + F$, если выражать въ пудахъ и футахъ, коэффиціентъ C измѣняется для пролетовъ отъ $l = 0{,}9$ с. до $l = 2$ с. въ предѣлахъ отъ 0,4 до 0,8; членъ F — имѣетъ постоянное значеніе около 9 пуд. на погонный футъ пути.

Мосты подъ обыкновенную дорогу.

а) По *Heinzerling*'у въ формулѣ вида: $p = Cl + F$, $C = 11$; F — измѣняется отъ 150 до 550 килограммовъ на квадратный метръ, смотря потому, будетъ ли одиночный досчатый настилъ или каменная мостовая на досчатомъ настилѣ; въ среднемъ слѣдовательно: $p = 11l + 350$ кнлогр.

б) По *Винклеру*:

Для легкихъ фуръ . . . . . $C = 7{,}2$ до $9{,}4$
» тяжелыхъ фуръ . . . . . $C = 10{,}2$ » $11{,}8$
» очень тяжелыхъ фуръ. . . . . $C = 11{,}6$ » $13{,}4$

Меиьшіе коэффиціенты относятся къ мостовому полотну изъ досчатаго настила, а большіе къ каменной мостовой. При этомъ предполагается, что разстояніе между осями балокъ (фермъ) около 0,8 метра; съ увеличеніемъ этого разстоянія на 0,1 метра—собственный вѣсъ уменьшается на 4%.

Далѣе: при одиночномъ настилѣ . . . . $F = 130$ кнлогр. на кв. метръ
» двойномъ » . . . . $F = 170$ » » »
» торцовой мостовой . . . . $F = 300$ » » »
» щебеночной » . . . . $F = 380$ » » »
» каменной » . . . . $F = 690$ » » »

2. Фермы (главные прогоны) изъ составныхъ балокъ.

Мосты подъ желѣзную дорогу.

а) По *Heinzerling*'у: p кил. $= 83l + 650$ на пог. метръ пути (по сравненію съ главными прогонами изъ одиночныхъ балокъ членъ F больше отъ прибавки вѣса крестообразныхъ связей).

б) По *Winkler*'у: p кил. $= 60l +$ (505 до 536) килогр.; кромѣ того добавочный вѣсъ отъ связей: $p' = 8{,}5l + 90$ килограммовъ на погонный метръ пути.

Мосты подъ обыкновенную дорогу.

а) По *Heinzerling*'у: $C = 10$; F отъ 150 до 550 кнлогр., въ среднемъ: p кил. $= 10l + 350$.

б) По *Winkler*'у:

для легкихъ фуръ . . . . . $C = 9$
» тяжелыхъ фуръ. . . . . $C = 10$
» очень тяжелыхъ фуръ. . . . . $C = 11$

Разстояніе между осями балокъ (фермъ) принято въ 1,2 метра. При каждомъ увеличеніи или уменьшеніи этого разстоянія на 0,1 метра коэффиціенты слѣдуетъ уменьшить или увеличить на 3%; F—имѣетъ прежнее значеніе.

3. Фермы со сквозною стѣнкою.

Мосты подъ желѣзную дорогу.

Сколько извѣстно, не составлено эмпирическихъ формулъ для деревянныхъ фермъ этой системы. Для предварительнаго расчета можно пользоваться формулами, данными для желѣзныхъ мостовъ, такъ какъ отношеніе между коэффиціентами прочнаго сопротивленія желѣза и дерева приблизительно равно отношенію между вѣсами кубич. едпп. обоихъ матеріаловъ.

а) Въ трудѣ г. Журавскаго: «о мостахъ системы Гау» приведенъ собственный вѣсъ Веребьинскаго 9-ти пролетнаго моста подъ два пути съ тремя фермами системы Гау. Величина каждаго пролета 179,2 ф. Собственный вѣсъ всѣхъ главныхъ фермъ — 66191 пудъ, а присоединяя сюда вѣсъ связей въ 4777 пуд., получимъ всего 70968 пуд., или на погонный футъ пролета: $\frac{70968}{9 \times 179{,}2} = 44{,}00$ пуда; а на погонный футъ одного пути, въ виду того, что средняя форма разсчитана въ предположеніи нагрузки обоихъ путей: $\frac{44{,}00}{2} = 22{,}00$ пуда.

Но принимая во вниманіе, что четыре фермы подъ два пути потребуютъ, во всякомъ случаѣ, болѣе матеріала, чѣмъ три фермы, въ виду увеличенія числа обратныхъ раскосовъ, которымъ всегда придаются излишніе размѣры, что число поясовъ, имѣющихъ всегда запасъ въ крайнихъ панеляхъ, также увеличится, и наконецъ, что фермы Веребьинскаго моста неразрѣзныя, — въ виду всего этого найденное число слѣдуетъ увеличить, по крайней мѣрѣ на $50^0/_0$, чтобы получить собственный вѣсъ разрѣзныхъ фермъ подъ одинъ путь. Тогда будемъ имѣть:

$$22{,}00 \times 1{,}5 = 33{,}00 \text{ пуда.}$$

Собственный вѣсъ обшивки, настила, продольныхъ лежней, предохранительныхъ брусьевъ и поперечинъ составляетъ на одинъ погонный футъ пути:

$$\frac{53620}{8 \times 179{,}2 \times 2} = 16{,}62 \text{ пуда.}$$

Если не считать желѣзной обшивки, предохранительныхъ брусьевъ и взять сплошной настилъ меньшихъ размѣровъ, тогда собственный вѣсъ настила, продольныхъ лежней и поперечинъ, не считая рельсовъ, составляетъ всего около 36000 пуд., или на погонный футъ пути: $\frac{36000}{9 \times 179{,}2 \times 2} = 11{,}16$ пуда, а съ рельсами и скрѣпленіями нормальнаго ширококолейнаго типа: 11,16 п. + 1,30 п. = 12,46 п., или 12,5 пуда на погонный футъ пути (что соотвѣтствуетъ 672 килограммамъ на погонный метръ пути).

Предполагая, что вѣсъ главныхъ фермъ на погонный футъ измѣняется пропорціонально пролету, т. е. $33{,}00 = C \,.\, 179{,}2$, то $C = 0{,}185$, или 0,19. Слѣдовательно:

$$p \text{ пуд.} = Cl + F = 0{,}19l + 12{,}5 \text{ на пог. ф. пути} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (a)$$

б) Въ Bau-Constructions-Lehre von Frauenholz собственный вѣсъ фермы системы Гау для пролета въ 50 метровъ при ѣздѣ по-верху принятъ въ 400 килограммовъ на погонный метръ одной фермы или въ 800 кил. на пог. метръ пути. Предыдущая же формула даетъ 1184 килограмма.

в) При расчетѣ моста черезъ р. Оку на Московско-Рязанской желѣзной дорогѣ

съ желѣзными поясами и деревянными раскосами, полный вѣсъ моста съ подвижной нагрузкой принятъ по окончательной провѣркѣ въ 21306 пуд. для пролета въ 27 саженъ, что составляетъ на погонный футъ пути 112,8 пуда. Подвижная нагрузка была принята въ 74 пуда на погонный футъ пути. Слѣдовательно на собственный вѣсъ остается 38,8 пуда.

Если же пользоваться формулою (*a*), то собственный вѣсъ на погонный футъ пути для этого пролета составилъ бы 48,41 пуда.

Въ виду того, что въ настоящее время подвижная нагрузка значительно усилена противъ той, которая принималась въ расчетъ при проектированіи Веребьинскаго и Окскаго мостовъ (такъ, напр., для $l = 27$ с., подвижная нагрузка составляетъ въ настоящее время около 100 пуд. на погонный футъ пути вмѣсто 74 пуд.) и рельсы укладываются на шпалахъ, а не на лежняхъ, то коэффиціенты въ формулѣ (*a*) повидимому должны быть увеличены.

г) При проектированіи на Западно-Сибирской жел. дорогѣ пролетныхъ частей системы Гау съ чугунными подушками оказалось, что при расчетномъ пролетѣ въ 75 футъ—полный вѣсъ моста составляетъ 3384 пуд. *), въ томъ числѣ проѣзжая часть, включая и рельсы—1220 пуд., чему соотвѣтствуетъ формула:

$$p \text{ пуд.} = 0{,}385\,l + 16{,}3 \text{ на пог. ф. пути.}$$

Въ построенныхъ на Средне-Сибирской ж. д. трехъ мостахъ съ фермами системы Гау чрезъ р. Лебяжью (два пролета по 10 с.) чрезъ р.р. Укъ (одинъ пролетъ) и Мару (два пролета по 10 саж.) оказался нижеслѣдующій полный вѣсъ пролетныхъ частей. Всѣ три моста съ ѣздою по-верху, съ дубовыми подушками и имѣютъ расчетный пролетъ въ 74 ф. 8 д.

Названіе.	Пролетныя части моста чрезъ р. Лебяжью.		Пролетныя части мостовъ чрезъ р.р. Укъ и Мару.		ПРИМѢЧАНІЯ.
	Дерева.	Металла.	Дерева.	Металла.	
	пудовъ.		пудовъ.		
Главныя фермы. .	[1] 2099,6	834,65	1603,82	446,34	[1]) Въ томъ числѣ нижній настилъ—105,29 пуд.
Связи	172,1	43,3	197,83	30,10	[2]) Въ томъ числѣ рельсы—78,66 пуд.
Проѣзжая часть .	972,7	[2] 121,02	1058,21	[3] 120,94	[3]) Въ томъ числѣ чугуна—187,69 пуд.
Перила . . .	159,6	—	141,03	—	[4]) Въ томъ числѣ рельсы—78,66 пуд.
					[5]) Въ томъ числѣ чугуна—61,50 пуд.
	3404,0	[3] 998,97	3000,88	[5] 597,38	Различіе въ вѣсѣ объясняется улучшеніемъ конструкціи во второмъ случаѣ, а также тѣмъ, что допущены были болѣе повышенныя напряженія по сравненію съ первымъ случаемъ, а именно для растяженія въ поясахъ: $R = 45$ пуд. вмѣсто 40 пуд. на кв. д., въ стяжкахъ главныхъ фермъ и связяхъ: $R = 250$ и 280 пуд. на кв. д., вмѣсто $R = 200$ и 250 пуд. на кв. д., на сжатіе въ поясахъ и въ раскосахъ въ обоихъ случаяхъ 25 пуд. на кв. д.
Вѣсъ главн. фермъ	3086,75		2320,36		
Вѣсъ проѣзжей части	1316,22		1277,90		
Полный вѣсъ на пог. едпн. . . .	p пуд. $= 0{,}554\,l +$ $+ 17{,}63$ на пог. ф. пути.		p пуд. $= 0{,}416\,l +$ $+ 17{,}11$ на пог. ф. пути.		

Эти данныя отчасти подтверждаются формулой, приведенной въ Handbuch der Ingenieur Wissenschaften, Sonne, Zweiter Band, стр. 55:

$$p \text{ кпл.} = 72\,l + 650 \text{ на пог. метръ пути,}$$

*) (по другому варіанту съ дубовыми подушками полный вѣсъ моста оказался въ 4092 пуда).

что, при переводѣ на пуды и футы составитъ:

$$p \text{ пуд.} = 0{,}408\,l \text{ фут.} + 12{,}11 \text{ на пог. ф. пути.}$$

Такимъ образомъ, необходимо придти къ заключенію, что въ формулѣ вида:

$$p = Cl + F$$

$$\left.\begin{array}{lll} \text{при } l = 10 \text{ с.} = 70 \text{ ф.}, & C = 0{,}35 - 0{,}42 \\ \text{» } l = 25 \text{ с.} = 175 \text{ ф.}, & C = 0{,}20 - 0{,}25 \end{array}\right\}, \quad . \quad . \quad . \quad (25)$$

при чемъ для промежуточныхъ пролетовъ C слѣдуетъ брать по интерполяціи. Значеніе же F—слѣдуетъ принять отъ 16 до 21 пуд. на погон. футъ пути, смотря потому, будетъ ли ѣзда по верху или по низу.

д) Въ слѣдующей таблицѣ выписаны (Johnson. The theory and practice of modern framed structures) данныя Тихоокеанской жел. дор. (Oregon Pacific Railway) относительно расчетнаго вѣса фермъ Гау и дѣйствительнаго вѣса дерева, желѣза и чугуна. За подвижную нагрузку принятъ поѣздъ, состоящій изъ двухъ 88 тон. паровозовъ (включая въ этотъ вѣсъ и тендеръ) и ряда груженыхъ вагоновъ по 3000 фун. = 75 пуд. на пог. ф. пути. Въ таблицѣ приведены данныя для мостовъ съ ѣздою по серединѣ и по низу. Для полученія вѣса мостовъ съ ѣздою по верху, необходимо увеличить на 20% вѣсъ дерева и на 20% уменьшить вѣсъ желѣза. Что касается вѣса дерева, то въ подлинникѣ приведено лишь количество пог. фут. сѣченій 1 д. × 1 ф., — при чемъ вѣсъ пог. фута такого сѣченія принятъ въ 4 фун. (что отвѣчаетъ вѣсу куб. ф. дерева въ 1,2 пуда). Такъ, напр., 8 досокъ длиною 1 ф. и сѣченія 3 д. × 13 д. — составляютъ 8 × 3 д. × 13 д. × 1 ф. = = 8 × 39 кв. д. × 1 ф. = 8 × 3,25 д. × 1 ф. × 1 ф. = 26 × 1 ф. × 1 ф. = 26. Board measure = $26 . B . M = 26 \times 1 = 104$ фун.

Пролетъ въ фут.	Типъ.	Высота фермъ въ фут.	Число панелей.	Расчетная нагрузка на пог. ф. пути.			Всего въ фун.	Дѣйствительный вѣсъ.				
				Отъ вѣса главн. фермъ въ фун.	Отъ вѣса проѣзжей части въ фун.	Отъ подвиж. нагрузки въ фун.		Дерева въ фун. В. М.	Дерева въ фун.	Желѣза: Въ болтахъ съ неосаж. концами въ фун.	Желѣза: Въ болтахъ съ осаж. концами. въ фун.	Чугуна въ фун.
30	Ѣзда по серед.	9	4	360	500	5060	5920	10160	40.640	2170	—	970
40	»	11	4	400	500	4600	5500	13360	43.240	2960	—	1210
50	»	11	6	450	500	4200	5150	19020	76.080	5610	—	2880
60	»	12	6	540	500	3860	4900	22.780	91.120	6790	—	3660
70	»	13	7	600	500	3640	4740	29.930	119720	9260	8210	8260
80	»	14	8	620	500	3600	4720	35.390	141560	11660	10260	9970
90	»	15	9	720	500	3560	4780	42.710	170840	15170	13440	12530
90	Ѣзда по низу.	25	8	720	500	3560	4780	41.880	167520	17880	15150	12260
100	»	25	9	800	500	3500	4800	48.890	195560	22580	18950	14290
110	»	25	10	880	500	3400	4780	54.770	219080	25820	22290	15930
120	»	25	11	940	500	3300	4740	62.040	248160	30890	26010	18290
130	»	25	12	1000	500	3200	4700	70.130	280520	37050	30180	20830
140	»	25	13	1050	500	3150	4700	78.160	312640	40820	33020	23210
150	»	25	14	1100	500	3100	4700	86.630	346520	48090	39140	27060

Что касается предположенной расчетной нагрузки, то она близко совпадаетъ съ нормами, указанными въ предыдущемъ пунктѣ г). Такъ для $l = 30$ ф., $p = 360$ фун. $+ 500$ фун. $= 9$ пуд. $+ 12{,}5$ пуд. $= 0{,}3.\ l + 12{,}5$; для $l = 150$, $p = 1100$ фун. $+ 500$ фун. $= 27{,}5$ пуд. $+ 12{,}5$ пуд. $= 0{,}183$ пуд. $l + 12{,}5$ пуд. Дѣйствительный вѣсъ, опредѣленный по исполнительнымъ проектамъ, оказался, однако, значительно болѣе расчетнаго. Такъ для $l = 30$ ф., $p = \frac{40640 + 2170 + 970}{30} =$ $= 1459$ фун. вмѣсто: $360 + 500 = 860$ фун. Для $l = 150$ ф., $p = \frac{346520 + 39140 + 27060}{150} =$ $= 2751$ фун. вмѣсто $1100 + 500 = 1600$ фун.

Мосты подъ обыкновенную дорогу.

При устройствѣ фермъ системы Гау подъ *обыкновенную дорогу* можно также пользоваться предыдущей формулой, относя ее къ погонной единицѣ мостового полотна такой ширины, при которой временная нагрузка и вѣсъ проѣзжей части равняются тѣмъ же величинамъ обыкновеннаго желѣзнодорожнаго моста, устроеннаго подъ одинъ путь. Въ противномъ случаѣ слѣдуетъ коэффиціенты пропорціонально измѣнять. Такъ, напримѣръ, если для желѣзнодорожнаго моста шириною — d, съ подвижной нагрузкой на погонный футъ пути—k, при вѣсѣ проѣзжей части $= F$, собственный вѣсъ пролетныхъ частей на погонный футъ пути: $p = Cl + F$, то для моста подъ обыкновенную дорогу шириною—d', при подвижной нагрузкѣ на погонную единицу по всей ширинѣ моста—k' и при вѣсѣ проѣзжей части F', собственный вѣсъ выразится черезъ $p' = C'l + F'$, гдѣ:

$$C' = \frac{A(F' + k')}{1 - A.l},\quad A = \frac{C}{Cl + F + k}.$$

Дѣйствительно:

$$p' = C'l + F' = A.l\,(p' + k') + F' = A.l\,(C'l + F' + k') + F'$$

откуда:

$$C' = A\,(C'l + F' + k');\ C' = \frac{A\,(F' + k')}{1 - A.l}$$

затѣмъ:

$$p = Cl + F = Al(p + k) + F = A.l\,(Cl + F + k) + F$$

откуда:

$$A = \frac{C}{Cl + F + k}.$$

4. Подкосныя и подвѣсныя фермы.

Если весь пролетъ L раздѣленъ подкосами или подвѣсками на n частей, каждая длиною l, то собственный вѣсъ прогоновъ и полотна на протяженіи l можетъ быть опредѣленъ по формуламъ Heinzerling'a или Winkler'a, даннымъ для одиночныхъ и составныхъ балокъ.

5. Арочныя фермы.

Для расчета горизонтальныхъ прогоновъ можно примѣнять формулы, данныя для балочныхъ мостовъ, вставляя вмѣсто l—разстояніе между двумя схватками. Для расчета же размѣровъ арки слѣдуетъ еще прибавить вѣсъ связей (которыя

можно взять по формулѣ Winkler'a), вѣсъ схватокъ (вѣсъ которыхъ слѣдуетъ оцѣнить приблизительно) и вѣсъ самой арки. Эту послѣднюю величину, выражая ее произведеніемъ изъ площади искомаго сѣченія, длины арки и вѣса кубической единицы дерева, можно включить въ общія формулы, опредѣляющія размѣры частей арки по напряженіямъ, или же проще достаточно опредѣлить размѣры арки приближенно, вычислить по размѣрамъ собственный вѣсъ арки и разсматривать этотъ вѣсъ какъ извѣстную величину.

Желѣзныя пролетныя части.

1. Разрѣзныя и неразрѣзныя балки со сплошной и сквозной стѣнкой.

α) Мосты подъ желѣзную дорогу.

а) Формулы **Шюблера, Шмидта, Мюллера** и **Гагена.**

Всѣ эти формулы вида:

$$p = Cl + F \quad \text{или} \quad p = Cl + C'l^2 + F.$$

По *Шюблеру* и *Шмидту* собственный вѣсъ пролетной части мостовъ, независимо отъ системы, выражается формулой вида:

$$p = Cl + F,$$

гдѣ p—вѣсъ на погонную единицу пути, Cl — вѣсъ главныхъ фермъ, F — вѣсъ проѣзжей части и связей, со включеніемъ вѣса рельсовъ, шпалъ и пр. или безъ таковыхъ.

Если принять за единицы килограммъ и метръ, то существующіе примѣры показали, что C колеблется между 23 и 36 въ удовлетворительно проектированныхъ мостахъ и между 40 и 45 въ менѣе раціонально проектированныхъ мостахъ; F—измѣняется отъ 300—780 и даже 900 кил. на погонный метръ пути.

При напряженіи матеріаловъ въ главныхъ фермахъ не болѣе 8 килограммовъ, а въ проѣзжей части только въ 6 килограммовъ, собственный вѣсъ металлическихъ частей на погонную единицу одиночнаго пути (безъ шпалъ, рельсовъ и пр.) выражается въ среднемъ:

$$p \text{ кпл.} = 30l + 550 \text{ на пог. метръ пути,}$$

что въ переводѣ на пуды и футы даетъ:

$$p \text{ пуд.} = 0{,}17l + 10{,}25 \text{ на пог. ф. пути.}$$

Если же взять полный вѣсъ, т. е. включая и полотно (шпалы, рельсы и пастилъ), то:

p кил. $= 30l + 1000$ на пог. м. пути или p пуд. $= 0{,}17l + 18{,}60$ на пог. ф. пути.

Численное значеніе члена F (понимая въ данномъ случаѣ подъ F вѣсъ продольныхъ, поперечныхъ балокъ, полотна моста и связей) зависитъ отъ расположенія проѣзжей части по верху, по серединѣ или по низу. Такъ по *Шюблеру*: 1) если деревянныя поперечины уложены на фермахъ и связей не имѣется, то $F = 275$ килогр., 2) если мостъ съ ѣздою по серединѣ и не имѣется связей: $F = 550$ килогр., изъ которыхъ желѣза около 300 килогр.; 3) если мостъ съ ѣздою по верху съ желѣзными поперечными и продольными балками, съ деревянными

поперечинами, съ горизонтальными и вертикальными связями: $F = 775$ килогр., изъ нихъ желѣза 352 килогр., 4) если мостъ съ ѣздою по низу, связи только между верхними поясами: $F = 760$ килогр., изъ нихъ желѣза 337 килограммовъ.

Съ увеличеніемъ нынѣ подвижной нагрузки всѣ вышеупомянутые коэффиціенты утратили уже свое значеніе. Они полезны лишь для указанія, насколько то или другое положеніе проѣзжей части вліяетъ на вѣсъ моста.

По *Мюллеру* — вѣсъ *металла* въ главныхъ фермахъ и въ проѣзжей части:

$$p \text{ тон.} = 0{,}68 + 0{,}012l + 0{,}00022l^2 \text{ на пог. метръ}$$

или:

$$p \text{ кил.} = 680 + 12l + 0{,}22l^2 \text{ на пог. метръ пути.}$$

По другимъ даннымъ:

$$p \text{ кил.} = 240 + 24{,}5l + 0{,}11l^2 \text{ на пог. метръ пути.}$$

По *Наден*'у:

для фермъ съ параллельными поясами. . p кил. $= 30l + 550$ на пог. м. пути
» параболическихъ фермъ . . . . . p кил. $= 25l + 600$ » » » »
» фермъ Паули . . . . . p кил. $= 28l + 450$ » » » »
» » Шведлера . . . . . p кил. $= 28l + 666$ » » » »

По *Rölle*:

α) Вѣсъ рельсовъ и шпалъ на пог. метръ пути — 480 кил.

β) Вѣсъ проѣзжей части и связей, включая и вѣсъ рельсовъ и шпалъ:

	Кил. на пог. метръ если h — высота фермы.
въ фермахъ съ ѣздою по верху при $l < 40$ метр. . . .	$670 + 27h$
» » » » » » » $l > 40$ » . . .	$800 + 25h$
» » » » » низу безъ верхнихъ связей. .	$800 + 20h$
» » » » » » съ верхними связями. .	$850 + 28h$

или въ среднемъ: $800 + 3l$, если l — величина пролета.

γ) Полный вѣсъ пролетныхъ частей, т. е. фермъ, связей проѣзжей части съ рельсами и проч.:

$$p \text{ кил.} = 28l + 800 \text{ на пог. метръ.}$$

Съ другой стороны на основаніи существующихъ сооруженій полный вѣсъ пролетныхъ частей, отнесенный на пог. метръ *одиночнаго* пути, составляетъ:

въ мостахъ подъ одинъ путь. . p кил. $= 40l + 100$ до $p = 45l + 250$ на пог. м. пути
» » » два пути . . p кил. $= 28l + 320$ до $p = 34l + 500$ » » » »

б) Формулы **Шведлера**. Эти формулы даютъ полный собственный вѣсъ пролетныхъ частей на погонную единицу пролета, включая и вѣсъ полотна проѣзжей части, въ зависимости отъ подвижной нагрузки, высоты фермы, коэффиціентовъ прочнаго сопротивленія, вѣса проѣзжей части, включая и полотно моста, а потому эти формулы могутъ быть употреблены для мостовъ подъ *желѣзную дорогу и подъ обыкновенную дорогу* съ соотвѣтственнымъ только измѣненіемъ подвижного груза, исчисленнаго для мостовъ подъ обыкновенную дорогу на погонную единицу пролета и на всю ширину моста, о чемъ будетъ сказано въ своемъ мѣстѣ.

Слѣдовательно, если имѣемъ желѣзнодорожный мостъ подъ однпъ или два пути, то k — есть, очевидно, нагрузка на погонную единпцу одного или двухъ путей.

Пусть: p — полный собственный вѣсъ моста, включая и полотно проѣзжей части (рельсы, настилъ и проч.);
k — подвижной грузъ; | на погонную единицу
F — вѣсъ проѣзжей части включая и полотно моста; | длины пролета;
l — величина пролета;
h — высота фермы;
R — коэффиціентъ прочнаго сопротивленія матеріала;
γ — вѣсъ кубической единицы;
ψ — конструктивный коэффиціентъ.

Тогда для *разрѣзныхъ фермъ*:

α) съ параллельными поясами:

$$p = \frac{F \cdot R + 1{,}22\,\psi \cdot k \cdot \gamma \cdot l\left(\frac{l}{6h} + \frac{1}{2}\right)}{R - \psi \cdot \gamma \cdot l\left(\frac{l}{6h} + \frac{1}{2}\right)};$$

β) для параболическихъ фермъ и вообще для фермъ съ криволинейными поясами:

$$p = \frac{4hF.R + 1{,}11\,\psi \cdot k \cdot \gamma\left(l^2 + \frac{8}{3}h^2\right)}{4hR - \psi \cdot \gamma\left(l^2 + \frac{8}{3}h^2\right)}.$$

Для *неразрѣзныхъ фермъ*:

α) Средніе пролеты:

$$p = \frac{F \cdot R + 1{,}95\,\psi \cdot k \cdot \gamma \cdot l\left(0{,}0642\,\frac{l}{h} + 0{,}5\right)}{R - \psi \cdot k \cdot l\left(0{,}0642\,\frac{l}{h} + 0{,}5\right)}.$$

β) Крайніе пролеты:

$$p = \frac{F \cdot R + 2{,}34\,\psi \cdot k \cdot \gamma \cdot l\left(0{,}077\,\frac{l}{h} + 0{,}5\right)}{R - 1{,}2\,\psi \cdot \gamma \cdot l\left(0{,}077\,\frac{l}{h} + 0{,}5\right)}.$$

Если оцѣнить конструктивный коэффиціентъ: $\psi = 1{,}75$ и вѣсъ кубическаго метра желѣза: $\gamma = 7{,}8$ тонны, и принять за единицы тонну и метръ, то вышеприведенныя формулы замѣнятся слѣдующими.

Разрѣзныя фермы:

α) съ параллельными поясами:

$$p^{\text{тон.}} = \frac{F \cdot R + 16{,}65\,k \cdot l\left(\frac{l}{6h} + \frac{1}{2}\right)}{R - 13{,}65\,l\left(\frac{l}{6h} + \frac{1}{2}\right)} \text{ на пог. м. пути. . . } (26)$$

β) съ криволинейными поясами:

$$p = \frac{F \cdot Rh + 3.79\,k\left(l^2 + \frac{8}{3}h^2\right)}{h \cdot R - 3.41\left(l^2 + \frac{8}{3}h^2\right)} \cdot \cdot \cdot

Неразрѣзныя фермы.

α) *Средніе пролеты:*

$$p = \frac{F.R + 26.62\,k.l\left(0.0642\,\frac{l}{h} + 0.5\right)}{R - 13.65\,l\left(0.0642\,\frac{l}{h} + 0.5\right)}; \quad \ldots \quad (28)$$

β) *Крайніе пролеты:*

$$p = \frac{F.R + 31.94\,k.l\left(0.077\,\frac{l}{h} + 0.50\right)}{R - 16.38\,l\left(0.077\,\frac{l}{h} + 0.5\right)}. \quad \ldots \quad (29)$$

Эти формулы *Шведлера* признаются нынѣ наиболѣе достовѣрными.

Значеніе F должно быть предварительно опредѣлено. Для примѣрнаго подсчета можпо положить вѣсъ погон. фута продольной балки около 1,8 пуд.; вѣсъ погон. фута поперечной балки — около 3,5 пуд. Полный вѣсъ проѣзжей части, включая шпалы, рельсы и настилъ, около 20 пуд. на погон. футъ пути, а вѣсъ одного металла въ проѣзжей части—около 13 пуд. на погон. футъ пути.

в) **Эмпирическія формулы полнаго вѣса пролетныхъ частей поворотныхъ мостовъ.** Можно пользоваться для сего формулой (29) или лучше слѣдующей, составленной на основаніи большаго числа исполненныхъ сооруженій:

$$p \text{ кил.} = \left(25 + \frac{l}{3}\right) l + F \text{ на пог. метръ пути} \quad \ldots \quad (29')$$

гдѣ l — величина расчетнаго пролета въ метрахъ; F — полный вѣсъ проѣзжей части (включая и полотно моста) на пог. метръ пути.

Американскіе поворотные мосты удовлетворяютъ формуламъ:

$$p \text{ кил.} = (25 + 0{,}2\,l)\,l + 800.$$

При выводѣ формулы (29′) предполагалось, что допускаемое напряженіе въ проѣзжей части: $R = 6\,\frac{\text{кпл.}}{\text{м.м.}^2}$, а въ главныхъ фермахъ: $R = 7\left(1 \pm \frac{1}{2}\frac{\text{min.}}{\text{max.}}\right)$.

г) **Формулы, основанныя на выраженіи теоретическаго объема главныхъ фермъ.** Для опредѣленія вѣса металла въ главныхъ фермахъ и въ проѣзжей части плп для опредѣленія полнаго вѣса пролетныхъ частей моста, включая и полотно проѣзжей части, можно предложить еще слѣдующія формулы.

Разрѣзныя фермы съ параллельными поясами.

При опредѣленіи наивыгоднѣйшаго распредѣленія пролетовъ въ фермахъ системы Гербера (стр. 260 и 262) были выведены слѣдующія выраженія объемовъ поясовъ, раскосовъ и стоекъ разрѣзной раскосной фермы съ параллельными поясами; [формулы (*б*), (*е*) и (*ж*)]

объемъ поясовъ: $$\frac{(p + k)\,l^3}{6Rh};$$

объемъ раскосовъ: $$\left(\frac{pl}{4} + \frac{7}{24}\,kl\right)\frac{l}{R\cos\alpha\sin\alpha};$$

объемъ стоекъ: $$\left(\frac{pl}{4} + \frac{7}{24}\,kl\right)\frac{l}{R\,tg\,\alpha} + \left(\frac{pl}{4} + \frac{7}{24}\,kl\right)\frac{h}{R},$$

гдѣ p—полная постоянная нагрузка на погон. единицу пролета; k—подвижная нагрузка на ту же единицу; l — пролетъ; R — коэффиціентъ допускаемаго напряженія; h—высота фермы.

Съ другой стороны полная постоянная нагрузка на пог. единицу p составляется изъ вѣса металла въ главныхъ фермахъ $(p') = Cl$, изъ вѣса металла въ проѣзжей части p'', изъ вѣса полотна моста p''' и изъ вѣса связей $p^{IV} = C'l$. Поэтому если ψ — конструктивный коэффиціентъ и δ — вѣсъ куб. единицы металла, то вѣсъ металла въ главныхъ фермахъ на всю длину пролета:

$$p'l = Cl^2 = \left\{(p+k)\frac{l^3}{6Rh} + \left(\frac{pl}{4} + \frac{7}{24}kl\right)\left(\frac{l}{R\cos\alpha\sin\alpha} + \frac{l}{Rtg\alpha} + \frac{h}{R}\right)\right\}\psi.\delta =$$

$$= \left\{(p' + p'' + p''' + p^{IV} + k)\frac{l^3}{6Rh} + \right.$$

$$\left. + \left([p' + p'' + p''' + p^{IV}]\frac{l}{4} + \frac{7}{24}kl\right)\left(\frac{l}{R\cos\alpha\sin\alpha} + \frac{l}{Rtg\alpha} + \frac{h}{R}\right)\right\}\psi\delta.$$

Полагая въ среднемъ: $\alpha = 45°$, $\cos 45° = \sin 45° = 0{,}707$ и рѣшая относительно p', по сокращеніи на l, получимъ:

$$p'\left\{R - \psi\delta\left[\frac{l^2}{6h} + \frac{1}{4}(2l + l + h)\right]\right\} =$$

$$= \left\{(p'' + p''' + p^{IV} + k)\frac{l^2}{6h} + \left[(p'' + p''' + p^{IV})\frac{1}{4} + \frac{7}{24}k\right](2l + l + h)\right\}\psi\delta,$$

откуда:

$$p' = \frac{\left\{(p'' + p''' + p^{IV} + k)\frac{l^2}{6h} + \left[(p'' + p''' + p^{IV})\frac{1}{4} + \frac{7}{24}k\right](3l + h)\right\}\psi\delta}{R - \psi\delta\left[\frac{l^2}{6h} + \frac{1}{4}(3l + h)\right]} \quad . \quad (30)$$

Полагая $\psi = 1{,}75$, $\delta = 7{,}8$, и если принять за единицу тонну и метръ, то $\psi . \delta = 13{,}65$:

$$p' = \frac{\left\{(p'' + p''' + p^{IV})\left(\frac{l^2}{6h} + \frac{3l}{4} + \frac{h}{4}\right) + k\left(\frac{l^2}{6h} + \frac{21}{24}l + \frac{7}{24}h\right)\right\}13{,}65}{R - 13{,}65\left(\frac{l^2}{6h} + \frac{3l}{4} + \frac{h}{4}\right)} \quad . \quad . \quad (31)$$

Что касается: $p'' + p''' = F$, т. е. полнаго вѣса проѣзжей части (включая и полотно моста), то величина эта не зависитъ отъ пролета и можетъ быть заранѣе опредѣлена. Затѣмъ $p^{IV} = C'l$ — вѣсъ на погон. единицу связей находится въ зависимости отъ величины пролета и отъ расположенія проѣзжей части по высотѣ фермы. Имѣя ввиду, что для связей допускается бо́льшій коэффиціентъ напряженія, чѣмъ для главныхъ фермъ, что поэтому сѣченія поясовъ главныхъ фермъ, опредѣленныя по вертикальной нагрузкѣ, въ рѣдкихъ случаяхъ приходится увеличивать, при расчетѣ на совмѣстное дѣйствіе вертикальной нагрузки и вѣтра, можно съ достаточнымъ вѣроятіемъ предположить, что объемъ связей выразится лишь объемомъ раскосовъ двухъ направленій и объемомъ распорокъ. Если далѣе предположимъ, что усилія въ раскосахъ и распоркахъ связей опре-

дѣлены при полной загрузкѣ пролета, то па основаніи формулы (*е*) и (*жс*) (стр. 262) объемъ раскосовъ двухъ направленій:

$$2\,(\pi + k')\,\frac{l}{4}\cdot\frac{l}{R\,sin\,\alpha\,cos\,\alpha},$$

а объемъ распорокъ:

$$(\pi + k')\,\frac{l}{4}\left\{\frac{l}{R\,tg\,\alpha} + \frac{h'}{R}\right\}.$$

Полагая: $\alpha = 45°$, получимъ всего:

$$(\pi + k')\,\frac{l}{4R}\,\{4l + l + h'\}.$$

Слѣдовательно:

$$p^{IV} = C''l = \frac{(\pi + k')}{4R}\,\{5l + h'\}\ \text{ф}.$$

Но π — давленіе вѣтра на погон. единицу фермъ: $\pi = 0{,}6\,h \times r$; гдѣ r — давленіе вѣтра на кв. ед. боковой поверхности; k' — давленіе вѣтра на пог. ед. подвижного состава, при высотѣ подвижного состава въ n м. выразится чрезъ: $k' = n\,.\,r$; затѣмъ h' — разстояніе между осями двухъ фермъ при ѣздѣ по-низу: $h' = 18$ ф. $= 5{,}5$ метр., а при ѣздѣ по-верху: $h' = \frac{2}{3}\,h$, при $h = \frac{l}{10}$, $h' = \frac{l}{15}$. Пренебрегая величиной h' въ сравненіи съ $5l$, получимъ:

$$p^{IV} = C''l = (0{,}6\,h + n)\,r \times \frac{5l}{4R}\ \text{ф}. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (32)$$

Высоту подвижного состава n можно принять въ 3 м., а давленіе вѣтра r въ 0,15 тон. на кв. метръ, тогда:

$$p^{IV} = (0{,}6\,h + 3)\,\frac{0{,}15 \times 5l}{4\,.\,R} \times 13{,}65 =$$

$$= (0{,}6\,h + 3)\,2{,}56\,\frac{l}{R}\ \text{тон. на пог. метръ}. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (33)$$

Опредѣливъ по формулѣ (30) вѣсъ металла въ главныхъ фермахъ на пог. ед., и присоединивъ — вѣсъ металла въ проѣзжей части p'' и въ связяхъ p^{IV}, получимъ: $p' + p'' + p^{IV}$ вѣсъ металла въ пролетномъ строеніи моста; полный же вѣсъ пролетнаго строенія, включая и полотно моста, будетъ:

$$p = p' + p'' + p''' + p^{IV}.$$

Параболическія фермы. Виослѣдствіи будетъ доказано, что въ параболическихъ фермахъ горизонтальная проекція усилій въ поясахъ—величина постоянная и выражается чрезъ: $\frac{(p + k)\,l^2}{8h}$: наибольшее усиліе въ раскосѣ: $\frac{kdl}{8h\,cos\,\alpha}$, гдѣ d — величина панели и α — уголъ, составляемый раскосомъ съ горизонталью; наибольшее усиліе въ стойкахъ, для разсматриваемой цѣли, можно принять безъ большой погрѣшности равнымъ: $(p + k)\,d$.

Тогда — объемъ горизонтальнаго пояса: $\frac{(p + k)\,l^3}{8hR}$. Для опредѣленія объема криволинейнаго пояса слѣдуетъ имѣть въ виду, что длина его:

$$s = 2\,\frac{l}{2}\left(1 + \frac{2}{3}\,\frac{h^2}{\frac{l^2}{4}} - \frac{2}{5}\,\frac{h^4}{\frac{l^4}{16}}\right).$$

Полагая въ среднемъ $h = \frac{l}{7}$:

$$s = l\left(1 + \frac{2}{3} \times \frac{4}{49} - \frac{2}{5} \times \frac{16}{49 \times 49}\right) = l\,(1 + 0{,}0544 - 0{,}0027) = 1{,}052\,l.$$

Далѣе усиліе въ любой панели криволинейнаго пояса: $\frac{(p + k)\,l^2}{8h\,\cos\beta}$, если β — перемѣнный уголъ, составляемый поясомъ съ горизонталью. По серединѣ фермы $\beta = 0$; значеніе этого угла около опоръ найдется изъ $cotg\,\beta = \frac{dy}{dx} = \frac{p}{y}$, если p — параметръ параболы и $y = \frac{l}{2}$ — ордината параболы у опоры. Но $y^2 = 2px$; слѣдовательно:

$$\frac{l^2}{4} = 2ph;\quad p = \frac{l^2}{8h}.$$

Поэтому:

$$cotg\,\beta = \frac{2p}{l} = \frac{l}{4h}.$$

При $h = \frac{l}{7}$:

$$cotg\,\beta = \frac{7}{4};\quad \beta = 29°45';\quad \cos\beta = 0{,}868.$$

Слѣдовательно, среднее значеніе:

$$\cos\beta = \frac{1 + 0{,}868}{2} = 0{,}934.$$

Такимъ образомъ объемъ криволинейнаго пояса:

$$\frac{(p + k)\,l^2}{8h} \times \frac{1{,}052\,l}{0{,}934\,R} = \frac{1{,}126\,(p + k)\,l^3}{8hR}.$$

Усиліе въ раскосѣ:

$$\frac{kdl}{8h\,\cos\alpha} = \frac{kh_x l}{8h\,tg\,\alpha\,\cos\alpha} = \frac{kh_x l}{8h\,\sin\alpha},$$

гдѣ h_x — перемѣнная высота фермы. Среднее значеніе высоты фермы: $h_0 = \frac{2}{3}\,h$; допустимъ, что въ панели, гдѣ дѣйствительная высота h_x равна средней высотѣ h, уголъ наклоненія раскосовъ $\alpha = 45$. Тогда $h_0 = d$ и среднее значеніе усилія въ раскосѣ:

$$\frac{k}{3} \times \frac{2\,hl}{8h\,\sin\alpha} = \frac{kl}{12 \times 0{,}707} =$$

Длина этого средняго раскоса:

$$\frac{h_0}{\sin\alpha} = \frac{2}{3}\,\frac{h}{\sin\alpha} = \frac{2}{3} \times \frac{h}{0{,}707}.$$

Объемъ его:

$$\frac{kl}{R \times 12 \times 0{,}707} \times \frac{2}{3} \times \frac{h}{0{,}707} = \frac{4klh}{36\,.\,R} = \frac{klh}{9R}.$$

Общее число панелей, гдѣ помѣщены раскосы:

$$\frac{l}{d} - 2.$$

Общее число раскосовъ:

$$\left(\frac{l-2d}{d}\right)=\left(\frac{l-2h_0}{h_0}\right)=\frac{\left(l-2\times\frac{2}{3}h\right)}{\frac{2}{3}h}=\frac{3l-4h}{2h}.$$

Поэтому объемъ всѣхъ раскосовъ:

$$\frac{klh}{18R}\left(\frac{3l}{h}-4\right).$$

Переходимъ къ опредѣленію объема стоекъ.

Объемъ стойки, высота коей равняется среднему значенію высоты фермы:

$$\frac{(p+k)\,d}{R}\,.\,h_0.$$

Но $d=h_0=\frac{2}{3}h$. Слѣдовательно, объемъ этой стойки:

$$\frac{4}{9}\,\frac{(p+k)\,h^2}{R}.$$

Число такихъ стоекъ:

$$\frac{l}{d}-1=\frac{l-d}{d}=\frac{l-h_0}{h_0}=\frac{l-\frac{2}{3}h}{\frac{2}{3}h}=\frac{3}{2}\,\frac{l}{h}-1.$$

Слѣдовательно, объемъ всѣхъ стоекъ:

$$\frac{4}{9}\,(p+k)\,\frac{h^2}{R}\left(\frac{3}{2}\,\frac{l}{h}-1\right).$$

Поэтому вѣсъ главныхъ фермъ на всю длину пролета:

$$p'l=Cl^2=\psi\,.\,\delta\left[(p+k)\,\frac{l^3}{8hR}\times 2{,}126+\frac{klh}{18R}\left(\frac{3l}{h}-4\right)+\right.$$

$$\left.+\frac{4}{9}\,(p+k)\,\frac{h^2}{R}\left(\frac{3}{2}\,\frac{l}{h}-1\right)\right]=\psi\delta\left[(p'+p''+p'''+p^{\mathrm{IV}}+k)\,\frac{l^3}{8hR}\times 2{,}126+\right.$$

$$\left.+\frac{klh}{18R}\left(\frac{3l}{h}-4\right)+\frac{4}{9}\,(p'+p''+p'''+p^{\mathrm{IV}}+k)\,\frac{h^2}{R}\left(\frac{3}{2}\,\frac{l}{h}-1\right)\right].$$

Слѣдовательно, по сокращеніи на l и рѣшая относительно p':

$$p'\left[R-\psi\delta\left\{\frac{l^2}{8h}\times 2{,}126+\frac{4}{9}\,\frac{h^2}{l}\left(\frac{3}{2}\,\frac{l}{h}-1\right)\right\}\right]=$$

$$=\psi\delta\left[(p''+p'''+p^{\mathrm{IV}}+k)\left(\frac{l^2\times 2{,}126}{8h}+\frac{2}{3}\,h-\frac{4}{9}\,\frac{h^2}{l}\right)+\frac{kh}{18}\left(\frac{3l}{h}-4\right)\right].$$

или:

$$p'=13{,}65\,\frac{\left[(p''+p'''+p^{\mathrm{IV}}+k)\left(\frac{l^2\times 2{,}126}{8h}+\frac{2}{3}\,h-\frac{4}{9}\,\frac{h^2}{l}\right)+\frac{kh}{18}\left(\frac{3l}{h}-4\right)\right]}{R-13{,}65\left\{\frac{l^2}{8h}\times 2{,}126+\frac{2}{3}\,h-\frac{4}{9}\,\frac{h^2}{l}\right\}}$$

тон. на пог. метръ . . . (34)

Значеніе p^{IV} находится по формулѣ (32) или (33) съ умепьшеніемъ примѣрно на 25%. Вѣсъ металла въ пролетномъ строеніи на пог. единицу пролета:

$$p' + p'' + p^{IV},$$

а полный вѣсъ моста, включая и полотно моста:

$$p = p' + p'' + p''' + p^{IV}.$$

д) **Формулы Винклера.** Винклеръ считаетъ формулу вида: $p = Cl + F$ не вполнѣ точною, исходя изъ того, что законъ измѣненія вѣса при измѣненіи пролета выражается нѣкоторой параболой, а не прямой линіей и что, кромѣ того, численные коэффиціенты неодинаковы для мостовъ различныхъ системъ.

Неточность формулы явствуетъ уже изъ самаго вида ея, такъ какъ очевидно, что для всякой системы фермъ существуетъ нѣкоторый предѣльный пролетъ, перейдя который — напряженіе въ частяхъ фермы отъ собственнаго вѣса получается уже значительно болѣе допускаемыхъ предѣловъ. На основаніи этихъ соображеній *Launhardt*'омъ предложена формула вида: $p = \frac{A + BL}{C - L}$, гдѣ C — предѣльный пролетъ для каждой системы, къ каковому виду приводится и формула Винклера.

По *Винклеру* теоретическій вѣсъ *главныхъ фермъ* на *погонную единицу пути* выражается формулой слѣдующаго вида:

$$p_l' = \left(A_0 \frac{l}{h} + B_0 + C_0 \frac{h}{l}\right) \frac{\delta p l}{R_0} + \left(A_1 \frac{l}{h} + B_1 + C_1 \frac{h}{l}\right) \frac{\delta k l}{R_1} =$$

$$= \left(A_0 \frac{p}{R_0} + A_1 \frac{k}{R_1}\right) \frac{\delta l^2}{h} + \left(B_0 \frac{p}{R_0} + B_1 \frac{k}{R_1}\right) \delta l +$$

$$+ \left(C_0 \frac{p}{R_0} + C_1 \frac{k}{R_1}\right) \delta h = p'_{1l} + p'_{2l} + p'_{3l}, \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (35)$$

гдѣ: A_0, B_0, C_0, A_1, B_1, C_1 — коэффиціенты при членахъ, выражающихъ вѣсъ поясовъ (A), вѣсъ рѣшетки (B) и вѣсъ опорныхъ стоекъ (C), включая поправки, зависящія отъ различныхъ видовъ соединенія рѣшетки съ опорной стойкой и проч.; p — полный собственный вѣсъ фермы съ проѣзжею частью, съ полотномъ, связями и проч. на погонную единицу; k — подвижная нагрузка; δ — вѣсъ кубической единицы желѣза; R_0 и R_1 — коэффиціенты допускаемаго напряженія для постоянной и подвижной нагрузки *). Значенія коэффиціентовъ: A, B, C — различны для каждой системы **).

Вычисленное помощью формулы (35) значеніе p_l' необходимо еще умножить на нѣкоторый конструктивный коэффиціентъ ψ для полученія дѣйствительнаго вѣса главныхъ фермъ p'.

Общій видъ этого коэффиціента по Винклеру:

$$\psi = \alpha + \frac{\beta}{p}.$$

Такъ, напримѣръ, если p'_{1l} и p'_{2l} — теоретическій вѣсъ пояса и рѣшетки при опредѣленной ширинѣ моста, и если m — число фермъ, соотвѣтствующее этой

*) На основаніи опытовъ Wöhler'a, Винклеръ находитъ болѣе правильнымъ назначать для постоянной и подвижной нагрузки различные коэффиціенты.

**) См. Vorträge über Brückenbau von Winkler, IV Heft, Lieferung 4. Изд. 1879 г.

ширинѣ, то для *поясовъ* разрѣзныхъ фермъ съ параллельными поясами:

$$\psi = 1.30 + \frac{0.055\, m}{p'_{1t}};$$

для неразрѣзныхъ фермъ съ параллельными поясами:

$$\psi = 1.30 + \frac{0.060\, m}{p'_{1t}};$$

для параболическихъ и гиперболическихъ:

$$\psi = 1.30 + \frac{0.023\, m}{p'_{1t}};$$

для полупараболическихъ:

$$\psi = 1.30 + \frac{(0.023 + 0.032\, \varepsilon)\, m}{p'_{1t}},$$

гдѣ ε — отношеніе высоты опорной стойки къ высотѣ средней стойки.

Для *рѣшетки* съ числомъ пересѣченій, равнымъ n:
въ рѣшетчатыхъ фермахъ:

$$\psi = 1.60 + \frac{0.009\, m \,.\, n}{p'_{2t}};$$

въ раскосныхъ фермахъ:

$$\psi = 1.60 + \frac{0.015\, m \,.\, n}{p'_{2t}};$$

въ сложныхъ раскосныхъ фермахъ:

Для опорныхъ [illegible] коэффиціентъ имѣетъ постоянное значеніе.

Обозначимъ первую группу значеній ψ (для поясовъ) чрезъ: $\left(\alpha_1 + \frac{\beta_1}{p'_{1t}}\right)$; вторую группу (для рѣшеткн) чрезъ: $\left(\alpha_2 + \frac{\beta_2}{p'_{2t}}\right)$ и третью группу (для опорныхъ стоекъ) чрезъ α_3 и умноживъ въ формулѣ (35) члены: p'_{1t}, p'_{2t} и p'_{3t} на соотвѣтственные конструктивные коэффиціенты, получимъ *дѣйствительный* вѣсъ главныхъ фермъ p':

$$p' = \left(\alpha_1 + \frac{\beta_1}{p'_{1t}}\right) p'_{1t} + \left(\alpha_2 + \frac{\beta_2}{p'_{2t}}\right) p'_{2t} + \alpha_3 p'_{3t} = \alpha_1 p'_{1t} + \alpha_2 p'_{2t} + \alpha_3 p'_{3t} +$$

$$+ \beta_1 + \beta_2 = \alpha_1 p'_{t} + \alpha_2 p'_{2t} + \alpha_3 p'_{3t} + \mu, \text{ гдѣ: } \mu = \beta_1 + \beta_2. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (36)$$

Если назовемъ черезъ p_0 — вѣсъ продольныхъ и поперечныхъ балочекъ, связей, консолей, шпалъ, рельсъ и проч. на погонную единицу, то:

$$p = p' + p_0 \text{ или: } p' = p - p_0.$$

Въ вышеприведенныхъ формулахъ въ членахъ, выражающихъ вѣсъ поясовъ и рѣшеткн, включена одна и та же подвижная нагрузка k. Какъ увидимъ ниже, сплошная подвижная нагрузка, замѣняющая собою желѣзнодорожный поѣздъ, оказывается неодинаковой, смотря по тому, имѣется ли въ виду опредѣлить напряженіе поясовъ или рѣшеткн. Назовемъ первое значеніе этой нагрузки чрезъ k,

а второе—чрезъ k_2. Вводя эти дополнительныя обозначенія въ формулу (36) и пользуясь обозначеніями формулы (35) и замѣчая, что: $p = p' + p_0$, получимъ:

$$p = p_0 + \mu + \alpha_1\delta\left\{A_0\frac{p}{R_0} + A_1\frac{k_1}{R_1}\right\}\frac{l^2}{h} + \alpha_2\delta\left\{B_0\frac{p}{R_0} + B_1\frac{k_2}{R_1}\right\}l +$$

$$+ \alpha_3\delta\left\{C_0\frac{p}{R_0} + C_1\frac{k_2}{R_1}\right\}h.$$

Откуда, рѣшая по p и полагая $k_2 = rk_1$ (r — коэффиціентъ), получимъ, что *полный* вѣсъ пролетныхъ частей моста на пог. единицу, включая и проѣзжую часть:

$$p = \frac{p_0 + \mu + \left(\alpha_1 A_1\frac{l}{h} + \alpha_2 rB_1 + \alpha_3 rC_1\frac{h}{l}\right)\frac{\delta k_1 l}{R_1}}{1 - \left(\alpha_1 A_0\frac{l}{h} + \alpha_2 B_0 + \alpha_3 C_0\frac{h}{l}\right)\frac{\delta l}{R_0}} \quad . \quad . \quad . \quad (37)$$

Расчетъ показываетъ, что для $\frac{h}{l}$, измѣняющагося отъ $\frac{1}{6}$ до $\frac{1}{10}$, значеніе p мало измѣняется, поэтому, вводя нѣкоторое среднее значеніе, получимъ для p формулу вида:

$$p = \frac{p_0 + \mu + Bkl}{1 - Cl} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (38)$$

Полагая для разрѣзныхъ фермъ съ параллельными поясами: $\frac{h}{l} = \frac{1}{9}$, для неразрѣзныхъ: $\frac{h}{l} = \frac{1}{9.5}$, для параболическихъ: $\frac{h}{l} = \frac{1}{7}$; для гиперболическихъ: $\frac{h}{l} = \frac{1}{8}$: $R_0 = 14\frac{\text{кил.}}{\text{мм.}^2}$; $R_1 = 5.9\frac{\text{кил.}}{\text{мм.}^2}$, получимъ нижеслѣдующія значенія величинъ: μ, B и C въ тоннахъ на погонный метръ пути желѣзнодорожнаго моста:

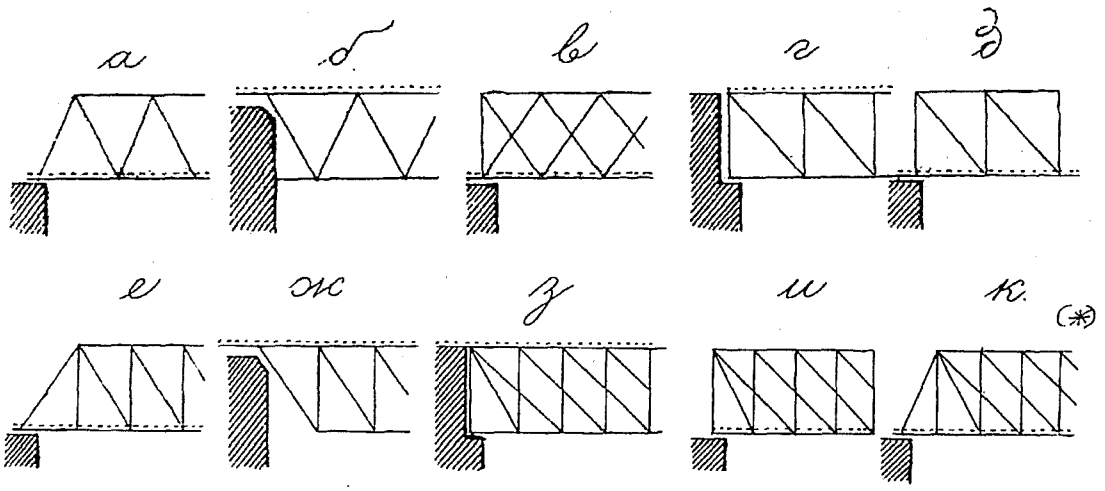


Рис. 323.

Для полупараболическихъ фермъ: $p = p_I + E(p_{II} - p_I)$, если p_I—вѣсъ параболической фермы съ однимъ горизонтальнымъ поясомъ, p_{II}— вѣсъ фермы съ параллельными поясами, E — отношеніе высоты опорной стойки къ высотѣ средней стойки. На рис. 323 показаны схемы различныхъ типовъ фермъ *).

*) Пунктиромъ обозначено расположеніе проѣзжей части.

Названія системъ.	Мосты подъ желѣзную дорогу.			
	μ.		B.	C.
	Подъ одинъ путь.	Подъ два пути.		
Разрѣзныя фермы съ параллельными поясами.				
Треугольная система, типъ *а* и *б* (рис. 323) . . .	0,128	0,064	0,00423	0,00150
Рѣшетчатая система, типъ *в*	0,146	0,073	0 00454	0,00160
Однораскосная система, типъ *г*	0,140	0,070	0,00533	0,00181
Однораскосная система, типъ *д* и *ж*	0,140	0,070	0,00502	0,00171
Однораскосная система, типъ *е*	0,140	0,070	0,00452	0,00154
Двураскосная система, типъ *з*	0,170	0,085	0,00549	0,00187
Двухъ,- трехъ- и многораскосная система — типъ *и*	0,170	0,085	0,00512	0,00174
Двухъ,- трехъ- и многораскосная система — типъ *к*	0,170	0,085	0,00536	0,00165
Неразрѣзныя фермы съ параллельными поясами:				
Треугольная система	0,138	0,069	0,00456	0,00105
Рѣшетчатая система	0,156	0,078	0,00488	0,00115
Однораскосная система, типъ *г*	0,150	0,075	0,00582	0,00137
Однораскосная система, типъ *д*	0,150	0,075	0,00556	0,00127
Двухъ,- трехъ- и многораскосная система — типъ *з*	0,180	0,090	0,00598	0,00147
Двухъ,- трехъ- и многораскосная система — типъ *и*	0,180	0,090	0,00563	0,00129
Параболическія фермы:				
а) фермы съ однимъ криволинейнымъ поясомъ:				
Треугольная система	0,064	0,032	0,00417	0,00138
Рѣшетчатая система съ двойнымъ пересѣченіемъ раскосовъ	0,082	0,041	0,00417	0,00138
Однораскосная система	0,076	0,038	0,00475	0,00140
Сложная раскосная система	0,074	0,037	0,00522	0,00140
б) фермы съ двумя криволинейными поясами:				
Треугольная система	0,064	0,032	0,00408	0,00132
Рѣшетчатая система съ двойнымъ пересѣченіемъ раскосовъ	0,082	0,041	0,00408	0,00132
Однораскосная система	0,076	0,038	0,00466	0,00133
Сложная раскосная система	0,074	0,037	0,00513	0,00133
Гиперболическія фермы:				
Однораскосная система.	0,076	0,038	0,00499	0,00133
Двухраскосная система	0,154	0,077	0,00499	0,00133
Въ среднемъ	**0,12**	**0,06**	**0,0050**	**0,0014**

Въ среднемъ, слѣдовательно вѣсъ на пог. ед. одиноч. пути:

Для желѣзнодорожныхъ мостовъ подъ одинъ путь:

$$p = \frac{p_0 + 0.12 + 0.0050\,kl}{1 - 0.0014\,l}. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (39)$$

Для желѣзнодорожныхъ мостовъ подъ два пути вѣсъ на пог. ед. одиноч. пути:

$$p = \frac{p_0 + 0.06 + 0.0050\,kl}{1 - 0.0014\,l}. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (40)$$

По Винклеру для желѣзнодорожныхъ мостовъ:

при $l < 25$ метровъ: $k = 4{,}2 + \frac{30}{l}$

при $l > 25$ метровъ: $k = 2{,}6 + \frac{70}{l}$

} тонпъ на погонный метръ пути.

Для значенія p_0 вѣса проѣзжей части, включая рельсы, шпалы и пр. на пог. ед. одиночнаго пути, Винклеръ далъ слѣдующія эмпирическія формулы:

Ѣзда по́-верху: безъ желѣзныхъ поперечныхъ и продольныхъ балокъ и безъ перилъ:

$$p_0 = 0.370 + 0.024\,h.$$

Ѣзда по́-верху: безъ желѣзныхъ поперечныхъ и продольныхъ балокъ, но съ перилами:

$$p_0 = 0.550 + 0.024\,h.$$

Ѣзда по́-низу, или по среднѣ: желѣзныя поперечныя и продольныя балки, но безъ верхнихъ связей:

$$p_0 = 0.780 + 0.017\,h.$$

Ѣзда по́-верху: съ желѣзными поперечными и продольными балками и съ горизонтальными и вертикальными связями:

$$p_0 = 0.810 + 0.021\,h.$$

Ѣзда по́-низу: съ желѣзными поперечными и продольными балками и съ горизонтальными связями:

$$p_0 = 0.880 + 0.027\,h.$$

Вѣсъ p_0 для четырехъ послѣднихъ группъ можетъ быть выраженъ такой общей формулой:

$$p_0 = 0.660 + 0.038\,h.$$

Равнымъ образомъ для мостовъ подъ два пути вѣсъ на пог. ед. одиночнаго пути выражается формулой:

$$p_0 = 0.700 + 0.030\,h.$$

Вставляя теперь значенія p_0 и k въ формулу (38) при соотвѣтственныхъ значеніяхъ постоянныхъ: μ, B и C, мы получимъ слѣдующія формулы для полнаго собственнаго вѣса пролетныхъ частей желѣзнодорожныхъ мостовъ подъ одинъ путь:

Для фермъ со сплошной стѣнкой . . . .

$l < 25$ метровъ

$$p = \frac{0.85 + 0.027\,l}{1 - 0.0040\,l};$$

$l > 25$ метровъ

$$p = \frac{0.98 + 0.021\,l}{1 - 0.0042\,l}.$$

$$\left.\begin{array}{l}
\text{Для разрѣзныхъ фермъ съ параллельными поясами . . . . . } \left\{\begin{array}{l} l < 25 \text{ метровъ} \\ p = \dfrac{0.96 + 0.0247\, l}{1 - 0.00170\, l}; \\ l > 25 \text{ метровъ} \\ p = \dfrac{1.16 + 0.0168\, l}{1 - 0.00170\, l}. \end{array}\right. \\
\text{Для неразрѣзныхъ фермъ съ параллельными поясами . . . . . } \left\{\begin{array}{l} l < 25 \text{ метровъ} \\ p = \dfrac{0.98 + 0.0262\, l}{1 - 0.00126\, l}; \\ l > 25 \text{ метровъ} \\ p = \dfrac{1.20 + 0.0175\, l}{1 - 0.00126\, l}. \end{array}\right. \\
\text{Для параболическихъ фермъ . . . . . } \left\{\begin{array}{ll} l < 25 \text{ метровъ} & l > 25 \text{ метровъ} \\ p = \dfrac{0.88 + 0.0233\, l}{1 - 0.00136\, l}; & p = \dfrac{1.07 + 0.0175\, l}{1 - 0.00136\, l}. \end{array}\right. \\
\text{Для гиперболическихъ фермъ . . . . . } \left\{\begin{array}{ll} l < 25 \text{ метровъ} & l > 25 \text{ метровъ} \\ p = \dfrac{0.93 + 0.0257\, l}{1 - 0.00133\, l}; & p = \dfrac{1.13 + 0.0177\, l}{1 - 0.00133\, l}. \end{array}\right.
\end{array}\right\} \quad \ldots \quad (41)$$

Эти формулы между прочимъ указываютъ—при какомъ пролетѣ собственный вѣсъ получится безконечно-большимъ. Для желѣзнодорожныхъ мостовъ подъ два пути значеніе p т. е. вѣсъ на пог. ед. одиноч. пути, исчисленное по приведеннымъ формуламъ, слѣдуетъ увеличить на 4%. Съ измѣненіемъ отношенія $\frac{h}{l}$ противъ того, которое было принято въ основаніе составленія таблицы, вѣсъ p увеличивается, примѣрно, въ слѣдующей пропорціи:

При измѣненіи $\frac{h}{l}$ на 0.1,—p увеличивается: для $l = 5$ метровъ на 1%; при $l = 50$ метровъ — на 2%; при $l = 100$ метровъ — на 3%.

На основаніи этихъ формулъ составлена Винклеромъ нижеслѣдующая таблица (см. табл. на стр. 302).

Въ этой таблицѣ k — подвижная нагрузка; p — полный вѣсъ пролетныхъ частей; p' — вѣсъ главныхъ фермъ.

е) **Формула Seefehlner'а.** Seefehlner *) предлагаетъ другія формулы для опредѣленія *полнаго* вѣса пролетныхъ частей желѣзнодорожныхъ мостовъ. Онъ разбиваетъ полный вѣсъ p на слѣдующія части:

$$p = p_1 + p_2 + p_3 + f,$$

гдѣ p_1 — вѣсъ поясовъ главныхъ фермъ; p_2 — вѣсъ рѣшетки, т. е. сквозного заполненія; p_3 — вѣсъ продольныхъ, поперечныхъ балокъ и связей; f — вѣсъ полотна и перилъ.

При выводѣ численныхъ значеній коэффиціентовъ своихъ формулъ онъ полагалъ:

α) R равнымъ 7 килограммамъ на кв. мм. общимъ для всѣхъ частей фермы и одинаковымъ какъ для постоянной, такъ и для подвижной нагрузки.

*) Deutsche Bauzeitung. 1873.

l	k	Со сплошной стѣнкой.		Разрѣзныя съ пар. поясами.		Нераарѣзн. съ пар. поясами.		Параболич. фермы.		Полупараболическ. фермы.		Гиперболическія фермы.	
		p	p'	p	p'	p	p'	p	p'	p	p'	p	p'
5	10,20	1,01	0,33	1,09	0,41	1,11	0,43	1,00	0,32	—	—	1,05	0,37
10	7,20	1,18	0,48	1,23	0,53	1,27	0,57	1,12	0,42	—	—	1,19	0,49
20	5,70	1,53	0,74	1,51	0,77	1,55	0,82	1,38	0,65	—	—	1,47	0,73
30	4,93	1,88	1,07	1,75	0,95	1,79	1,02	1,61	0,84	—	—	1,71	0,93
40	4,35	2,22	1,41	1,96	1,14	2,00	1,20	1,80	1,00	—	—	1,92	1,10
50	4,00	2,60	1,71	2,18	1,33	2,20	1,36	1,99	1,15	2,22	1,35	2,10	1,24
60	3,77	3,06	2,16	2,41	1,52	2,42	1,54	2,20	1,32	2,40	1,50	2,33	1,44
70	3,60	—	—	2,65	1,72	2,65	1,74	2,42	1,51	2,61	1,67	2,54	1,61
80	3,48	—	—	2,90	1,93	2,88	1,93	2,61	1,66	2,81	1,78	2,78	1,81
90	3,38	—	—	3,16	2,15	3,11	2,03	2,85	1,87	3,04	2,03	3,01	2,00
100	3,30	—	—	3,43	2,38	3,37	2,35	3,07	2,05	3,26	2,21	3,25	2,20
150	3,07	—	—	4,94	3,70	4,71	3,51	4,34	3,14	4,56	3,30	4,54	3,29
200	2,95	—	—	6,82	5,38	6,31	4,93	5,83	4,45	6,17	4,69	6,04	4,60
250	2,78	—	—	9,32	7,68	8,13	6,57	7,70	6,14	8,03	6,44	8,00	6,36
Метр.	Топпъ на погонный метръ пути.												

β) Высоту фермъ съ параллельными поясами: $h = \frac{l}{10}$; для фермъ параболическихъ, Шведлера или полупараболическихъ: $h = \frac{l}{8}$, причемъ въ послѣднемъ случаѣ высота опорной стойки составляетъ $\frac{3}{4}$ отъ средней высоты.

γ) Что въ фермахъ съ параллельными поясами длиною до 20 метровъ, въ случаѣ рѣшетчатой фермы, имѣются двѣ системы раскосовъ; въ раскосной фермѣ одна система раскосовъ; въ фермахъ длиною болѣе 20 метровъ, въ первомъ случаѣ предположены четыре системы раскосовъ, а во второмъ—двѣ системы, т. е. двойное пересѣченіе раскосовъ. Въ параболическихъ фермахъ приняты жесткія стойки и плоскіе взаимно-пересѣкающіеся раскосы, въ фермахъ Шведлера—жесткія стойки и одна система плоскихъ раскосовъ; въ полупараболичеекихъ фермахъ—жесткія стойки и двѣ системы плоскихъ раскосовъ.

Обозначая:

$$p + k_1 = q_1 \quad \text{и} \quad p + k_2 = q_2,$$

гдѣ k_1 и k_2 — подвижныя сплошныя эквивалентныя нагрузки для опредѣленія усилій въ поясахъ и въ рѣшеткѣ, получимъ слѣдующія выраженія теоретическаго вѣса (въ кил.) поясовъ и сквозного заполненія (рѣшетки) въ *функціи полупролета* (см. табл. A.) (въ метр.):

$$l' = \frac{l}{2}.$$

Для фермъ Шведлера: $C_1 = \frac{k_1}{p}$; $C_2 = \frac{k_2}{p}$, причемъ приведенныя численныя значенія коэффиціентовъ имѣютъ мѣсто для C, измѣняющагося отъ 1 до 5.

Для полученія дѣйствительнаго вѣса теоретическій вѣсъ долженъ быть умноженъ на конструктивный коэффиціентъ, который выражается по Seefehlner'у фор-

ТАБЛИЦА А.

Системы фермъ.	Пояса p_1.	Заполненіе p_2.
A. Параллельные пояса; сплошная стѣнка	$0{,}0039\ q_1 l'$	$0{,}0012\ q_2 l'$
B. Параллельные пояса; рѣшетчатыя фермы; плоскіе раскосы . .	$0{,}0039\ q_1 l'$	$(0{,}0013\ p + 0{,}0017\ k_2)\ l'$
C. Параллельные пояса; рѣшетчатыя фермы; плоскіе и жесткіе раскосы.	$0{,}0039\ q_1 l'$	$(0{,}0012\ p + 0{,}0016\ k_2)\ l'$
D. Параллельные пояса; раскосныя фермы	$0{,}0039\ q_1 l'$	$(0{,}0020\ p + 0{,}0027\ k_2)\ l'$
E. Параболическія.	$0{,}0048\ q_1 l'$	$0{,}0006\ k_2 l'$
F. Шведлера.	$\left[0{,}0029 + \frac{(5 - C_1)^2}{8000}\right] q_1 l'$	$(0{,}00149 - 0{,}0002\sqrt{5 - C_2})\ k_2 l'$
G. Полупараболическія	$0{,}0037\ q_1 l'$	$(0{,}0019\ p + 0{,}0024\ k_2)\ l'$

мулой вида:

$$\psi = B - Cq - Dl,$$

гдѣ l — *величина пролета;* причемъ при $l > 20$ метровъ членъ $C = 0$. Численныя значенія этого конструктивнаго коэффиціента для поясовъ и рѣшетки фермъ различныхъ системъ приведены въ слѣдующей таблицѣ B:

ТАБЛИЦА В.

Система фермъ.	2 — 20 м.	20 — 35 м.	35 — 50 м.	50 — 100 м.	100 — 150 м.
		П О Я С А:			
A и B. . .	$6{,}5 - 0{,}00026\ q_1 + 0{,}15 l$	—	—	—	—
C	—	$1{,}79 - 0{,}0070 l$	$1{,}66 - 0{,}0035 l$	$1{,}57 - 0{,}0028 l$	—
D	—	$1{,}75 - 0{,}0076 l$	$1{,}61 - 0{,}0038 l$	$1{,}52 - 0{,}0019 l$	—
E и F . . .	—	$1{,}65 - 0{,}0076 l$	$1{,}52 - 0{,}0038 l$	$1{,}43 - 0{,}0019 l$	—
G	—	$1{,}59 - 0{,}0076 l$	$1{,}46 - 000{,}38 l$	$1{,}34 - 0{,}0019 l$	$1{,}28 - 0{,}0010 l$
		З А П О Л Н Е Н І Е:			
A	$6{,}7 - 0{,}00041\ q_2 + 0{,}03 l$	—	—	—	—
B	$1{,}8 - 0{,}00008\ q_2 + 0{,}03 l$	—	—	—	—
C и D . . .	—	$2{,}09 - 0{,}0072 l$	$1{,}92 - 0{,}0024 l$	$1{,}84 - 0{,}0008 l$	—
E, F и G . .	—	$2{,}14 - 0{,}0075 l$	$1{,}92 - 0{,}0025 l$	$1{,}83 - 0{,}0008 l$	$1{,}78 - 0{,}0003 l$

Въ выраженіяхъ, показывающихъ значенія вѣса поясовъ и заполненія, входятъ количества: $p + k_1 = q_1$ и $p + k_2 = q_2$. Слѣдовательно, предварительно слѣдуетъ какимъ-нибудь другимъ путемъ опредѣлить искомыя значенія p, а также

и k_1 и k_2. Значенія этихъ послѣднихъ величинъ для подвижного состава, обращающагося на нашихъ дорогахъ, приведены ниже.

Здѣсь же приведены значенія, данныя Seefehlner'омъ для слѣдующаго типа паровозовъ, предполагая, что поѣздъ составленъ изъ трехъ паровозовъ и ряда груженыхъ вагоновъ:

Паровозъ. Разстояніе между осями . . . . . 113, 115, 115 сантим.
Нагрузка на ось . . . . . 11,75, 12,00, 12,25, 12,00 тоннъ.

Тендеръ. Разстояніе между осями. . . . . 158, 158 сантим.
Нагрузка на ось . . . . . 10, 10, 10 тоннъ.

Значеніе k_1 и k_2 для этихъ двухъ типовъ паровозовъ помѣщены въ слѣдующей таблицѣ C.

ТАБЛИЦА C.

l	k_1	k_2	l	k_1	k_2	l	k_1	k_2
6	9700	12120	25	5510	6920	90	4600	5760
8	8500	10620	30	5430	6660	100	4500	5620
10	7350	9440	40	5350	6590	110	4410	5510
12	6650	8810	50	5150	6480	120	4290	5340
14	6000	7520	60	5070	6340	130	4180	5250
16	5800	7200	70	5000	6270	140	4070	5090
18	5640	7100	80	4920	6150	150	3960	4950
20	5610	7010						

Что же касается предварительныхъ значеній $p = p_1 + p_2 + p_3 + f$, то они могутъ быть взяты изъ нижепомѣщенныхъ таблицъ профессора Бѣлелюбскаго и инженера Богуславскаго. Здѣсь же приводятся, для опредѣленія $p_1 + p_2 + p_3$, таблицы D, составленныя Seefehlner'омъ изъ сопоставленія вѣсовъ цѣлаго ряда пролетныхъ частей существующихъ мостовъ; эти таблицы интересны еще въ томъ отношеніи, что онѣ указываютъ для различныхъ системъ мостовыхъ фермъ отношеніе между вѣсомъ металла ($p_1 + p_2$) въ главныхъ фермахъ и вѣсомъ (p_3) въ проѣзжей части моста и въ связяхъ.

ТАБЛИЦА D.

Ѣзда по-верху.			Ѣзда по-низу.								
l	$p_1 + p_2$	p_3	l	$p_1 + p_2$	p_3	l	$p_1 + p_2$	p_3	l	$p_1 + p_2$	p_3
A. Фермы съ параллельными поясами и со сплошной стѣнной.											
6	444	73	14	706	187	6	360	333	14	710	390
8	512	76	16	723	282	8	553	348	16	726	412
10	591	104	18	742	289	10	599	360	18	742	440
12	688	148	20	754	300	12	663	376	20	768	465

Ѣ З Д А Н О - Н И З У.											
l	p_1+p_2	p_3	l	p_1+p_2	p_3	l	p_1+p_2	p_3	l	p_1+p_2	p_3
B. Рѣшетчатыя фермы съ параллельными поясами и съ плоскими раскосами.											
6	498	73	14	659	187	6	501	333	14	632	390
8	516	76	16	687	282	8	524	348	16	688	412
10	538	104	18	730	289	10	581	360	18	696	440
12	610	148	20	774	300	12	609	376	20	711	465
C. Рѣшетчатыя фермы съ парал. поясами и съ плосними и жесткими раскосами.											
10	580	104	40	1270	482	10	593	360	40	1262	509
15	647	247	45	1394	501	15	689	401	45	1385	514
20	730	300	50	1575	519	20	758	465	50	1575	519
25	836	435	60	1793	558	25	847	482	60	1793	558
30	995	452	70	2062	580	30	1002	492	70	2062	580
35	1131	470	80	2449	601	35	1154	503	80	2449	601
D. Раскосныя фермы съ параллельными поясами.											
10	709	89	40	1552	464	10	725	277	40	1542	471
15	791	210	45	1704	487	15	842	341	45	1693	487
20	893	277	50	1925	499	20	926	396	50	1925	499
25	1022	401	60	2291	503	25	1035	424	60	2291	503
30	1216	433	70	2520	544	30	1224	447	70	2520	544
35	1383	450	80	2992	585	35	1410	460	80	2992	585
Ѣ З Д А П О - Н И З У.											
E. Параболическія фермы.						F. Фермы Шведлера.					
20	614	465	45	1304	530	20	741	465	45	1252	530
25	767	482	50	1451	546	25	893	482	50	1356	546
30	970	491	60	1804	558	30	962	491	60	1613	558
35	1060	504	70	2119	580	35	1025	504	70	1901	580
40	1245	511	80	2514	611	40	1141	511	80	2189	611
G. Полупараболическія фермы:											
60	1987	574	90	3082	922	110	4174	1182	140	6618	1876
70	2392	693	100	3621	1001	120	4835	1304	150	7531	2029
80	2671	801				130	5709	1438			

Значеніе члена f составляетъ въ среднемъ для желѣзнодорожныхъ мостовъ 440 килограммовъ на погонный метръ пути.

Опредѣленный по этимъ формуламъ вѣсъ фермъ существующихъ мостовъ, какъ оказалось, отличается отъ дѣйствительнаго вѣса на $2^0/_0 — 15^0/_0$.

Примѣръ 1. Ферма съ параллельными поясами, рѣшетчатой системы съ жесткими и плоскими раскосами (мостъ на Дунаѣ близъ Цвипфальтендорфа; ѣзда по-верху) $l = 45.3$ метра; $\frac{l}{h} = 10.6$; $R = 6.75$; килограмма; $k_1 = k_2 = 4300$ килограммовъ. Слѣдовательно по таблицѣ (D, C), примѣрный вѣсъ:

$$p = p_1 + p_2 + p_3 + f = 1394 + 501 + 440 = 2335 \text{ килогр.}$$

Слѣдовательно по таблицѣ A:

$$p_1 = 0{,}0039\, q_1 l' = 0{,}0039\, (2335 + 4300)\, \frac{45{,}3}{2} = 586 \text{ килограммовъ;}$$

$$p_2 = (0.0012\, p + 0.0016\, k_2)\, l' = (0.0012 \times 2335 + 0.0016 \times 4300)\, \frac{45{,}3}{2} = 219 \text{ кил.}$$

Затѣмъ конструктивный коэффиціентъ по таблицѣ B:

$$\psi_1 = 1.66 — 0.0035\, l = 1.66 — 0.0035 \times 45.3 = 1.50;$$

$$\psi_2 = 1.92 — 0.0024\, l = 1.92 — 0.0024 \times 45.3 = 1.81.$$

Слѣдовательно:

$$p_1 + p_2 = \left(586 \times \frac{10.6}{10} \times 1.50 + 219 \times 1.81\right) \frac{7.00}{6.75} = 1377 \text{ килограммамъ.}$$

Членъ, выражающій вѣсъ поясовъ, умноженъ на отношеніе $\frac{10.6}{10}$, такъ какъ 10.6 и 10 представляютъ отношеніе пролета къ высотѣ въ данномъ примѣрѣ и предположенное при составленіи таблицъ. На томъ-же самомъ основаніи общій вѣсъ $p_1 + p_2$ умноженъ на отношеніе коэффиціентовъ напряженій: $\frac{7.00}{6.75}$, изъ которыхъ первый принятъ при составленіи таблицы, а второй — въ данномъ примѣрѣ.

Въ дѣйствительности вѣсъ главныхъ фермъ на погонный метръ $= 1536$ килограммовъ; разница около $12^0/_0$.

Примѣръ 2. Ферма системы Шведлера. Мостъ чрезъ р. Эльбу близъ Магдебурга подъ два пути; $l = 31{,}4$ метра; $\frac{l}{h} = 7$; для одного пути: $k_1 = 4480$: $k_2 = 5580$; $R = 6{,}75$. Слѣдовательно, по таблицѣ (D, F) примѣрный вѣсъ:

$$p = p_1 + p_2 + p_3 + f = 962 + 491 + 440 = 1893 \text{ килогр.;}$$

$$C_1 = \frac{k_1}{p} = \frac{4480}{1893} = 2{,}37;\ C_2 = \frac{k_2}{p} = \frac{5580}{1893} = 2{,}95.$$

Слѣдовательно, по таблицѣ A:

$$p_1 = \left[0.0029 + \frac{(5 — c_1)^2}{8000}\right] q_1 l' = \left[0.0029 + \frac{(5 — 2{,}37)^2}{8000}\right] \cdot (4480 + 1893)\, \frac{31.4}{2} = 376 \text{ кил.}$$

$$p_2 = (0.00149 — 0.0002 \sqrt{5 — 2{,}95}) \cdot 5580 \times \frac{31.4}{2} = 105 \text{ килограммамъ.}$$

По таблицѣ B:

$$\lambda_1 = 1.65 — 0.0076 \times 31.4 = 1.41;\ \lambda_2 = 2.14 — 0.0075 \times 31{,}4 = 1.90.$$

Слѣдовательно:

$$p_1 + p_2 = \left(376 \times \frac{7}{8}^*) \times 1.41 + 105 \times 1.9\right) \frac{7.00}{6.75} = 688 \text{ килогр.}$$

---

*) При выводѣ своей формулы Seefehlner полагалъ высоту фермъ Шведлера и параболическихъ въ $\frac{1}{8}$ пролета; въ данномъ-же примѣрѣ эта высота: $\frac{1}{7}$ пролета.

Въ дѣйствительности для двухъ путей: $p_1 + p_2 = 1188$ килограммамъ, а слѣдовательно для одного пути: $\frac{11}{20} \times 1188 = 653$ килограммамъ; а такъ какъ двѣ фермы подъ одинъ путь, во всякомъ случаѣ, должны быть тяжелѣе одной фермы подъ одинъ путь, то разница не особенно велика.

Относительно сравнительнаго достоинства формулъ Winkler'a и Seefehlner'a слѣдуетъ сказать, что какъ тѣ, такъ и другія основаны на теоретическихъ значеніяхъ объема фермъ различныхъ системъ; выраженія конструктивныхъ коэффиціентовъ, предлагаемыхъ обоими авторами, хотя и неодинаковы, но въ численныхъ значеніяхъ мало разнятся одно отъ другого. Единственно, въ чемъ формулы значительно отличаются, — это въ выборѣ коэффиціента допускаемаго напряженія. Винклеръ принимаетъ два отдѣльныхъ коэффиціента для постоянной (14 килограммовъ) и подвижной нагрузки (5,9 килограм.), а Seefehlner беретъ общій коэффиціентъ—(7 килограммовъ).

Численные выводы, получаемые по обѣимъ формуламъ и по формуламъ Шведлера, вообще мало разнятся одни отъ другихъ.

Такъ для приведеннаго выше примѣра фермы съ параллельными поясами, рѣшетчатой системы, длиною $l = 45{,}3$ метра мы нашли, что по Seefehlner'у: $p_1 + p_2 = 1377$ килограм. Прибавляя сюда по таблицѣ C: $p_3 = 501$ кил. и значеніе: $f = 440$ кил., получимъ полный собственный вѣсъ

$$p = p_1 + p_2 + p_3 + f = 2318 \text{ кил.}$$

По Винклеру:

$$p = \frac{1{,}16 + 0.0168\,l}{1 - 0{,}00170\,l} \text{ тонн} = 2{,}080 \text{ тоннъ} = 2080 \text{ килограм.}$$

значеніе получилось менѣе почти что на 10%, а, слѣдовательно, отклоненіе отъ дѣйствительнаго вѣса составляетъ 20%.

Примѣняя-же для даннаго примѣра формулу Шведлера:

$$p = \frac{F\ R + 16{,}65\,.\,k\,.\,l\left(\frac{l}{6h} + \frac{1}{2}\right)}{R - 13{,}65\,.\,l\,.\left(\frac{l}{6h} + \frac{1}{2}\right)}$$

и замѣчая, что: $F = p_3 + f = 501$ кил. $+ 440$ кил. $= 941$ кил. $= 0{,}94$ тонн;

$R = 6750$ тоннъ на квадратный метръ;

$k = 4300$ кил. $= 4{,}3$ тоннъ;

$\frac{l}{h} = 10{,}6$, найдемъ, что *полный* вѣсъ моста въ тоннахъ на погонный метръ:

$$p = \frac{0{,}94 \times 6750 + 16{,}65 \times 4{,}3 \times 45{,}3\left(\frac{10{,}6}{6} + \frac{1}{2}\right)}{6750 - 13{,}65 \times 45{,}3\left(\frac{10{,}6}{6} + \frac{1}{2}\right)} = \frac{6277{,}5 + 7352{,}18}{6750 - 1403{,}64} =$$

$$= \frac{13629{,}685}{5346{,}36} = 2{,}549 \text{ тоннъ} = 2549 \text{ килограм.}$$

Какъ упомянуто выше, дѣйствительный вѣсъ главныхъ фермъ на погонный метръ 1536 килограмм. Прибавляя сюда полный вѣсъ проѣзжей части: $501 + 440 = 941$ килограм., получимъ всего: $1536 + 941 = 2477$ килограм., что мало отличается отъ результата, полученнаго по формулѣ Шведлера.

Въ другомъ примѣрѣ для фермы Шведлера пролетомъ $l = 31{,}4$ метра, по формулѣ Seefehlner'a найдено: $p_1 + p_2 = 688$ килограм. Прибавляя: $p_3 + f = 491 + 440$, получимъ для полнаго вѣса моста на погонный метръ:

$$p = p_1 + p_2 + p_3 + f = 1619 \text{ килограммамъ.}$$

По Винклеру:

$$p = \frac{1.13 + 0{,}0177\,l}{1 - 0{,}00133\,l} = 1759 \text{ килограм.}$$

разница составляетъ около $9\,^0/_0$.

Примѣняя-же формулу Шведлера:

$$p = \frac{FRh + 3{,}79 \,.\, k\left(l^2 + \frac{8}{3}h^2\right)}{h\,.\,R - 3{,}41\left(l^2 + \frac{8}{3}h^2\right)}$$

и замѣчая, что: $F = p_3 + f = 491 + 440 = 931$ кил. $= 0{,}93$ тоннъ;

$R = 6750$ тоннъ на кв. метръ;

$$k = \frac{4480 \text{ кил.} + 5580 \text{ кил.}}{2} = 5030 \text{ кил.} = 5{,}03 \text{ тонн}\text{ъ};$$

$$\frac{l}{h} = 7;\ l = 31{,}4 \text{ метр.};\ h = \frac{31{,}4}{7} \text{ метр.} = 4{,}486 \text{ метр.},$$

найдемъ, что полный вѣсъ моста въ тоннахъ на погонный метръ:

$$p = \frac{0{,}93 \times 6750 \times 4{,}486 + 3{,}79 \times 5{,}03\left(\overline{31{,}4}^2 + \frac{8}{3} \times \overline{4{,}486}^2\right)}{4{,}486 \times 6750 - 3{,}41\left(\overline{31{,}4}^2 + \frac{8}{3} \times \overline{4{,}486}^2\right)} =$$

$$= \frac{28155{,}748 + 19819{,}088}{30280{,}5 - 3545{,}12} = \frac{47974{,}84}{26735{,}38} = 1{,}800 \text{ тонн}\text{ъ} = 1800 \text{ кил.},$$

что также мало отличается отъ предыдущихъ результатовъ.

ж) По **Gabriely** — вѣсъ металла въ пролетныхъ частяхъ на пог. единицу пути, принимая за единицы килогр. и метръ и называя: $m = \frac{h}{l}$ составляетъ:

α) для *однораскосныхъ фермъ* подъ одинъ путь при ѣздѣ по низу безъ верхнихъ связей при величинѣ пролета $l < 50$ метр.

$$p = \frac{202 + \frac{6{,}75}{m} + \left(8{,}72 + \frac{1{,}35}{m}\right) l + 11{,}73\, m^2 l^2}{1 - 0{,}00088\, l\left(\frac{3}{4} + \frac{1}{6m}\right)} \text{ кил. . . . (37)}$$

$$\text{при } m = \frac{1}{10},\ p = \frac{270 + 22{,}2\, l + 0{,}117\, l^2}{1 - 0{,}0021\, l};$$

$$\text{при } m = \frac{1}{6};\ p = \frac{243 + 16{,}8\, l + 0{,}326\, l^2}{1 - 0{,}00154\, l}$$

β) *тоже* для $l > 50$ метр., съ верхними связями:

$$p = \frac{312 + \frac{23{,}47}{m} + \left(6{,}07 + \frac{1{,}026}{m}\right) l + (4{,}69\, m^2 + 0{,}238\, m)\, l^2}{1 - 0{,}00088\, l\left(\frac{3}{4} + \frac{1}{6m}\right)} \text{ кил. (38)}$$

$$\text{при } m = \frac{1}{10},\ p = \frac{547 + 16{,}3\, l + 0{,}0707\, l^2}{1 - 0{,}0021\, l}$$

$$\text{при } m = \frac{1}{6};\ p = \frac{453 + 12{,}2\,l + 0{,}17\,l^2}{1 - 0{,}00154\,l}$$

γ) для *двухраскосныхъ фермъ* при ѣздѣ по низу, для пролетовъ $l > 50$ метр.

$$p = \frac{312 + \frac{23{,}47}{m} + \left(6{,}07 + \frac{1{,}026}{m}\right) l + (6{,}16\,m^2 + 0{,}238\,m)\,l^2}{1 - 0{,}00088\,l\left(\frac{3}{4} + \frac{1}{6}\,m\right)} \text{ кил. (39)}$$

$$\text{при } m = \frac{1}{10};\ p = \frac{547 + 16{,}3\,l + 0{,}0854\,l^2}{1 - 0{,}0021\,l}$$

$$\text{при } m = \frac{1}{6};\ p = \frac{453 + 12{,}2\,l + 0{,}21\,l^2}{1 - 0{,}00154\,l}$$

δ) для *однораскосныхъ фермъ* подъ два пути:

$$= \frac{515{,}2 + \frac{46{,}94}{m} + \left(12{,}14 + \frac{2{,}052}{m}\right) l + (4{,}69\,m^2 + 0{,}238\,m)\,l^2}{1 - 0{,}00088\left(\frac{3}{4} + \frac{1}{6m}\right)} \quad . \quad (40$$

$$\text{при } m = \frac{1}{10};\ p = \frac{984 + 32{,}6\,l + 0{,}0708\,l^2}{1 - 0{,}0021\,l}$$

$$\text{при } m = \frac{1}{6};\ p + \frac{796 + 24{,}4\,l + 0{,}170\,l^2}{1 - 0{,}00154\,l}$$

ε) для *двухраскосныхъ фермъ* подъ два пути:

$$p = \frac{515{,}2 + \frac{46{,}94}{m} + \left(12{,}14 + \frac{2{,}052}{m}\right) l + (6{,}16\,m^2 + 0{,}238\,m)\,l^2}{1 - 0{,}00088\left(\frac{3}{4} + \frac{1}{6m}\right)} \quad . \quad (41)$$

$$\text{при } m = \frac{1}{10};\ p = \frac{984 + 32{,}6\,l + 0{,}0854\,l^2}{1 - 0{,}0021\,l}$$

$$\text{при } m = \frac{1}{6};\ p = \frac{796 + 24{,}4\,l + 0{,}210\,l^2}{1 - 0{,}00154\,l}$$

λ) для *однораскосныхъ фермъ* съ ѣздою по верху при величинѣ пролетовъ $l < 50$ метр.

$$p = \frac{238 + \frac{6{,}75}{m} + 59{,}8\,m + \left(8{,}72 + \frac{1{,}35}{m} + 17{,}8\,m\right) l + (4{,}69\,m^2 + 0{,}238\,m)\,l^2}{1 - 0{,}00088\left(\frac{3}{4} + \frac{1}{6m}\right)} \quad (42)$$

$$\text{при } m = \frac{1}{10},\ p = \frac{312 + 24{,}0\,l + 0{,}0707\,l^2}{1 - 0{,}0021\,l};$$

$$\text{при } m = \frac{1}{6};\ p = \frac{289 + 19{,}8\,l + 0{,}17\,l^2}{1 - 0{,}00154\,l}$$

Для полученія полнаго вѣса пролетныхъ частей, включая и вѣсъ рельсовъ, шпалъ и проч., слѣдуетъ прибавить около 450 кил. на пог. метръ пути.

з) По **Resal'ю**, если F—вѣсъ проѣзжей части, включая рельсы, шпалы и пр. въ кил. на пог. метръ пути; k — подвижная нагрузка на ту же единицу; R — коэффиціентъ допускаемаго напряженія въ кил. на кв. метръ, то вѣсъ главныхъ фермъ $C \,.\, l$ — въ кил. на пог. метръ пути:

для разрѣзныхъ фермъ съ параллельными поясами:

$$Cl = \frac{32000\, l}{R - 32000\, l}\,(1{,}1\, k + F) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (43)$$

для разрѣзныхъ фермъ съ криволинейными поясами:

$$Cl = \frac{29000\, l}{R - 29000\, l}\,(1{,}2\, k + F) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (44)$$

для неразрѣзныхъ фермъ:

$$Cl = \frac{25000\, l}{R - 25000\, l}\,(1{,}4\, k + F) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (45)$$

Resal полагаетъ, что вѣсъ главныхъ фермъ на пог. единицу пропорціоналенъ произведенію изъ величины пролета, на величину полной нагрузки, включая и подвижную нагрузку, т. е.

$$Cl = K \,.\, l\,(Cl + F + k) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (a)$$

откуда:

$$Cl = \frac{K\, l\,(F + k)}{1 - K \,.\, l} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (b)$$

$$p = Cl + F = \frac{K\, l\, k + F}{1 - K l} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (c)$$

$$K = \frac{C}{(Cl + F + k)} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (d)$$

Множитель K — Resal — называетъ *коэффиціентомъ экономичности* даннаго типа фермы. Если извѣстенъ этотъ коэффиціентъ для какого либо типа фермъ, а также извѣстна подвижная нагрузка k и F изъ предварительныхъ расчетовъ, то вѣсъ главныхъ фермъ опредѣляется изъ формулы:

$$Cl = \frac{Kl\,(F + k)}{1 - Kl},$$

а полный вѣсъ пролетныхъ частей моста изъ:

$$p = \frac{Kl\, k + F}{1 - Kl}$$

Значеніе K можетъ быть найдено по формулѣ (d), пользуясь данными какихъ-либо существующихъ сооруженій Приведемъ одинъ изъ примѣровъ, данныхъ Resal'емъ. Пусть требуется опредѣлить полный вѣсъ пролетныхъ частей моста при пролетѣ въ $l = 98$ метр. Пользуемся данными собственнаго вѣса пролетныхъ частей одного изъ пролетовъ въ 57 метр. моста чрезъ р. Лекъ у Квилсбурга. Вѣсъ главныхъ фермъ: 215,100 кил.; вѣсъ металла въ проѣзжей части и въ связяхъ: 74,610 кил.; полный вѣсъ пролетныхъ частей, включая рельсы и проч.: 330,283 кил. Полная длина фермъ: 60,50 метр.

Слѣдовательно:

$$Cl = \frac{215{,}100}{60{,}50} = 3555 \text{ кпл.}$$

$$p = Cl + F = \frac{330{,}283}{60{,}50} = 5459 \text{ кпл.}; \quad F = 5459 - 3555 = 1904 \text{ кпл};$$

вѣсъ металла въ проѣзжей части и въ связяхъ:

$$F' = \frac{74{,}610}{60{,}50} = 1233 \text{ кпл.}$$

Расчетная нагрузка k — была принята въ 7700 кпл.

Относя къ расчетному пролету: $l = 59{,}50$ метр., найдемъ:

$$K = \frac{Cl}{l(Cl + F + k)} = \frac{3{,}555}{59{,}50\ (5459 + 7700)} = 0{,}0045.$$

Предполагая, что искомыя пролетныя части будутъ имѣть проѣзжую часть и связи того же типа, какъ и разсматриваемый мостъ, и такъ какъ для $l = 98$ метр., $k = 6500$ кпл. на пог. метръ, то на основаніи (c), полный вѣсъ пролетныхъ частей:

$$p = \frac{Klk + F}{1 - Kl} = \frac{0{,}0045 \times 98 \times 6500 + 1904}{1 - 0{,}0045 \times 98} = 8534$$

$$Cl = p - F = 8534 - 1904 = 6630.$$

Вѣсъ металла въ главныхъ фермахъ, въ проѣзжей части и связяхъ:

$$F' = 6630 + 1233 = 7863 \text{ кпл.}$$

Предположимъ далѣе, что проѣзжая часть измѣнена: деревянный настилъ замѣненъ металлическимъ, при чемъ вѣсъ металла увеличился на 1200 кпл., а вѣсъ проѣзжей части на 400 кпл

Тогда:

$$F = 1904 + 400 = 2304 \text{ кпл.}$$

вѣсъ металла въ проѣзжей части и въ связяхъ:

$$F' = 1233 + 1200 = 2433 \text{ кпл.}$$

Слѣдовательно:

$$p = \frac{0{,}0045 \times 98 \times 6500 + 2304}{1 - 0{,}0045 \times 98} = 9249 \text{ кпл.}$$

$$Cl = p - F = 9249 - 2304 = 6945 \text{ кпл.}$$

Вѣсъ металла въ главныхъ фермахъ, въ проѣзжей части и связяхъ:

$$F' = 6945 + 2433 = 9378 \text{ кпл.}$$

Еслибы для вновь проектируемыхъ пролетныхъ частей имѣлось въ виду допустить коэффиціентъ напряженія R', отличающійся отъ того значенія R, при которомъ были проектированы пролетныя части данныхъ пролетныхъ частей, то вмѣсто K, слѣдовало бы взять:

$$K' = K \cdot \frac{R}{R'}.$$

Resal — опредѣлилъ значеніе K для очень многихъ существующихъ сооруженій, причемъ оказалось, что величина K колеблется въ тѣсныхъ предѣлахъ отъ 0,004 до 0,006. Такимъ образомъ значеніе K можетъ служить мѣриломъ, оцѣнкой достоинства проекта. Если $K = 0{,}004$, то это указываетъ, что или коэффиціентъ напряженій очень высокъ или что проектъ составленъ раціонально.

При $K = 0{,}006$ — обратное заключеніе. Вообще же при одномъ и томъ же значеніи коэффиціента напряженія, тотъ проектъ заслуживаетъ предпочтенія, для котораго K имѣетъ меньшее значеніе.

Resal даетъ еще слѣдующія теоретическія формулы для опредѣленія вѣса главныхъ фермъ на пог. ед. пролета. Эти формулы выведены имъ для балки со сплошной стѣнкой и могутъ быть примѣнены съ нѣкоторымъ приближеніемъ для фермъ со сквозной стѣнкой.

а) Разрѣзныя фермы:

$$p' = Cl = \delta\psi \frac{\left[(p'' + p''' + p^{IV}) \frac{(4l^2 + 6lh)}{24h} + k \frac{(4l^2 + 7lh)}{24h}\right]^{*})}{R - \delta\psi \frac{(4l^2 + 6lh)}{24h}} \quad \ldots \quad (e)$$

гдѣ буквы выражаютъ тѣ же величины, какъ въ формулѣ (31).

---

*) Обозначимъ: $p'' + p''' + p^{IV}$ чрезъ p_0; тогда полный собственный вѣсъ на пог. ед. пролета: $p = p' + p_0$. Для балки со сплошной стѣнкой сѣченіе каждаго изъ поясовъ: $\omega = \frac{M}{Rh}$; сѣченіе вертикальной стѣнки: $\omega' = \frac{\mathfrak{B}}{R}$, гдѣ M и R — наибольшія значенія моментовъ и перерѣзывающихъ усилій. Слѣд. вѣсъ главныхъ фермъ:

$$p'l = Cl^2 = \delta \int_0^l 2\omega_x\, dx + \delta \int_0^l \omega'_x\, dx = \delta \int_0^l \frac{2 M_x\, dx}{Rh} + \delta \int_0^l \frac{\mathfrak{B}_x}{R}\, dx.$$

Но:

$$M_x = \frac{1}{2}(p' + p_0 + k)\, x\,(l - x); \quad \mathfrak{B}_x = \frac{1}{2}(p' + p_0)(l - 2x) + k \frac{(l-x)^2}{2l}, \quad \text{для } 0 < x < \frac{l}{2}.$$

Слѣд.

$$\delta \int_0^l \frac{2 M_x}{Rh}\, dx = \frac{2\delta}{Rh} \cdot \frac{1}{2}(p' + p_0 + k)\left(\frac{l^3}{2} - \frac{l^3}{3}\right) = \frac{l^3}{6Rh}(p' + p_0 + k)$$

$$\delta \int_0^l \frac{\mathfrak{B}^x}{R}\, dx = 2\delta \int_0^{\frac{l}{2}} \frac{\mathfrak{B}_x}{R}\, dx = \frac{2.\delta}{R}\left[\frac{1}{2}(p' + p_0)\left(\frac{l^2}{2} - \frac{l^2}{4}\right) + k\left(\frac{l^2}{4} - \frac{l^2}{8} + \frac{l^2}{48}\right)\right] =$$

$$= \delta\left[(p' + p_0)\frac{l^2}{4} + \frac{7}{24}kl^2\right].$$

Вводя конструктивный коэффиціентъ ψ, получимъ:

$$p'l = \frac{\delta l^2 \psi}{24R}\left[4(p' + p_0 + k)\frac{l}{h} + (6p' + 6p_0 + 7k)\right]$$

или рѣшая относительно p':

$$p' = \delta\psi \frac{\left[p_0 \frac{(4l^2 + 6lh)}{24h} + k \frac{(4l^2 + 7lh)}{24h}\right]}{R - \delta\psi \frac{(4l^2 + 6lh)}{24h}}$$

Эта формула выражаетъ точно вѣсъ главныхъ фермъ со сплошной стѣнкой на пог. ед. пролета. Сравнивая ее съ формулой (31), выражающей вѣсъ главныхъ фермъ раскосной системы, оказывается, что ферма послѣдняго типа тяжелѣе фермы со сплошной стѣнкой въ предположеніи, что толщина сплошной стѣнки уменьшается непрерывно отъ опоръ къ серединѣ пролета, что практически невыполнимо. Такимъ образомъ въ дѣйствительности при большихъ пролетахъ преимущество остается на сторонѣ фермъ со сквозной стѣнкой.

б) Срсдніе пролеты неразрѣзной фермы:

$$p' = \delta\psi \frac{\left[(p'' + p''' + p^{IV}) \frac{(1{,}5\,l^2 + 6\,lh)}{24\,h} + k \frac{(3{,}3\,l^2 + 8\,lh)}{24\,h}\right]}{R - \delta\psi \frac{(1{,}5\,l^2 + 6\,lh)}{24\,h}} \quad \ldots\ldots (f)$$

в) Ближайшіе къ краямъ пролеты неразрѣзной фермы:

$$p' = \delta\psi \frac{\left[(p'' + p''' + p^{IV}) \frac{(2{,}5\,l^2 + 5\,lh)}{24\,h} + k \frac{(3{,}8l^2 + 8lh)}{24\,h}\right]}{R - \delta\psi \frac{(2{,}5\,l^2 + 6\,lh)}{24\,h}} \quad \ldots\ldots (g)$$

г) Фермы Гербера (среднее значеніе вѣса главныхъ фермъ всего строенія моста): формула (e) съ замѣной

$$k \frac{(4l^2 + 7lh)}{24\,h}$$

выраженіемъ:

$$k \frac{(3{,}5\,l^2 + 8lh)}{24\,h}$$

д) Фермы Гербера, задѣланныя на промежуточныхъ опорахъ (Фортскій мостъ) и неразрѣзныя фермы, задѣланныя на промежуточныхъ опорахъ:

$$p' = \delta\psi \frac{\left[(p'' + p''' + p^{IV} + k) \frac{(2\,l^2 + 6\,lh)}{24\,h}\right]}{R - \delta\psi \frac{(2\,l^2 + 6\,lh)}{24\,h}} \quad \ldots\ldots (h)$$

и) По **Johnson'y** для существующихъ въ Америкѣ типовъ пролетныхъ частей вѣсъ *металла* въ фунт. на пог. ф. пути:
для фермъ со сплошной стѣнкой:

$p = 9\,l + 110$ — ѣзда по верху; деревянная проѣзжая часть.
$p = 8{,}75\,l + 300$ — ѣзда по низу; металлич. попер. и ирод. балки.
$p = 10\,l + 600$ — ѣзда по низу; съ американской метал. проѣзжей частью безъ попереч. и продольныхъ балокъ.

для фермъ со сквозной стѣнкой при заклепочныхъ соединеніяхъ:

$p = 7\,l + 200$ — ѣзда по верху, деревянная проѣзжая часть.
$p = 7\,l + 300$ — ѣзда по низу, метал. попер. и продольныя балки.

для фермъ со сквозной стѣнкой при болтовыхъ соединеніяхъ:

$p = 5\,l + 250$ — ѣзда по верху; деревянная проѣзжая часть.
$p = 5\,l + 475$ — ѣзда по верху; метал. попер. и ирод. балки.
$p = 5\,l + 350$ — ѣзда по низу; метал. попер. и ирод. балки.

і) Приводимъ для соображенія при проектированіи слѣдующую составленную профессоромъ *Н. А. Бѣлелюбскимъ* таблицу собственнаго вѣса пролетныхъ частей моста для различныхъ пролетовъ; вѣса эти опредѣлены на основаніи испол-

Ѣзда по-верху.

Пролеты.		Длина фермъ въ фут.	Формула, дающая вѣсъ желѣзныхъ частей на одинъ погонный футъ пути въ пудахъ.	Вѣсъ.		
Въ свѣту въ саж.	Расчетный въ фут.			Желѣза пуд.	Металла въ опорныхъ частяхъ пуд.	Всего пуд.
2	16,5	$17^1/_3$	$0{,}50\,l$	150	15	165
3	23,5	25	$0{,}46\,l$	285	20	305
4	31	32,5	$0{,}42\,l$	420	30	450
5	38	39,5	$0{,}36\,l$	560	40	600
6	45	47	$0{,}33\,l$	710	50	760
7	52	54	$0{,}30\,l$	870	60	930
8	59	61	$0{,}28\,l$	1030	70	1100
10	74	76	$0{,}25\,l$	1370	130	1500
15	110	112	$0{,}23\,l$	2810	190	3000
20	145	149	$0{,}21\,l + 8$	5680	320	6000
25	180	182	$0{,}21\,l + 8{,}5$	8450	450	8900
30	216	218	$0{,}21\,l + 9$	11900	600	12500
35	251	253	$0{,}21\,l + 9{,}5$	15750	750	16500
40	286	288	$0{,}21{,}5\,l + 10$	20600	900	21500
45	322	325	$0{,}22\,l + 10$	26300	1000	27300
50	357	360	$0{,}23\,l + 10$	33200	1200	34400

Ѣзда по-низу.

Пролеты		Длина фермъ L въ фут.	Формула, дающая вѣсъ желѣзныхъ частей на одинъ погонный футъ пути въ пудахъ.	Вѣсъ.		
Въ свѣту въ саж.	Расчетный въ фут.			Желѣза пуд.	Металла въ опорныхъ частяхъ пуд.	Всего пуд.
7	52	54	$0{,}29\ l + 10$	1355	70	1430
8	59	61	$0{,}27\ l + 10$	1580	80	1660
10	74	76	$0{,}24\ l + 10$	2160	140	2300
15	110	112	$0{,}22\ l + 10$	3800	200	4000
20	145	147	$0{,}215\,l + 10$	6080	320	6400
25	180	182	$0{,}215\,l + 10$	8850	450	9300
30	216	218	$0{,}21\ l + 10$	12100	600	12700
35	251	253	$0{,}21\ l + 10$	15875	725	16600
40	286	288	$0{,}215\,l + 10$	20600	900	21500
45	322	325	$0{,}22\ l + 10$	26300	1000	27300
50	357	360	$0{,}23\ l + 10$	33200	1200	34400

пительныхъ проектовъ: за подвижную нагрузку приняты нормы, установленныя Министерствомъ Путей Сообщенія въ 1884 году. Эти нормы замѣнены въ настоящее время другими; для пролетовъ до 20 с. собственный вѣсъ мостовъ поэтому нѣсколько увеличится; для остальныхъ пролетовъ вѣсъ не должеиъ значительно измѣииться. Кромѣ того, полезно вѣсъ металла проѣзжей части мостовъ, показанный отъ 8 до 10 нуд. на погонный футъ, увеличить на 2 пуда.

Прiмѣчаніе. При составленіи таблицы было предположеио, что мосты съ ѣздою по-верху, пролетами отъ 20 саженъ и свыше, имѣютъ проѣзжую часть съ желѣзными поперечными и продольными балками. Затѣмъ при пролетахъ отъ 2-хъ до 4-хъ саженъ разстояніе между фермами не меиѣе 6,5 футъ, отъ 5 до 7—не менѣе 7 футъ, а отъ 8 до 15—не менѣе 7,15 футъ.

При исчисленіи вѣса желѣза прибавлено около $^3/_4$ пуда на погонный футъ на перила.

При пролетахъ свыше 8-ми сажеиъ опорныя части предположены съ катками, а отъ 20 саженъ—съ катками и балансирами.

к) Пользуясь исполнительными проектами желѣзнодорожныхъ моетовъ, построенныхъ у насъ въ послѣднее время распоряженіемъ казны, инженеръ *Богуславскій* сгруппировалъ всѣ имѣющіяся по сему данныя и опредѣлилъ слѣдующія значенія коэффиціеитовъ C и F въ формулѣ вида:

$$p = Cl + F,$$

отдѣльно для исчисленія p — вѣса металла пролетнаго строенія моста на погонный футъ въ пудахъ и для исчисленія полной постоянной нагрузки (включая рельсы, шпалы и проч.) на ту же единицу расчетнаго пролета.

Мосты съ ѣздою по-верху.

Пролетъ въ свѣту (саж.).	Погонный вѣсъ пролетнаго строенія моста.		Пролетъ въ свѣту (саж.).	Погонный вѣсъ пролетнаго строенія моста.	
	Для исчисленія вѣса металлическихъ частей (пуд.).	Для исчисленія постоянной нагрузки (пуд.).		Для исчисленія вѣса металлическихъ частей (пуд.).	Для исчисленія постоянной нагрузки (пуд.).
Мосты съ деревянною проѣзжею частью.					
1,00	0,748 l + 0,337	0,575 l + 7,34	7,00	0,282 l + 1,073	0,258 l + 8,27
2,00	0,548 l + 0,631	0,485 l + 8,36	8,00	0,282 l + 0,819	0,261 l + 8,59
3,00	0,435 l + 0,839	0,397 l + 8,53	10,00	0,269 l + 0,729	0,246 l + 9,15
4,00	0,411 l + 0,829	0,372 l + 8,31	12,00	0,248 l + 0,889	0,222 l + 9,87
5,00	0,365 l + 0,731	0,334 l + 8,64	15,00	0,246 l + 0,646	0,228 l + 9,42
6,00	0,330 l + 0,771	0,306 l + 8,62	20,00	0,227 l + 0,805	0,211 l + 9,31
Мосты съ металлическою проѣзжею частью.					
20,00	0,222 l + 9,07	0,206 l + 17,07	40,00	0,271 l + 11,00	0,257 l + 18,00
25,00	0,232 l + 10,37	0,216 l + 17,57	45,00	0,275 l + 11,75	0,265 l + 19,25
30,00	0,248 l + 11,04	0,235 l + 19,74	50,00	0,285 l + 13,09	0,279 l + 22,09

Мосты съ ѣздою по-низу.

Пролетъ въ свѣту (саж.)	Погонный вѣсъ пролетнаго строенія моста. Для исчисленія вѣса металлическихъ частей (пуд.).	Для исчисленія постоянной нагрузки (пуд.).	Пролетъ въ свѣту (саж.)	Погонный вѣсъ пролетнаго строенія моста. Для исчисленія вѣса металлическихъ частей (пуд.).	Для исчисленія постоянной нагрузки (пуд.).
4,00	$0{,}333\,l + 9{,}16$	$0{,}295\,l + 16{,}16$	40,00	$0{,}254\,l + 13{,}42$	$0{,}239\,l + 21{,}92$
5,00	$0{,}379\,l + 13{,}48$	$0{,}347\,l + 21{,}23$	50,00	$0{,}253\,l + 13{,}00$	$0{,}242\,l + 22{,}00$
10,00	$0{,}244\,l + 11{,}50$	$0{,}226\,l + 19{,}75$	21,387	Съ приспособленіемъ для проѣзда экипажей въ свободное отъ поѣздовъ время. $0{,}339\,l + 21{,}31$	$0{,}332\,l + 41{,}81$
15,00	$0{,}212\,l + 10{,}37$	$0{,}194\,l + 18{,}07$	30,00	$0{,}251\,l + 13{,}47$	$0{,}231\,l + 20{,}67$
20,00	$0{,}230\,l + 11{,}87$	$0{,}215\,l + 20{,}23$	35,00	$0{,}252\,l + 16{,}37$	$0{,}236\,l + 36{,}17$
25,00	$0{,}229\,l + 11{,}94$	$0{,}217\,l + 19{,}92$			
30,00	$0{,}221\,l + 12{,}62$	$0{,}208\,l + 20{,}52$	37,50	Двухъ-пролетный мостъ съ экипажн. проѣздомъ поверху. $0{,}401\,l + 35{,}71$	$0{,}379\,l + 56{,}71$
35,00	$0{,}235\,l + 11{,}30$	$0{,}225\,l + 18{,}30$			

Примѣръ. Опредѣлимъ для сравненія вѣса пролетныхъ частей мостовъ по различнымъ эмпирическимъ формуламъ. Путь $l = 50$ метр.; $k = 6$ тон.; $F = p^{\text{II}} + p^{\text{III}} = 1{,}075$ тон. на пог. метръ; $\frac{l}{h} = 9$; $R = 7750$ тон на кв. метръ.

По формуламъ Шведлера: (26, 27, 28 и 29):

1) разрѣзная ферма съ параллельными поясами: полный вѣсъ пролетныхъ частей, включая шпалы и рельсы:

$$p = \frac{F \,.\, R + 16{,}65\, k \,.\, l \left(\frac{l}{6h} + \frac{1}{2}\right)}{R - 13{,}65\, l \left(\frac{l}{6h} + \frac{1}{2}\right)} = \frac{8331 + 9990}{7750 - 1365} = 2{,}87 \text{ тон. на пог. метръ;}$$

2) разрѣзная ферма съ криволинейными поясами:

$$p = \frac{FRh + 3{,}79\, k \left(l^2 + \frac{8}{3} h^2\right)}{hR - 3{,}41 \left(l^2 + \frac{8}{3} h^2\right)} = \frac{46285 + 58721}{43055 - 8805} = 3{,}07 \text{ тон. на пог. метръ;}$$

3) средній пролетъ неразрѣзной фермы съ пар. поясами:

$$p = \frac{FR + 26{,}62\, k \,.\, l \left(0{,}0642 \frac{l}{h} + \frac{1}{2}\right)}{R - 13{,}65\, l \left(0{,}0642 \frac{l}{h} + \frac{1}{2}\right)} = \frac{8331 - 8607}{7750 - 736} = 2{,}41 \text{ тон. на пог. метръ;}$$

4) крайній пролетъ неразрѣзной фермы:

$$p = \frac{FR + 31{,}94\, k \,.\, l \left(0{,}077 \frac{l}{h} + \frac{1}{2}\right)}{R - 16{,}38\, l \left(0{,}077 \frac{l}{h} + \frac{1}{2}\right)} = \frac{8331 + 11431}{7750 - 977} = 2{,}92 \text{ тон. на пог. метръ.}$$

По формуламъ теоретическаго объема (31, 33 и 34):

1) разрѣзная ферма съ параллельными поясами. Опредѣлимъ предварительно вѣсъ связей на

пог. метръ пути:

$$p^{IV} = (0{,}6\,h + 3)\ 2{,}56\,\frac{l}{R} = \left(0{,}6 \times \frac{50}{9} + 3\right)\frac{2{,}56 \times 50}{7750} = 0{,}105 \text{ тон. на пог. метръ.}$$

Слѣдовательно:

$$p^{II} + p^{III} + p^{IV} = F + p^{IV} = 1{,}075 + 0{,}105 = 1{,}18 \text{ тон. на пог. метръ.}$$

Поэтому вѣсъ металла въ главныхъ фермахъ:

$$p' = \frac{\left\{(p^{II} + p^{III} + p^{IV})\left(\frac{l^2}{6h} + \frac{3l}{4} + \frac{h}{4}\right) + k\left(\frac{l^2}{6h} + \frac{21\,l}{24} + \frac{7h}{24}\right)\right\} 13{,}65}{R - 13{,}65\left\{\frac{l^2}{6h} + \frac{3l}{4} + \frac{h}{4}\right\}} =$$

$$= \frac{\{1{,}18\,(75 + 37{,}5 + 1{,}4) + 6\,(75 + 43{,}75 + 1{,}62)\}\ 13{,}65}{7750 - 13{,}65\,(75 + 37{,}5 + 1{,}4)} =$$

$$= \frac{(134{,}40 + 722{,}22)\ 13{,}65}{7750 - 1555} = 1{,}89 \text{ тон.}$$

Слѣдовательно полный вѣсъ пролетныхъ частей моста, включая проѣзжую часть, рельсы и связи:

$$p = p^{I} + p^{II} + p^{III} + p^{IV} = 1{,}89 + 1{,}18 = 3{,}07 \text{ тон. на пог. метръ пути.}$$

2) разрѣзная параболическая ферма; здѣсь $p^{IV} = \frac{3}{4} \times 0{,}105 = 0{,}079$ тон.; вѣсъ металла въ главныхъ фермахъ:

$$p' = \frac{13{,}65\left[(p^{II} + p^{III} + p^{IV} + k)\left(\frac{l^2}{8h} \times 2{,}126 + \frac{2}{3}\,h - \frac{4}{9}\,\frac{h^2}{l}\right) + \frac{kh}{18}\left(\frac{3l}{h} - 4\right)\right]}{R - 13{,}65\left(\frac{l^2}{8h} \times 2{,}126 + \frac{2}{3}\,h - \frac{4}{9}\,\frac{h^2}{l}\right)} =$$

$$= \frac{13{,}65\left[7{,}094\,(119{,}6 + 3{,}7 - 0{,}3) + \frac{6 \times 50}{18 \times 9}\,(3 \times 9 - 4)\right]}{7750 - 13{,}65 \times 123} = \frac{12491}{6071} = 2{,}06 \text{ тон.}$$

Полный вѣсъ пролетныхъ частей моста, включая проѣзжую часть, полотно и связи:

$$p = p' + p^{II} + p^{III} + p^{IV} = 2{,}06 + 1{,}094 = 3{,}154 \text{ тон. на пог. метръ.}$$

Формулы Винклера.

Полный вѣсъ пролетныхъ частей моста опредѣляется по формулѣ (38):

$$p = \frac{p_0 + \mu + Bk \,.\, l}{1 - C \,.\, l}$$

$$p_0 = p^{II} + p^{III} + p^{IV} = 1{,}18 \text{ — для фермъ съ парал. поясами}$$

и

$$p_0 = 1{,}154 \text{ для фермъ съ кривол. поясами.}$$

По таблицамъ Винклера для однораскосныхъ фермъ типа г значеніе коэффиціентовъ μ, B и C.:

разрѣзная ферма съ парал. поясами:

$$\mu = 0{,}14;\ B = 0{,}00533;\ C = 0{,}00181;$$

неразрѣзная ферма съ парал. поясами:

$$\mu = 0{,}15;\ B = 0{,}00582;\ C = 0{,}00137;$$

парабол. ферма сложной раск. системы:

$$\mu = 0{,}074;\ B = 0{,}00522;\ C = 0{,}0014;$$

гипербол. ферма раск. системы:

$$\mu = 0{,}076;\ B = 0{,}00499;\ C = 0{,}00133.$$

1) Разрѣзная ферма съ парал. поясами:

$$p = \frac{1{,}18 + 0{,}14 + 0{,}00533 \times 6 \times 50}{1 - 0{,}00181 \times 50} = 3{,}20 \text{ тон.}$$

2) Неразрѣзная ферма съ пар. поясами:

$$p = \frac{1{,}18 + 0{,}15 + 0{,}00582 \times 6 \times 50}{1 - 0{,}00137 \times 50} = 3{,}30 \text{ тон.}$$

3) Параболическая ферма:

$$p = \frac{1{,}154 + 0{,}074 + 0{,}00522 \times 6 \times 50}{1 - 0{,}0014 \times 50} = 3{,}00 \text{ тон.}$$

4) Гиперболическая ферма:

$$p = \frac{1{,}154 + 0{,}076 + 0{,}00499 \times 6 \times 50}{1 - 0{,}00133 \times 50} = 2{,}92 \text{ тон.}$$

Формула Seefehlner'а.

Полная постоянная нагрузка:

$$p = p_1 + p_2 + p_3 + f;$$

вѣсъ проѣзжей части и связей:

$$p_3 + f = 1{,}075 + 0{,}105 = 1{,}18 \text{ тон. на пог. метръ} = 1180 \text{ кил.}$$

$$l' = \frac{l}{2} = \frac{50}{2} = 25 \text{ метр.}$$

$p = 3200$ кил. (примѣрно): $k_1 = 6000$ кил.; $k_2 = 6856$ кил.

$$c_1 = \frac{k_1}{p} = \frac{6000}{3200};\ c_2 = \frac{k_2}{p} = \frac{6856}{3200};\ q_1 = p + k_1 = 9200 \text{ кил.}$$

Для разрѣзныхъ фермъ съ парал. поясами:

вѣсъ поясовъ на пог. метръ:

$$p_1 = 0{,}0039\, q_1\ l' = 894{,}17 \text{ кил.}$$

вѣсъ рѣшетки:

$$p_2 = (0{,}0012\, p + 0{,}0016\, k_2)\ l' = 369{,}37 \text{ кил.}$$

Для парабол. фермъ:

вѣсъ поясовъ на пог. метръ:

$$p_1 = 0{,}0048\, q_1\ l' = 1100{,}52 \text{ кил.}$$

вѣсъ рѣшетки:

$$p_2 = 0{,}0006\, k_2\ l' = 102{,}84.$$

Для гипербол. фермъ:

вѣсъ поясовъ:

$$p_1 = \left[0{,}0029 + \frac{(5 - c_1)^2}{8000} \right] q_1\ l' = 940{,}03 \text{ кил,}$$

вѣсъ рѣшетки:

$$p_2 = (0{,}00149 - 0{,}0002 \sqrt{5 - c_2})\ k_2\ l' = 197{,}11 \text{ кил.}$$

Конструктивный коэффиціентъ для поясовъ

фермъ съ парал. поясами:

$$\psi_1 = 1{,}52 - 0{,}0019\, l = 1{,}425$$

парабол. и гипербол. фермъ:

$$\psi_1 = 1{,}43 - 0{,}0019\, l = 1{,}335$$

Для рѣшетки:

фермъ съ парабол. поясами:

$$\psi_1 = 1{,}84 - 0{,}0008\, l = 1{,}80$$

парабол. и гипербол. фермъ:

$$\psi_1 = 1{,}83 - 0{,}0008\, l = 1{,}79$$

Полный вѣсъ:

1) разрѣзная ферма съ парал. поясами:

$$p = p_1 . \psi_1 + p_2 \psi_2 + p_3 + f = 894{,}17 \times 1{,}425 + 369{,}37 \times 1{,}80 + 1{,}18 =$$

$$= 3119 \text{ кпл.} = 3{,}12 \text{ тон.}$$

2) парабол. ферма:

$$p = 1100{,}52 \times 1{,}335 + 102{,}84 \times 1{,}79 + 1{,}18 = 2833 \text{ кпл.} = 2{,}83 \text{ тов.}$$

3) гипербол. ферма:

$$p = 940{,}03 \times 1{,}335 + 197{,}11 \times 1{,}79 + 1{,}18 = 2788 = 2{,}79 \text{ тон.}$$

Формула Resal'я:

1) разрѣзная ферма съ парал. поясами:

$$p = Cl + F = \frac{32000\, l}{R - 32000\, l}(1{,}1\, k + F) + F =$$

$$\frac{32000 \times 50}{7750000 - 32000 \times 50}(1{,}1 \times 6000 + 1{,}180) + 1180 = 3275 \text{ кпл.} = 3{,}28 \text{ тон.}$$

2) разрѣзная ферма съ кривол. поясами:

$$p = \frac{29000\, l}{R - 29000\, l}(1{,}2\, k + F) + F = 3112 \text{ кпл.} = 3{,}11 \text{ тон.}$$

3) неразрѣз. ферма:

$$p = \frac{25000\, l}{R - 25000\, l}(1{,}4\, k + F) + F = 3002 \text{ кпл.} = 3{,}00 \text{ тон.}$$

Такимъ образомъ для пролета въ $l = 50$ м. полный собственный вѣсъ (включая рельсы и шпалы) въ тоннахъ на пог. метръ пути:

	По Шведлеру.	По формуламъ теоретическаго объема.	По Винклеру.	По Seefehlner'у.	По Resal'ю.	По Бѣлелюбск.	По Богуславск.
Разрѣзн. фермы съ пар. поясами . .	2,87	3,07	3,20	3,12	3,28	3,16	3,17
Неразрѣзныя фермы	2,41 и 2,92	—	3,30	—	3,00	—	—
Парабол. фермы . .	3,07	3,15	3,00	2,83	3,11	—	—
Гиперболич. фермы		—	2,92	2,79			

Оказавшійся по формуламъ Винклера и Seefehlner'а меньшій вѣсъ параболическихъ фермъ по сравненію съ вѣсомъ фермъ съ параллельными поясами при тождественности всѣхъ прочихъ условій объясняется тѣмъ, что при выводѣ упомянутыхъ формулъ для обоихъ типовъ фермъ принято не одинаковое значеніе $\frac{h}{l}$, а именно бо́льшее отношеніе для фермъ съ криволинейнымъ очертаніемъ поясовъ. Изъ этого не слѣдуетъ, конечно, чтобъ параболическія фермы всегда были невыгоднѣе

фермъ съ параллельными поясами, особенно если взять въ разсчетъ вѣсъ металла въ проѣзжей части. Такъ напр. для извѣстной серіи пролетовъ параболическія фермы съ ѣздою по верху безусловно выгоднѣе фермъ съ параллельными поясами, такъ какъ даже при большемъ коэффиціентѣ устойчивости—разстояніе между параболическими фермами можетъ быть сдѣлано значительно менѣе, чѣмъ въ фермахъ съ параллельными поясами, что позволитъ не только уменьшить размѣры поперечныхъ балокъ, но въ извѣстныхъ случаяхъ и обойтись безъ металлическихъ поперечныхъ и продольныхъ балокъ.

β) Мосты подъ обыкновенную дорогу.

а) *Формула* **Шмидта**. По Шмидту, если ширина проѣзжей части 8 метровъ (3,76 саж.), то вѣсъ металла въ пролетныхъ частяхъ на погонный метръ: $p' = 30\,l + 550$ килограммовъ. Добавочный вѣсъ отъ полотна составляетъ отъ 400 — 450 килограммовъ на погонный метръ моста.

б) *Формула* **Шюблера**. По Шюблеру, если ширина проѣзжей части 5,5 метра (2,59 саж.), ширина двухъ тротуаровъ по одному метру (0,47 саж.), всего 7,5 метра (3,58 саж.), то при мостовой толщиною 0,2 метра (0,09 саж.), полный вѣсъ пролетныхъ частей моста будетъ:

$$p = 42\,l + 3600, \quad \ldots\ldots\ldots \quad (46)$$

а одного металла:

$$p' = 42\,l + 900; \quad \ldots\ldots\ldots \quad (47)$$

при двойномъ досчатомъ настилѣ:

$$p = 28\,l + 1300; \quad \ldots\ldots\ldots \quad (48)$$

$$p' = 28\,l + 600. \quad \ldots\ldots\ldots \quad (49)$$

Если ширина даннаго моста отличается отъ 7,5 метр., то коэффиціенты пропорціонально измѣняются.

Дальнѣйшія подробности можно почерпнуть изъ Bau der Brückenträger-Laissle und Schübler.

в) и г) *Формула* **Шведлера** *и формула, основанная на выраженіи теоретическаго объема главныхъ фермъ*. Тѣ же самыя формулы, которыя были приведены для желѣзнодорожныхъ мостовъ (фор. 26—29) съ соотвѣтственнымъ измѣненіемъ k, исчисляя эту нагрузку на погон. единицу моста по всей его ширинѣ.

Что касается вѣса пролетныхъ частей при *нераэрѣзныхъ* фермахъ, то также можно пользоваться формулами Шведлера; наконецъ вѣсъ пролетныхъ частей фермъ *поворотныхъ* мостовъ можетъ быть опредѣленъ по фор. 29′ съ соотвѣтственнымъ измѣненіемъ коэффиціентовъ, подобно тому, какъ это изложено на стр. 286—287. Наконецъ можно еще такъ поступить. Если $p_ж$ — полный собственный вѣсъ пролетныхъ частей поворотнаго желѣзнодорожнаго моста, на пог. ед. пути; $F_ж$ и $k_ж$ — вѣсъ проѣзжей части и подвижной нагрузки на ту же единицу; если далѣе p_0, F_0, k_0 — значенія тѣхъ же величинъ для моста подъ обыкновенную дорогу, исчисленныя на пог. ед. пролета и на всю ширину моста, то $p_ж : p_0 = (p_ж + F_ж + k_ж) : (p_0 + F_0 + k_0)$; Вставляя сюда вмѣсто $p_ж$ значеніе его по формулѣ (29′), найдемъ искомое p_0.

д) *Формулы* **Винклера**. Общая формула имѣетъ тотъ же видъ, какъ и для желѣзнодорожныхъ мостовъ [фор. (37)]. Полагая и здѣсь для фермъ съ параллельными поясами: $\frac{h}{l} = \frac{1}{9}$; для иеразрѣзиыхъ: $\frac{h}{l} = \frac{1}{9.5}$; для параболическихъ:

$\frac{h}{l} = \frac{1}{7}$; для гиперболическихъ: $\frac{h}{l} = \frac{1}{8}$; $R_0 = 14$ килограммамъ; $R_1 = 5{,}9$ килограмма, формула (37), выражающая полный вѣсъ пролетныхъ частей и мостового полотна, также приводится къ виду:

$$p = \frac{p_0 + \mu + Bkl}{1 - Cl},$$

гдѣ постоянныя: μ, B и C имѣютъ слѣдующія значенія:

Названія системъ.	Мосты подъ обыкновенную дорогу.		
	μ.	B.	C.
	Тонны.		
Разрѣзныя фермы съ параллельными поясами:			
Треугольная система, типъ *а* и *б* (рис. 323)	0,064	0,00396	0,00150
Рѣшетчатая система, типъ *в*	0,073	0,00445	0,00160
Однораскосная система, типъ *г*	0,070	0,00502	0,00181
Однораскосная система, типъ *д* и *ж*	0,070	0,00472	0,00171
Однораскосная система, типъ *е*	0,070	0,00422	0,00154
Двухъ-раскосная система, типъ *з*	0,085	0,00514	0,00187
Двухъ,- трехъ- и многораскосная система, типъ *и*	0,085	0,00481	0,00174
Двухъ,- трехъ- и многораскосная система, типъ *к*	0,085	0,00484	0,00165
Неразрѣзныя фермы съ параллельными поясами:			
Треугольная система	0,069	0,00427	0,00105
Рѣшетчатая система	0,078	0,00458	0,00115
Однораскосная система, типъ *г*	0,075	0,00548	0,00137
Однораскосная система, типъ *д*	0,075	0,00522	0,00127
Двухъ,- трехъ- и многораскосная система, типъ *з*	0,090	0,00561	0,00147
Двухъ,- трехъ- и многораскосная система, типъ *и*	0,090	0,00535	0,00129
Параболическія фермы.			
а) Фермы съ однимъ криволинейнымъ поясомъ:			
Треугольная система	0,032	0,00393	0,00138
Рѣшетчатая система съ двойн. пересѣченіемъ раскосовъ	0,040	0,00393	0,00138
Однораскосная система	0,038	0,00452	0,00140
Сложная раскосная система	0,037	0,00498	0,00140
b) Фермы съ двумя криволинейными поясами:			
Треугольная система	0,032	0,00385	0,00132
Рѣшетчатая система съ двойн. пересѣченіемъ раскосовъ	0,040	0,00385	0,00132
Однораскосная система	0,038	0,00444	0,00133
Сложная раскосная система	0,037	0,00490	0,00133
Гиперболическія фермы:			
Однораскосная система	0,038	0,00476	0,00133
Двухраскосная система	0,077	0,00476	0,00133
Въ среднемъ	0,06	0,0049	0,0014

Въ среднемъ, слѣдовательно, для мостовъ подъ обыкновенную дорогу:

$$p = \frac{p_0 + 0{,}06\, m + 0{,}0049 \,.\, k \,.\, l}{1 - 0{,}0014\, l}, \qquad (50)$$

гдѣ k — подвижная нагрузка на опредѣленную ширину моста b, которой соотвѣтствуетъ число m главныхъ фермъ.

Что касается значенія k, то для очень тяжелыхъ фуръ съ нагрузкой на ось въ 10 тоннъ:

$$k = \left(0{,}49 + \frac{7{,}0}{l}\right) b_1 + 0{,}4\, b_2 \text{ тоннъ на пог. метръ моста шириною } b,$$

при чемъ: b_1 — ширина проѣзжей части, а b_2 — ширина обоихъ тротуаровъ. Для тяжелыхъ фуръ съ нагрузкой на ось въ 5 тоннъ:

$$k = \left(0{,}44 + \frac{3{,}0}{l}\right) b_1 + 0{,}4\, b_2.$$

Для легкихъ фуръ:

$$k = \left(0{,}44 + \frac{1{,}1}{l}\right) b_1 + 0{,}4\, b_2.$$

Значенія p_0 измѣняются, смотря по роду устройства мостового полотна.

Обыкновенно различаютъ слѣдующія пять устройствъ полотна проѣзжей части:

a) Самая тяжелая.—Каменная мостовая на кирпичныхъ сводахъ.

b) Очень тяжелая.—Щебень на кирпичныхъ сводахъ; каменная мостовая на толстыхъ доскахъ, или на желѣзныхъ или чугунныхъ плитахъ.

c) Тяжелая.— Торцовая мостовая или бетонъ на желѣзныхъ или чугунныхъ плитахъ; щебень на толстыхъ доскахъ, или на желѣзныхъ или чугунныхъ плитахъ.

d) Легкая.—Торцовая мостовая на доскахъ.

e) Очень легкая.—Одиночный или двойной досчатый пастилъ.

Для тротуаровъ различаютъ слѣдующія конструкціи:

а) Очень тяжелая.—Каменныя плиты на желѣзѣ, каменная мостовая на деревѣ или желѣзѣ; торцовая мостовая на желѣзѣ.

б) Тяжелая.— Бетонъ на желѣзѣ или на чугунѣ или однѣ каменныя плиты.

в) Легкая.—Одиночный или двойной досчатый настилъ.

При этомъ оказывается, что полный вѣсъ проѣзжей части со связями и прогонами, то есть p_0, можетъ быть выраженъ слѣдующими числами на погонный метръ моста шириною $b = b_1 + b_2$.

Родъ конструкціи мостовой.	Очень тяжелыя фуры.	Тяжелыя фуры.	Легкія фуры.	Мосты для пѣшеходовъ.
a) Самая тяжелая	1,311	1,16	0,92	—
b) Очень тяжелая	0,96	0,84	0,73	0,43
c) Тяжелая	0,61	0,55	0,50	0,34
d) Легкая	0,43	0,38	0,33	0,17
e) Очень легкая	0,31	0,25	0,20	—
	b_1	b_1	b_1	b_2
	Тоннъ на погонный метръ проѣзжей части шириною b_1.			Тоннъ на погонный метръ тротуаровъ шириною b_2.

Вставивъ въ формулу (50):

$$p = \frac{p_0 + 0{,}06\, m + 0{,}0049 \,.\, k \,.\, l}{1 - 0{,}0014\, l},$$

вмѣсто p_0 и k, соотвѣтственныя значенія и полагая, что:

$$b_1 = 0{,}7\,b;\ b_2 = 0{,}3\,b;\ 0{,}06\,m. = 0{,}03\,b,$$

получимъ:

$$\left.\begin{array}{ll}\text{Для очень тяжелыхъ фуръ . . . } & p = \dfrac{a + 0{,}0023\,l}{1 - 0{,}0014\,l}\cdot b \\ \text{Для тяжелыхъ фуръ . . . . . } & p = \dfrac{a + 0{,}0021\,l}{1 - 0{,}0014\,l}\cdot b \\ \text{Для легкихъ фуръ . . . . . } & p = \dfrac{a + 0{,}0021\,l}{1 - 0{,}0014\,l}\cdot b\end{array}\right\} \begin{array}{l}\text{тоннъ на погон.}\\ \text{метръ пролетной}\\ \text{части моста ши-}\\ \text{риною } b.\end{array} \quad (51)$$

Смотря по тому, будетъ ли мостовое полотно принадлежать по своей конструкціи къ очень тяжелымъ, тяжелымъ или легкимъ, значеніе a: для очень тяжелыхъ фуръ: $a = 0{,}85;\ 0{,}58;\ 0{,}41$; для тяжелыхъ фуръ: $a = 0{,}76;\ 0{,}53;\ 0{,}36$; для легкихъ фуръ: $a = 0{,}67;\ 0{,}49;\ 0{,}32$.

е) *Формулы* **Seefehlner'a**. Seefehlner не даетъ особыхъ формулъ для мостовъ подъ обыкновенную дорогу, а предлагаетъ пользоваться формулами для желѣзнодорожныхъ моетовъ, опредѣливъ для предварительнаго расчета значеніе p_0 по формуламъ Шмидта или Шюблера.

ж) *Формулы* **Энгессера**. Вѣсъ металла въ пролетныхъ частяхъ на квадратный метръ мостового полотна, считая за ширину полотна разстояніе между осями фермъ, выражается для пролетовъ отъ 10—100 метровъ слѣдующими формулами (Zeitschrift für Baukunde. 1881 г.):

I. Для загородныхъ мостовъ съ двойнымъ досчатымъ настиломъ:

$$p_e \text{ кил.} = 105 + 2{,}3\,l + 0{,}02\,l^2, \quad . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ (52)$$

при чемъ вѣсъ настила посчитанъ въ $p_0 = 110$ килограммовъ на квадрат. метръ; подвижиая нагрузка:

$$k = 360 + \frac{1200}{l} \text{ кил. на кв. метръ.}$$

Для опредѣленія полнаго собственнаго вѣса пролетныхъ частей слѣдуетъ прибавить къ p_e величину p_0.

II. Для загородныхъ мостовъ съ щебеночнымъ слоемъ:

$$p_e \text{ кил.} = 125 + 2{,}8\,l + 0{,}025\,l^2; \quad . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ (53)$$

$$p_0 = 400 \text{ кил.};\ k = 360 + \frac{1200}{l} \text{ кил. на кв. метръ.}$$

III. Для городскихъ мостовъ съ двойнымъ досчатымъ настиломъ:

$$p_e \text{ кил.} = 155 + 2{,}7\,l + 0{,}021\,l^2; \quad . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ (54)$$

$$p_0 = 140 \text{ кил.};\ k = 440 + \frac{1400}{l} \text{ кил. на кв. метръ.}$$

IV. Для городскихъ мостовъ съ щебеночнымъ слоемъ:

$$p_e \text{ кил.} = 170 + 3{,}2\,l + 0{,}028\,l^2; \quad . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ (55)$$

$$p_0 = 480 \text{ кил.};\ k = 440 + \frac{1400}{l} \text{ кил. на кв. метръ.}$$

V. Для городскихъ мостовъ съ мостовой:

$$p_0 \text{ кил.} = 180 + 3{,}7\,l + 0{,}029\,l^2; \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (56)$$

$$p_0 = 700 \text{ кил.}; \; k = 440 + \frac{1400}{l} \text{ кил. на кв. метръ.}$$

При употребленіи желѣза Зоре необходимо прибавить во II-омъ случаѣ 70 килограммовъ на квадратный метръ полотна, а въ IV и V — 80 килограм.

Для консолей (безъ перилъ) прибавляется: въ I и II-омъ случаяхъ: $p' = 60 + 2{,}3\,l$ кил.; въ III, IV и V случаяхъ: $p' = 80 + 2{,}7\,l$ кил. на квадрат. метръ тротуара.

Эти формулы выведены для фермъ съ параллельными поясами, но могутъ быть примѣнены и для фермъ съ криволинейными поясами, если высота фермы измѣняется въ предѣлахъ отъ $\frac{l}{8}$ до $\frac{l}{10}$.

з) По другимъ даннымъ, полный вѣсъ пролетныхъ частей (фермъ, полотна, связей и перилъ) на квадратный метръ полотна (включая и тротуары) въ килограммахъ:

Мостовое полотно.	Фуры.		
	Очень тяжелыя.	Тяжелыя.	Легкія.
Очень тяжелое	$4\,l + 980$	$3{,}5\,l + 870$	$3{,}3\,l + 760$
Тяжелое	$3{,}5\,l + 640$	$3{,}2\,l + 580$	$3{,}0\,l + 530$
Легкое	$3\,l + 460$	$2{,}9\,l + 410$	$2{,}7\,l + 360$

Подъ очень тяжелымъ полотномъ—слѣдуетъ подразумѣвать щебеночный слой на каменныхъ плитахъ или сводахъ или каменную мостовую на желѣзѣ; подъ тяжелымъ полотномъ—торцовую мостовую, бетонъ или щебень на желѣзѣ и подъ легкимъ полотномъ—торцовую мостовую на настилѣ.

Собственный вѣсъ мостового полотна — колеблется между слѣдующими предѣлами:

	Килограммовъ на квадратный метръ:
Досчатый настилъ	110 — 200
Торцовая мостовая на досчатомъ настилѣ . .	300 — 400
Торцовая мостовая на желѣзѣ	400 — 500
Бетонъ на желѣзѣ	400 — 500
Каменная мостовая на настилѣ или желѣзѣ .	700 — 900
Каменная мостовая на каменныхъ сводахъ . .	900 —1200

и) По Rölle. Вѣсъ *верхней* и *нижней* части мостового полотна и *металла* въ проѣзжей части на кв. метръ полотна въ килогр.:

а) Верхняя часть мостового полотна:

	Легкія фуры.	Тяжелыя фуры.	Очень тяжелыя фуры.
Досчатый настилъ	130 кил.	160 кил.	190 кил.
Щебеночный слой	300 »	350 »	350 »
Торцовая мостовая.	250 »	250 »	250 »
Каменная мостовая	640 »	640 »	640 »

б) Нижняя часть мостового полотна:

Желѣзное строеніе (Зоре, волнистое и пр.)	40 кил.	60 кил.	80 кил.
Чугунныя плиты	120 »	150 »	180 »
Каменные своды	500 »	600 »	700 »

Вѣсъ *металла* въ *проѣзжей части* на кв. метръ полотна въ килогр. — при досчатомъ настилѣ и для легкихъ фуръ отъ $\pi = 90 + 2{,}5\,l$ до $\pi = 200 + 2{,}0\,l$. Тоже при металлическомъ нижнемъ настилѣ и для тяжелыхъ фуръ отъ $\pi = 136 + 1{,}8\,l + 0{,}02\,l^2$ до $\pi = 370 - 2{,}6\,l + 0{,}06\,l^2$. Если F — *полный* вѣсъ проѣзжей части на *пог. метръ* моста, k — *подвижная нагрузка* на пог. метръ моста, то вѣсъ *главныхъ* фермъ p' на пог. метръ можетъ быть опредѣленъ изъ слѣдующей таблицы:

Допущенное напряженіе на кв. сант.	p' въ процентахъ отъ $F + k$.									
	$l = 15$	20	30	40	50	60	70	80	90	100
	М			Е		Т		Р		Ы.
800 кил. . . .	7,7	9,6	13,5	17,7	22,6	27,0	32,2	37,9	44,0	50,7
1000 кил. . . .	6,1	7,5	10,5	13,6	17,0	20,5	24,3	28,3	32,4	37,0

Эти данныя относятся къ фермамъ съ параллельными поясами; при криволинейныхъ поясахъ вѣсъ уменьшается на 5%—10%.

2. Фермы системы Гербера (со свѣсами).

α) Мосты подъ желѣзную дорогу.

а) Если длина консолей, фермъ со свѣшивающимися концами и длина свободныхъ фермъ опредѣлена наивыгоднѣйшимъ образомъ, то по *Krohn*'у достаточно опредѣлить собственный вѣсъ части фермы между двумя шарнирами или консолями, находящейся въ условіяхъ свободной разрѣзной фермы, а затѣмъ принять этотъ вѣсъ общимъ для всего моста. Но такой пріемъ недостаточно обоснованъ.

б) По другому пріему для опредѣленія вѣса фермъ со свѣшивающимися концами примѣняютъ напр. формулы Шведлера, данныя для крайнихъ или среднихъ пролетовъ неразрѣзныхъ фермъ, смотря по мѣсту, занимаемому пролетомъ; вѣсъ пролетныхъ частей, свободно опирающихся на консоли, опредѣляютъ по формулѣ для разрѣзныхъ фермъ; вѣсъ консоли исчисляютъ по формуламъ вѣса разрѣзныхъ балокъ (напр. по формулѣ Шведлера), принявъ за расчетный пролетъ—величину пролета отъ трехъ до четырехъ разъ большую противъ дѣйствительной длины консоли, и присоединивъ къ расчетной подвижной нагрузкѣ на погон. единицу длины консоли величину:

$$n = \frac{(p + k)\,b}{2a},$$

гдѣ p, k и l — постоянная нагрузка на единицу длины свободно опирающейся фермы, b — длина этой фермы, a — длина консоли. Увеличеніе пролета въ три или четыре раза обусловливается тѣмъ, что въ балкѣ, задѣланной однимъ концомъ въ стѣну, наибольшіе моменты болѣе въ четыре раза, а перерѣзывающія усилія въ два раза противъ наибольшихъ моментовъ и перерѣзывающихъ усилій въ

балкѣ той же длины, но свободно опирающейся на двѣ опоры. Величина $\frac{(p+k)\,b}{2}$ есть наибольшее давленіе, передаваемое свободной фермой на конецъ консоли.

Нерѣдко вѣсъ консоли на пог. единицу приравниваютъ вѣсу пог. единицы смежнаго съ нею пролета, увеличивъ предварительно вѣсъ на 25%—40%.

в) Опредѣляя вѣсъ свободныхъ фермъ и фермъ со свѣшивающимися концами согласно указанному въ предыдущемъ пунктѣ, можно для опредѣленія вѣса консоли примѣнить формулы, выражающія теоретическій объемъ консоли въ функціи вѣса опирающейся на нее свободной фермы и подвижной нагрузки, что, повидимому, наиболѣе раціонально.

Если m, π и k'—длина консоли, собственный вѣсъ ея и подвижная нагрузка; l, p и k—длина свободной фермы, собственный вѣсъ ея и подвижная нагрузка, то на основаніи формулъ (*и*), (*к*) и (*л*)—приведенныхъ на стр. 263 и 264, вѣсъ металла въ главныхъ фермахъ консоли:

$$Cm^2 = \left\{\frac{(p+k)m^2l}{2Rh} + \frac{(Cm+F+k')\,m^3}{3Rh} + \frac{2m}{R}\left[(p+k)\frac{l}{2} + (Cm+F+k')\frac{m}{2}\right] + \right.$$

$$\left. + \left[(p+k)\frac{l}{2} + (Cm+F+k')\frac{m}{2}\right]\frac{m}{R} + \left[(p+k)\frac{l}{2} + (Cm+F+k')\frac{m}{2}\right]\frac{h}{R}\right\}\psi\delta,$$

гдѣ $Cm + F = \pi = \pi' + \pi'' + \pi''' + \pi^{IV}$; $\pi' = Cm$ — вѣсъ металла въ главныхъ фермахъ консоли; π''—вѣсъ металла въ проѣзжей части консоли; π'''—вѣсъ мостового полотна (рельсы, шпалы и пр.); π^{IV}—вѣсъ связей, опредѣленный по формулѣ (33). Слѣдовательно:

$$Cm = \psi\delta\left[\frac{(p+k)\,ml}{2Rh} + \frac{(F+k')\,m^2}{3Rh} + \frac{(p+k)\,l}{R} + \frac{(F+k')\,m}{R} + \frac{(p+k)\,l}{2R} + \right.$$

$$\left. + \frac{(F+k')\,m}{2R} + \frac{(p+k)\,lh}{2Rm} + \frac{(F+k')\,h}{2R}\right] : \left[1 - \psi\delta\left(\frac{m^2}{3Rh} + \frac{3}{2}\,\frac{m}{R} + \frac{h}{2R}\right)\right] =$$

$$= \psi\delta\left[\frac{p+k}{2Rhm}(m^2l + 3lhm + lh^2) + \frac{(F+k')}{6Rh}(2m^2 + 9hm + 3h^2)\right] :$$

$$: \frac{6Rh - (2m^2 + 9hm + 3h^2)\,\psi\delta}{6Rh} =$$

$$= \left\{\frac{3(p+k)\,l\,(m^2 + 3hm + h^2) + (F+k')\,m\,(2m^2 + 9hm + 3h^2}{m\,\{6Rh - (2m^2 + 9hm + 3h^2)\,\psi\delta\}}\right\}\psi\delta \ldots \quad (57)$$

Нѣкоторымъ указаніемъ могутъ еще служить слѣдующія данныя.

г) Собственный вѣсъ пролетныхъ частей моста системы Гербера черезъ рѣку Днѣстръ на Юго-Западныхъ жел. дор., имѣющаго нижеуказанные пролеты (рис. 324) и приспособленнаго, между прочимъ, для экипажнаго проѣзда, выражается слѣдующими формулами:

Средній пролетъ $b = 252'$;

$$p \text{ пуд.} = 0{,}405\,b + 25{,}4 \text{ (безъ опорныхъ частей);}$$

$$p \text{ пуд.} = 0{,}418\,b + 25{,}4 \text{ (съ опорными частями).}$$

Крайній пролетъ $l = 304'$:

$$p = 0{,}396\,l + 27{,}77 \text{ (безъ опорныхъ частей).}$$

Консоль:

$$p = 3{,}634\,a + 28 \text{ пуд. на погонный футъ пути,}$$

то-есть коэффиціентъ при a въ членѣ, выражающемъ собственный вѣсъ главныхъ фермъ консоли, въ 9 разъ болѣе соотвѣтственнаго коэффиціента формулы, выражающей собственный вѣсъ мостовой

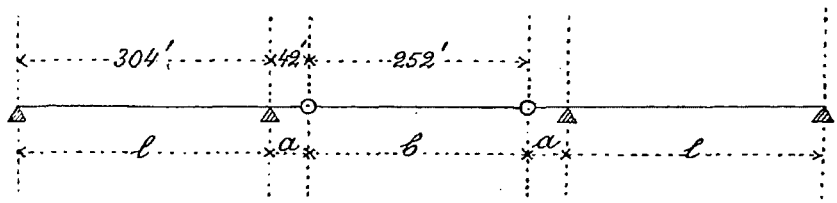


Рис. 324.

фермы того же пролета, какъ консоль, но свободно опирающейся на двѣ опоры. Это объясняется тѣмъ, что на консоль опирается еще промежуточная ферма.

д) Въ Форткомъ мосту вѣсъ металла, не считая проѣзжей части, распредѣляется слѣдующимъ образомъ (рис. 325 и 98):

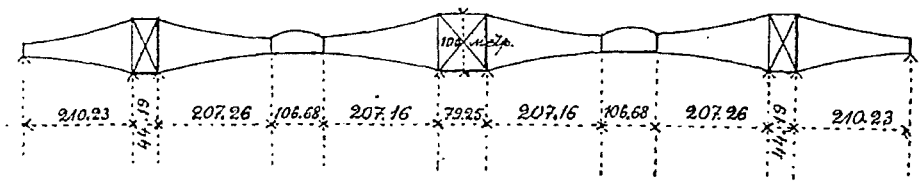


Рис. 325.

Вѣсъ металла	въ	каждой изъ крайнихъ башенъ надъ быками	3050	тоннъ или	64,6	тон. на пог. метр.
»	»	въ средней башнѣ	4060	» »	49,3	» »
»	»	въ каждой крайней консоли . . .	5441	» »	25,89	» »
»	»	въ каждой изъ 4-хъ средн. коне. .	5375	»		
»	»	въ соединительной балкѣ, свободно опирающейся на концы консолей	710	» »	6,63	» »

Итого на пог. метръ всего протяженія моста 1630,5 метр.—около 27 тоннъ.

е) Мостъ около Ніагарскаго водопада, подъ два пути, съ ѣздою по-верху (рис. 326 и 108). Разстояніе между фермами 28'.

	Стали.	Сварочнаго желѣза.	Чугуна.	Всего.
	въ фунтахъ.			
Металлическія опоры высотою 130'8$^1/_2$" и шириною 25'	445170	238232	87075	770477
Консоли крайнія по 195',2, а среднія по 175'	822156	2370478	18500	3211134
Свободный пролетъ длиною 120'. . . .	4735	289693	545	294973
Закрѣпленіе въ каменныхъ опорахъ .	—	177840	3192	181032
Мелочи и опорныя части.	—	16438	17136	33574
Итого.	1272061	3092681	126448	4491190

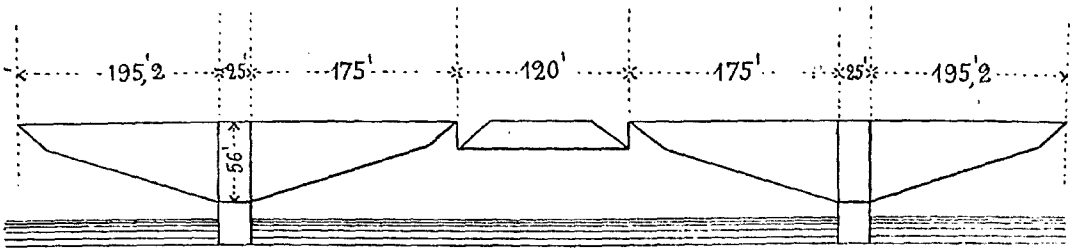


Рис. 326.

г) Мостъ черезъ р. Orio (Kentucky and Indiana Bridge), съ ѣздою по-низу, подъ одинъ путь (рис. 327); на свѣшивающихся поперечныхъ консоляхъ полотно моста подъ обыкновенную дорогу. Разстояніе между фермами — 24′6″, въ томъ числѣ на два тротуара по 5′3″; длина каждой поперечной консоли — 11′3″.

	Желѣза.	Стали.
	въ фунтахъ.	
Въ двухъ крайнихъ консоляхъ (кантилеверахъ) по 260′ . .	508760	898756
Въ двухъ пролетахъ по 480′ и 483′, перекрытыхъ двумя консолями по 160′ и 161′ 6″ и свободной фермой въ 160′ .	782822	1123222
Междуопорная часть (длиною 360′) фермы съ двумя консолями по 160′	337783	884214
Всего въ кантилеверной системѣ на длину 1843′ . .	1629365	2906192
Пролетныя части поворотнаго моста	354074	211663
Поворотный механизмъ.	176625	855
Пролетныя части отдѣльнаго пролета въ 238′6″	256826	183746
Мелочи.	27880	72248
Итого	2444770	3374704

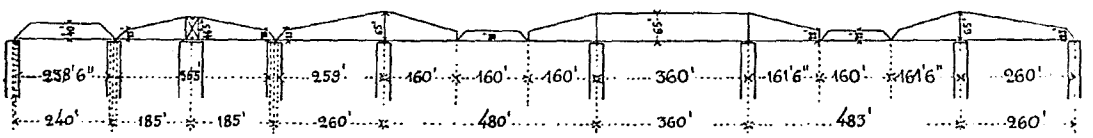


Рис. 327.

д) Мостъ черезъ р. Миссисипи (Memphis-Bridge); мостъ съ ѣздою по-низу подъ одинъ путь; разстояніе между фермами — 30′ (рис. 328).

Вѣсъ металла въ закрѣпленномъ пролетѣ въ 226′ . . . . . 1606727 фунт.

Вѣсъ каждой изъ трехъ консолей пролетомъ $169'4^1/_2''$:

$$\frac{1252365 + 1284674 + 1260452}{3} = \ldots\ldots\ldots 1265830 \text{ »}$$

Вѣсъ каждаго изъ двухъ свободныхъ пролетовъ, пролетомъ по 451′8″:

$$\frac{2329759 + 2327845}{2} = \ldots\ldots\ldots 2328802 \text{ »}$$

Вѣсъ междуопорной части (въ 621′) фермы со свѣшивающимися консолями . . 5122252 »

Вѣсъ отдѣльнаго пролета въ 338′9″ . . . . . 1.072,951 фунт.

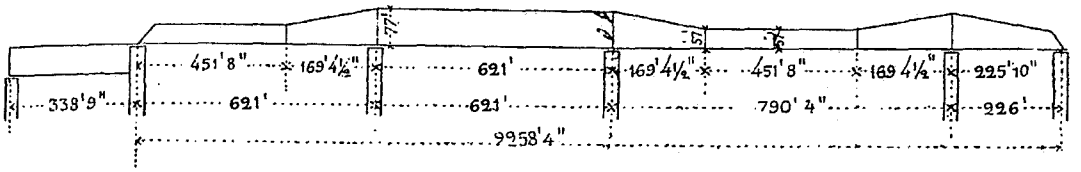


Рис. 328.

е) Мостъ черезъ р. Обь на Западно-Сибирской желѣзной дорогѣ (рис. 329 и 94).

Вѣсъ металла въ пролетныхъ частяхъ фермы съ консолями (не считая опорныхъ частей подъ фермами):

	В Ѣ С Ъ.		
	Консольной части.	Междуопорныхъ частей.	Всего.
	въ пудахъ.		
Фермы	9146	30964	40110
Связи.	1412	4343	5755
Проѣзжая часть.	1255	5196	6451
Итого. . . .	11813	40503	52316
На погонный футъ	$\frac{11813}{2\times 49'} = 121$ пуд.	$\frac{40503}{388',5} = 104$ пуд.	$\frac{52316}{486',5} = 107$ пуд.

Примѣняя формулу: $p = C \cdot l$ для выраженія вѣса главныхъ фермъ и связей на погонную единицу, получимъ значеніе коэффиціента C въ консоляхъ:

$$C = \frac{9146 + 1412}{2 \times 49^2} = 2{,}199;$$

въ междуопорной части:

$$C = \frac{30964 + 4363}{388{,}5^2} = 0{,}23_4.$$

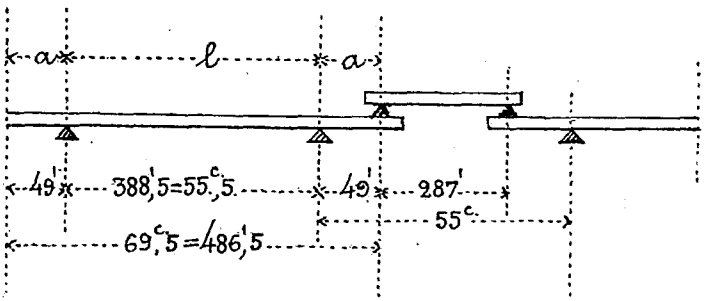


Рис. 329.

Вѣсъ пролетныхъ частей моста съ фермами, свободно-опирающимися на опоры, при величинѣ пролета въ 49′ = 7 с., выражается въ пудахъ на погонный футъ пути формулой:

$$p = Cl = 0{,}30\,l.$$

Сравнивая коэффиціенты 2,199 и 0,30, замѣчаемъ, что консоль той же длины, какъ и опирающаяся на двѣ опоры балка, но поддерживающая свободную пролетную часть длиною въ 6 разъ большую, чѣмъ консоль, представляетъ на погонную единицу въ 7 разъ большій вѣсъ, чѣмъ балка, свободно-опирающаяся на опоры.

Въ мосту черезъ р. Днѣстръ, приспособленномъ одновременно и къ экипажному проѣзду, при длинѣ консоли въ 42′, междуопорной части въ 304′ и длинѣ свободнаго пролета въ 252′, значенія тѣхъ же коэффиціентовъ составляли:

въ консоляхъ . . . . . $C = 3{,}634$,

въ междуопорной части . . . . . $C = 0{,}396$.

ж) *Віадукъ* чрезъ р. Молдаву близъ Cervena. Три пролета по 84,4 м.; крайніе пролеты перекрываются фермами длиною 109,72 со свѣсомъ въ 25,32 м.; длина соединительной фермы въ среднемъ пролетѣ 33,76 м.; фермы съ параллельными поясами, сложной раскосной системы; высота фермъ 9,5 м.; разстояніе между фермами 5,04 м.; величина панели—8,44 м.; вѣсъ металла въ двухъ крайнихъ пролетныхъ частяхъ со свѣсами—822 тон.; въ соединительной части—87 тон.; вѣсъ опорныхъ подушекъ и проч. 59 тон.

β) Мосты подъ обыкновенную дорогу.

Собственный вѣсъ можетъ быть опредѣленъ какъ указано въ пунктѣ в), вставляя вмѣсто k подвижную нагрузку на пог. единицу всей ширины моста.

Приводимъ еще слѣдующія данныя:

а) *Мостъ Франца-Іосифа чрезъ р. Дунай въ Буда-Пештѣ* (рис. 214); ширина экипажнаго проѣзда 11,5 м. и каждаго изъ тротуаровъ на консоляхъ — 2,9 м. Величина крайняго пролета — 79,3 м., каждаго изъ свѣсовъ въ среднемъ пролетѣ — 64,05 м. и соединительной части въ среднемъ пролетѣ—46,5 м., въ общемъ: 79,3 + 175 + 79,3. Фермы однораскосной системы съ верхнимъ криволинейнымъ поясомъ (на подобіе висячаго моста) и съ нижнимъ — слегка изогнутымъ поясомъ. Высота фермы на устояхъ — 4,714 м., на быкахъ — 22 м.; высота соединительной фермы по серединѣ — 3,025 м. Допущенное напряженіе въ главныхъ фермахъ — 12 $\frac{\text{кил.}}{\text{mm.}^2}$. Общее количество металла: 6076 тоннъ или на пог. метръ 17300 кил., а на кв. метръ 1000 кил. *). Вѣсъ металла въ боковомъ пролетѣ:

$$p \text{ тон.} = 0{,}118\,l + 5{,}45 = 14{,}807 \text{ тон. на пог. метръ}$$

или

$$p = 0{,}068\,l + 0{,}315 = 0{,}858 \text{ тон. на кв. метръ мостового полотна,}$$

въ каждомъ изъ свѣсовъ:

$$p = 0{,}137\,l + 4{,}99 = 13{,}760 \text{ тон. на пог. метръ}$$

или

$$p = 0{,}079\,l + 0{,}283 = 0{,}788 \text{ тон. на кв. метръ полотна,}$$

въ соединительной части:

$$p = 0{,}100\,l + 4{,}68 = 9{,}37 \text{ тон. на пог. метръ}$$

или

$$p = 0{,}058\,l + 0{,}275 = 0{,}547 \text{ тон. на кв. метръ полотна.}$$

---

*) Если же не считать противовѣсовъ, то вѣсъ металла на пог. метръ составляетъ 13480 кил., а на кв. метръ — 780 кил.

Вѣсъ различныхъ пролетныхъ частей распредѣляется въ процентахъ елѣдующимъ образомъ:

	Боковые пролеты.	Свѣсы.	Соединительная часть.
Главныя фермы:	%	%	%
пояса	44,39	43,90	38,50
рѣшетка	18,86	20,98	11,37
	63,25	64,88	49,87
Проѣзжая часть:			
экипажнаго проѣзда . . .	20,90	21,20	34,10
тротуаровъ	6,23	7,26	10,13
Связи, перила и пр.	9,62	6,66	5,90
	100	100	100

Фермы системы Гербера со свободными консолями.

б) *Мостъ чрезъ р. Тиссу* въ *Токаѣ*. Три пролета—крайніе по 51,70 м., средній—$2 \times 38{,}6 + 30{,}4 = 107{,}6$ м., такъ что длина свободной консоли 38,6 м. Разстояніе между фермами 7 м.; ширина экипажнаго проѣзда 5 м. и двухъ тротуаровъ (расположенныхъ внутри) по 0,75 м.; полотно экипажнаго проѣзда состоитъ изъ щебеночной коры на желѣзѣ Зоре; на тротуарахъ полотно устроено изъ досчатаго настила. Полный вѣсъ металла 700 тоннъ.

в) *Мостъ чрезъ р. Неккаръ* въ *Мангеймѣ* (рис. 214'). Три пролета 56,15 м. + 74,7 м. + 56,15 м., при чемъ средній пролетъ перекрывается двумя свободными консолями по 24,9 м. и соединительной частью въ 24,9 м. Наибольшая высота фермы крайняго пролета 5,88 м.; наименьшая—2,42 м.; высота двухъ среднихъ опорныхъ стоекъ 13,12 м.; наименьшая высота фермы соединительной части 3 м.; фермы на взаимномъ разстояніи 11,5 м. Полотно состоитъ изъ каменной мостовой на слоѣ песку, уложенномъ на желѣзѣ Зоре. Вѣсъ мостовой и песку посчитанъ въ 4,4 тон. на пог. метъ.

Вѣсъ металла на погон. метръ:

а) въ соединительной фермѣ:

въ главныхъ фермахъ	0,85	тон.
въ проѣзжей части	1,65	»
	2,5	тон.

б) въ консоляхъ:

въ главныхъ фермахъ	0,85	тон.
въ проѣзжей части	1,65	»
	2,5	тон.
въ цѣпи	0,6	тон.

в) въ крайнихъ пролетахъ:

въ главныхъ фермахъ	2,1	тон.
въ проѣзжей части	1.70	»
	3,8	тон.
въ цѣпи	0,6	тон.

г) *Мостъ чрезъ р. Волховъ* въ *Новгородѣ*. Постоянная часть моста о пяти пролетахъ; три послѣдніе пролета перекрываются фермами Гербера со свободными консолями; крайніе изъ нихъ длиною 131,5 ф. и 147,33 ф.; средній въ 179 ф. перекрытъ двумя консолями по 59,5 ф. и соединительною частью въ 60 ф.; ширина экипажнаго проѣзда 28 ф.; ширина тротуаровъ на вѣсу по 6 ф.; полотно моста состоитъ изъ двойного досчатаго настила. Вѣсъ металла въ соединительной части въ главныхъ фермахъ со связями: 1249,77 пуд. и въ проѣзжей части 668,03 пуд. или на пог. ф. моста: p пуд. $= 0{,}347\,l + 11{,}133 = 31{,}963$ пуд. Вѣсъ металла въ консоли въ главныхъ фермахъ со связями: 2155,15 пуд., въ проѣзжей части 929,32 пуд. или на пог. ф. моста: $p = 0{,}609\,l + 15{,}62 =$

$= 51{,}84$ пуд. Вѣсъ металла въ крайнемъ пролетѣ величиною 131,5 ф. въ главныхъ фермахъ со связями и противовѣсомъ: 9854,76 пуд., въ томъ числѣ чугуна въ противовѣсѣ: 2797,50 пуд.; въ проѣзжей части: 1835,65 пуд. плп на пог. ф. моста: $p = 0{,}576\,l + 13{,}96 = 89{,}66$ пуд.

Если же не считать чугуннаго противовѣса, то вѣсъ металла на пог. футъ: $p = 0{,}41\,l + 13{,}96 = 67{,}85$ пуд. Въ указанныхъ данныхъ вѣсъ удерживающаго пояса (цѣпп) и подвѣсокъ составляетъ 341,18 пуд. плп на длину занимаемой ими части пролета: $p' = \frac{341{,}18}{58} = 5{,}882$ п. на пог. ф. Сверхъ того вѣсъ каждой опорной рамы: 1620,38 пуд.

3. Арочныя фермы.

α) Мосты подъ желѣзную дорогу.

а) *Формулы* **Энгессера.** Для опредѣленія собственнаго вѣса желѣзныхъ фермъ мостовъ подъ желѣзную дорогу предложена Энгессеромъ (Zeitschrift für Bauwesen. 1877) теоретическая формула, основанная на расчетѣ объема матеріала въ различныхъ частяхъ арочной фермы. Онъ различаетъ два случая: арку съ тремя и съ двумя шарнирами.

Пусть $2a = l$—пролетъ, $b = ml$—подъемъ арки, $h = nl$—высота верхняго прогона фермы, принимающей на себя грузъ и сообщающей жесткость арочной фермѣ; k—равномѣрно-распредѣленная подвижная нагрузка на погонный метръ пути; p—собственный вѣсъ арки, горизонтальнаго прогона, заполненія между ними и связей на погонный метръ моста; c—вѣсъ проѣзжей части на погонный метръ моста, т. е. вѣсъ продольныхъ и поперечныхъ балокъ, шпалъ, рельсовъ и проч.; R, R_1, R_2, ...—различные коэффиціенты напряженія.

1-й случай. Объемъ арки:

$$A = \frac{(p + c + k) \cdot (3 + 16m^2)\, l^2}{24 \cdot R \cdot m};$$

объемъ верхняго прогона:

$$B = \frac{kl^2}{R_1} \cdot \left(\frac{0{,}025 + 0{,}125\, n}{n}\right);$$

объемъ сквознаго заполненія между аркой и фермой (стойки, раскосы):

$$C = \frac{(2k + 2c + p) \cdot (m + 3n)\, l^2}{3R_2},$$

а полагая $R_2 = \frac{R}{2}$ (вслѣдствіе разнородности напряженій):

$$C = \frac{(4k + 4c + 2p) \cdot (m + 3n)\, l^2}{3R};$$

объемъ связей:

$$D = \frac{(50m + 150n)\, l + 750}{R_3} \cdot l^2,$$

вѣсъ на погонную единицу:

$$p = \frac{A + R + C + D}{l} \cdot \gamma,$$

гдѣ γ—вѣсъ кубической единицы.

Называя черезъ λ—конструктивный коэффиціентъ (имѣющій то же значеніе, какъ и въ формулахъ Winkler'a, Seefehlner'a), измѣняющійся отъ $\lambda = 2$—для ма-

лыхъ мостовъ до $\lambda = 1^1/_3$ — для большихъ мостовъ, и полагая: $R = R_1 = R_3 \ldots$, найдемъ, что:

$$p\left[\frac{R}{\gamma\lambda} - \frac{3 + 32m^2 + 48m \,.\, n}{24m} \,.\, l\right] = \left[(k + c)\,\frac{3 + 48m^2 + 96m \,.\, n}{24m} + \right.$$

$$\left. + k\,\frac{(0{,}025 + 0{,}125\,n)}{n} + (50m + 150n) \,.\, l + 750\right] l. \quad . \quad . \quad . \quad (58)$$

По Винклеру для желѣзнодорожныхъ мостовъ: $k = \frac{370000 + 2000\,l}{50 + l}$ килограммовъ на погонный метръ пути, затѣмъ:

$C = 800$ килограмм. на погонный метръ пути;

$\frac{R}{\lambda} = \frac{17000 + 610\,l}{50 + l}$. 10000 килограм. на квадратный метръ;

$\gamma = 7800$ килограм.

Предыдущая формула показываетъ, что отношеніе $\frac{p}{l}$ съ увеличеніемъ пролета уменьшается, остается постояннымъ при нѣкоторыхъ l и затѣмъ снова увеличивается.

При $n = 0{,}03$ получаются за округленіемъ слѣдующія значенія p для различныхъ m:

$$\left.\begin{array}{l} m = \frac{1}{8};\ p = \frac{954000 + 7040\,l + 10{,}7\,l^2}{21800 + 720\,l - 1{,}23\,l^2} \,.\, l \\ m = \frac{1}{9};\ p = \frac{991000 + 7280\,l + 10\,l^2}{21800 + 715\,l - 1{,}33\,l^2} \,.\, l \\ m = \frac{1}{10};\ p = \frac{1036000 + 7540\,l + 9{,}5\,l^2}{21800 + 710\,l - 1{,}44\,l^2} \,.\, l \\ m = \frac{1}{11};\ p = \frac{1081000 + 7820\,l + 9\,.\,l^2}{21800 + 705\,l - 1{,}56\,l^2} \,.\, l \\ m = \frac{1}{12};\ p = \frac{112500 + 8100\,l + 8{,}7\,l^2}{21800 + 700\,l - 1{,}67\,l^2} \,.\, l \end{array}\right\} \text{килограммовъ на погонный метръ пути.} \quad (59)$$

Полагая $m = \frac{1}{10}$, найдемъ:

для $l = 10,\ 20,\ 30,\ 40,\ 60,\ 80,\ 100,\ 150,\ 200,\ 300.$

$$\frac{p}{l} = 38{,}7;\ 33{,}6;\ 29{,}7;\ 28{,}2;\ 25{,}7;\ 24{,}5;\ 24{,}0;\ 24{,}8;\ 27{,}5;\ 39{,}5.$$

Такимъ образомъ $\frac{p}{l}$ уменьшается вмѣстѣ съ увеличеніемъ пролета до $l = 80$; между $l = 80$ и 150 остается постояннымъ и затѣмъ увеличивается.

2-й случай:

$$A = \frac{(p + c + 1{,}06k) \,.\, (3 + 16\,m^2)}{24R \,.\, m} \,.\, l^2;$$

$$B = \frac{kl^2\,(0{,}339 + 2n)}{\left(R - 900\,\frac{n}{m}\right) 15n};$$

$$C = \frac{(4{,}24k + 4c + 2p) \,.\, (m + 3n)\, l^2}{3R};$$

$$D = \frac{(50m + 150n)\, l + 750}{R} \,.\, l^2.$$

При $n = 0{,}03$:

$$p\left(\frac{R}{\lambda\gamma} - \frac{3 + 32m^2 + 1{,}44m}{24m} \,.\, l\right) =$$

$$= \left[k \frac{(-0{,}127 + 3{,}06\, m + 21{,}83\, m^2 + 50{,}1\, m^3)}{24\, m\, (m - 0{,}04)} + \right.$$

$$\left. + c \frac{(3 + 48\, m^2 + 2{,}88\, m)}{24\, m} + (50\, m + 4{,}5)\, l + 750 \right] . \, l. \quad . \quad . \quad (60)$$

$$\left.\begin{array}{lll}
\text{Для } m = \frac{1}{8}; & p = \frac{1099000 + 7820l + 10{,}7l^2}{21800 + 720l - 1{,}23l^2} \,.\, l & \\
\text{» } m = \frac{1}{9}; & p = \frac{1173000 + 8250\, l + 10\, l^2}{21800 + 715\, l - 1{,}33\, l^2} \,.\, l & \\
\text{» } m = \frac{1}{10}; & p = \frac{1251000 + 8700\, l + 9{,}5\, l^2}{21800 + 710\, l - 1{,}44\, l^2} \,.\, l & \text{килограммовъ на погонный метръ пути.} \\
\text{» } m = \frac{1}{11}; & p = \frac{1333000 + 9190\, l + 9\, l^2}{21800 + 705\, l - 1{,}56\, l^2} \,.\, l & \\
\text{» } m = \frac{1}{12}; & p = \frac{1426000 + 9730\, l + 8{,}7\, l^2}{21800 + 700\, l - 1{,}67\, l^2} \,.\, l &
\end{array}\right\} \quad (61)$$

Полагая $m = \frac{1}{10}$, найдемъ:

для $l = 10,\ 20,\ 30,\ 40,\ 60,\ 80,\ 100,\ 150,\ 200,\ 300.$

$\frac{p}{l} = 46{,}5;\ 40{,}3;\ 35{,}5\ 33{,}7;\ 30{,}5;\ 28{,}9;\ 28{,}2;\ 28{,}9;\ 31{,}7;\ 44{,}8.$

Полагая для m, k и c тѣ же значенія, какъ и прежде, найдемъ, что здѣсь $\frac{p}{l}$ болѣе предыдущихъ на 15%—20%, что указываетъ на преимущество арки съ тремя шарнирами. При малыхъ пролетахъ оставляютъ два шарнира ради удобства сборки.

б) *Формулы* **Krohn'a.** По Krohn'у имѣемъ слѣдующія формулы для опредѣленія полнаго вѣса арочныхъ фермъ, включая и мостовое полотно:

I. Арка съ тремя шарнирами:

$$p = \frac{6hR \,.\, F + 1{,}85\, \psi \,.\, k \,.\, \gamma\, (3l^2 + 4h^2)}{6hR - \psi\gamma\, (3l^2 + 4h^2)} \,. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (62)$$

II. Арка съ двумя шарнирами:

$$p = \frac{6hR \,.\, F + 1{,}55\psi \,.\, k \,.\, \gamma \left(3l^2 + 4h^2 + 1{,}43\, \alpha \frac{dl^2}{hR - \alpha d}\right)}{6hR - \psi\gamma \left(3l^2 + 4h^2 + 2\alpha \frac{dl^2}{hR - \alpha d}\right)} \,. \quad . \quad . \quad (63)$$

III. Арка съ задѣланными пятами:

$$p = \frac{6hR \cdot F + 1{,}3\,\psi \cdot k \cdot \gamma \cdot \left(3l^2 + 4h^2 + 3{,}66\,\alpha \frac{dl^2}{hR - 2\alpha d}\right)}{6hR - \psi\gamma\left(3l^2 + 4h^2 + 4{,}33\alpha \frac{dl^2}{hR - 2\alpha d}\right)} \quad . \quad . \quad (64)$$

Въ приведенныхъ формулахъ:

p — собственный полный вѣсъ въ тоннахъ на погонный метръ пути;
k — подвижная нагрузка въ тѣхъ же единицахъ;
F — вѣсъ проѣзжей части въ тоннахъ;
l — полудлина осевой линіи арки;
h — стрѣла подъема:
d — разстояніе между центрами тяжести обоихъ поясовъ прогона въ ключѣ;
R — допускаемое напряженіе въ тоннахъ на квадратный метръ;
γ — вѣсъ кубической единицы металла (7,8—7,9 тонн);
ψ — конструктивный коэффиціентъ: 1,75;
α — коэффиціентъ, зависящій отъ коэффиціента упругости, расширенія металла при измѣненіи температуры и проч.

Для желѣза	$\alpha = 7000$
» чугуна	$\alpha = 3400$
» стали	$\alpha = 8000$

если принять за единицы метръ и тонну.

в) *Формулы* **Винклера** для арочныхъ фермъ съ тремя шарнирами. Если p' — вѣсъ на пог. единицу главныхъ фермъ; $p = p' + F$ — полная постоянная нагрузка на пог. единицу; k — подвижная нагрузка; R_0 и R_1 — коэф. допускаемыхъ напряженій для постоянной и подвижной нагрузокъ; ψ — конструктивный коэффиціеитъ; γ — вѣсъ куб. единицы; l — пролетъ; h — возвышеніе ключеваго шарнира надъ пятовыми шарнирами; d — разстояніе между ц. т. поясовъ арки, то:

$$p' = \psi\gamma l\left[\left(A_0\frac{l}{h} + B_0 + C_0\frac{h}{l}\right)\frac{p}{R_0} + \left(A_1\frac{l}{h} + A'_1\frac{l}{d} + B_1 + C_1\frac{h}{l}\right)\frac{k}{R_1}\right]. \quad . \quad (65)$$

при чемъ, если за единицы принять метръ и тонну, то:

α) для арки съ двумя параллельными поясами:

$$A_0 = 0{,}125;\ A_1 = 0{,}070;\ A'_1 = 0{,}036;\ B_0 = 0{,}02;\ B_1 = 0{,}29 \text{ до } 0{,}47;$$

$$\text{вообще } B_1 = 0{,}06\ (tg\,\alpha + cotg\,\alpha);\quad C_0 = C_1 = 0{,}25 \text{ до } 0{,}33;$$

гдѣ α—уголъ, составляемый раскосомъ съ нормалью къ аркѣ;

β) для арки серповиднаго очертанія, гдѣ d — наибольшее разстояніе между ц. т. поясовъ:

$$A_0 = 0{,}125;\ A_1 = 0{,}078;\ A'_1 = 0{,}052;\ B_0 = 0{,}03;\ B_1 = 0{,}12 \text{ до } 0{,}18;$$

$$\text{вообще } B_1 = 0{,}06\ (tg\,\alpha + cotg\,\alpha);\ C_0 = C_1 = 0{,}29 \text{ до } 0{,}33;$$

γ) для арочной фермы, состоящей изъ нижняго криволинейнаго пояса, верхняго—горизонтальнаго, соединенныхъ раскосами и стойками, гдѣ $d = d_0 + 0{,}05h$ и d_0 = разстояніе между ц. т. поясовъ въ ключѣ арки:

$$A_0 = 0{,}125;\ A_1 = 0{,}125;\ A'_1 = 0{,}013;\ B_0 = 0{,}04 - 0{,}06;\ B_1 = 0{,}20 - 0{,}32;$$

$$C_0 = C_1 = 0;$$

б) для арочной фермы съ нижнимъ криволинейнымъ поясомъ, который соединенъ только стойками съ верхнимъ горизонтальнымъ поясомъ, состоящимъ изъ раскосной фермы съ параллельн. поясами:

$$A_0 = 0{,}125;\ A_1 = 0{,}125;\ A'_1 = 0{,}036;\ B_0 = 0{,}02;\ B_1 = 0{,}29 - 0{,}47;$$
$$C_0 = C_1 = 0{,}33.$$

Во всѣхъ приведенныхъ формулахъ наименьшее возможное значеніе $A_1 \frac{l}{h} + A'_1 \frac{l}{d}$ не должно быть менѣе $0{,}125 \frac{l}{h}$.

При достаточно пологихъ аркахъ коэффиціентъ A_0, A_1 и A'_1 — полезно умножить на $1 + \frac{16}{3}\left(\frac{h}{l}\right)^2$.

г) По **Albaret** для желѣзныхъ арочныхъ мостовъ подъ одинъ путь: $p = 33\,l +$ $+ 790$ килограм., для чугунныхъ: $p = 44\,l + 1330$ *), т. е. вѣсъ пролетныхъ частей арочнаго моста весьма близко подходитъ къ вѣсу пролетныхъ частей балочнаго моста того же пролета.

д) По **Heinzerling**'у (Die eisernen Bogenbrücken) вѣсъ пролетныхъ частей желѣзнодорожнаго арочнаго моста вмѣстѣ съ полнымъ вѣсомъ проѣзжей части, отнесенные на погонную единицу фермы, выражаются формулой вида: $p = Cl + f$, гдѣ, при единицахъ: метръ и тонна, $C = 0{,}00625$ и $f = 0{,}69$ тонны. Слѣдовательно: $p = 0{,}00625\,l + 0{,}69$ тонны на пог. метръ **).

---

*) Эмпирическія формулы для опредѣленія вѣса какъ арочныхъ, такъ и балочныхъ фермъ различныхъ системъ указаны въ: Sonne. Handbuch der Ingenieurwissenschaften. II Band.

**) Хотя Heinzerling не указываетъ опредѣленно, выражаетъ ли p полный собственный вѣсъ моста на погонный метръ *пути* или на погонный метръ *фермы*, но нужно предполагать второе, что̀ видно изъ подробнаго расчета моста черезъ р. Руръ въ Дюссернѣ, помѣщеннаго въ вышеупомянутомъ сочиненіи. Кромѣ того, сравнивая показанный имъ дѣйствительный вѣсъ p_1 нѣкоторыхъ арочныхъ мостовъ съ вѣсомъ тѣхъ же мостовъ или другихъ, но того же пролета и которые помѣщены въ таблицѣ Leber'a (Das Eisenbahnwesen in Frankreich zur Zeit der Pariser Weltausstellung. 1878), оказывается, что послѣдній вѣсъ почти что вдвое болѣе. Это видно изъ слѣдующей таблицы, въ которой для сравненія помѣщенъ собственный вѣсъ мостовъ другихъ системъ, но того же пролета.

При разсмотрѣніи этой таблицы слѣдуетъ имѣть въ виду, что здѣсь сгруппированы австрійскіе, французскіе и американскіе мосты и слѣдовательно для сравненія вѣса фермъ различныхъ типовъ слѣдуетъ брать мосты одной и той же группы; это необходимо потому, что въ каждой изъ этихъ странъ приняты различныя предѣльныя напряженія, различная система соединеній частей фермы и наконецъ неодинаковое устройство полотна проѣзжей части. Такъ, напримѣръ, во Франціи очень часто проѣзжая часть желѣзнодорожныхъ мостовъ устраивается изъ фасоннаго желѣза, почему французскіе мосты вообще значительно тяжелѣе австрійскихъ.

Изъ этой таблицы видно: а) что численное значеніе данныхъ Heinzerling'а значительно менѣе данныхъ этой таблицы; б) что вѣсъ арочныхъ фермъ измѣняется вмѣстѣ съ подъемомъ и в) что мосты съ арочными фермами, за небольшими исключеніями, легче мостовъ съ безраспорными фермами на 10%—20% при значительныхъ пролетахъ.

Относительно формулъ Heinzerling'а слѣдуетъ замѣтить, что было бы удобнѣе, если бы онѣ выражали собственный вѣсъ на погонную единицу пути, а не фермы, въ виду возможности помѣщать различное число фермъ подъ однимъ, или нѣсколькими путями. Но кромѣ этого неудобства—значенія постоянныхъ не соотвѣтствуютъ, невидимому, дѣйствительности. Такъ, напримѣръ, чтобы получить по этимъ формуламъ полный собственный вѣсъ моста съ двумя арочными фермами подъ одинъ путь, слѣдовало бы удвоить опредѣляемое по формулѣ значеніе p; но при этомъ второй членъ, выражающій вѣсъ проѣзжей части, составилъ бы на погонный метръ отъ 1150 килограм. до 1590 килограм., что̀ едва ли вѣроятно, такъ какъ въ обыкновенныхъ безраспорныхъ фермахъ эта величина составляетъ maximum 1000 килограммовъ и нѣтъ причины, почему она должна быть болѣе въ мостахъ съ арочными фермами. Повидимому, при опредѣленіи постоянныхъ была сдѣлана ошибка, что̀ видно изъ слѣдую-

щаго расчета. Такъ, для Рурскаго моста у Дюссерна дѣйствительный вѣсъ p_1 совпадаетъ съ опредѣленнымъ по формулѣ Heinzerling'a и, вѣроятно, постоянныя были опредѣлены, пользуясь дѣйствительнымъ вѣсомъ этого моста. Въ вышеозначенномъ сочиненіи Heinzerling'a помѣщено подробное описаніе этого моста съ показаніемъ дѣйствительнаго вѣса всѣхъ частей. Такъ, отверстіе моста 48 метровъ = 22,56 саж.; два пути, четыре арочныхъ фермы; подъемъ около $^1/_9$; рельсы расположены на желѣзныхъ поперечинахъ, опирающихся въ средней части фермы на арку, а въ остальной части — на горизонтальный прогонъ, соединенный стойками съ аркой.

№№	Названіе мостовъ.	Система фермъ моста.	Число путей.	Пролетъ.	Отношеніе высоты къ пролету.	Вѣсъ на погонный метръ пути.
				Метры.		Тонны.
1	Мостъ чрезъ Марнскій каналъ на Восточной желѣзной дорогѣ—четыре арки	Арочная.	2	25	$\frac{1}{11,7}$	1,027
2	Мостъ Арру на желѣзной дорогѣ Парижъ-Ліонъ—Средиземное море—двѣ фермы . .	Со сплошной стѣнкой.	2	26,57	$\frac{1}{10,6}$	1,372
3	Мостъ на Зальцбургъ — Тирольской желѣзной дорогѣ—двѣ фермы	Раскосная.	1	27,25	$\frac{1}{9,7}$	1,143
4	Pont-aux-moines на Орлеанской желѣзной дорогѣ—двѣ арки	Арочная.	1	50,00	$\frac{1}{8,4}$	2,788
5	Бубльскій віадукъ—двѣ фермы	Рѣшетч. неразр.	1	50,00	$\frac{1}{11}$	2,400
6	Ріенцскій мостъ на Южной Австрійской желѣзной дорогѣ	Рѣшетч. неразр.	1	50,60	$\frac{1}{9,8}$	2,047
7	Дубскій мостъ на Орлеанской желѣзной дорогѣ	Рѣшетч. неразр.	1	50,89	$\frac{1}{14,2}$	2,310
8	Эльбскій мостъ на Австрійской Сѣверо-Западной желѣзной дорогѣ	Рѣшетч. разрѣз.	1	50,00	$\frac{1}{8}$	2,276
9	Драусскій мостъ на Австрійской Южной желѣзной дорогѣ - четыре арки	Арочная.	3	53,00	$\frac{1}{4,3}$	3,108
10	Эрдрскій віадукъ на Орлеанской желѣзной дорогѣ—четыре арки	Арочная.	2	96,18	$\frac{1}{8}$	4,986
11	Мостъ на Мемелѣ у Тильзита	Параболическ.	2	96,66	$\frac{1}{8,2}$	3,175
12	Віадукъ чрезъ р. Рансъ на Западной желѣзной дорогѣ	Полупараболич.	2	96	$\frac{1}{8}$	5,127
13	Рейнскій мостъ въ Кобленцѣ—три арки . .	Арочная.	2	98,9	$\frac{1}{11}$	2,889
14	Рейнскій мостъ у Рейнгаузена, выше Кобленца,—три арки	Арочная.	2	107	$\frac{1}{11}$	3,175
15	Мостъ чрезъ р. Вислу у Торна	Шведлера.	2	97,30	$\frac{1}{6,9}$	3,683
16	Мостъ чрезъ р. Миссисипи—три арки . . .	Арочная.	2	158,5	$\frac{1}{7}$	5,600
17	Мостъ чрезъ р. Огіо близъ Цинциннати . .	Линвилля.	1	158,5	$\frac{1}{10}$	7,540
18	Мостъ чрезъ р. Дуэро близъ Опорто	Арочная.	1	160,00	$\frac{1}{3,38}$	6,000

Дѣйствительный вѣсъ желѣза распредѣляется слѣдующимъ образомъ:

	Всего:
1) Двѣ внутреннія фермы по 33650 килограм. . . .	67300 килограм.
2) Двѣ крайнія фермы по 34389 килограм.	68778 „
3) Вертикальныя связи	18356 „

Въ слѣдующей таблицѣ, данной Heinzerling'омъ, помѣщены дѣйствительные вѣса p_1 пролетныхъ частей нѣкоторыхъ существующихъ арочныхъ мостовъ и вѣса p, вычисленные по предыдущей формулѣ.

Названіе мостовъ.	Число путей.	l. метровъ.	p_1. тонны.	p. тонны.
Мостъ въ Ганноверѣ	—	11,3	0,92	0,76
Мостъ въ Кёльнѣ	—	16	0,86	0,79
Мостъ черезъ р. Руръ въ Мюльгеймѣ	—	36	0,77	0,91
Мостъ черезъ р. Тиссу въ Сзегединѣ	—	41,48	0,67	0,94
Мостъ черезъ р. Руръ въ Дюссернѣ	—	48	0,99	0,99
Мозельскій мостъ близъ Гюльза.	—	65,6	1,10	1,10
Рейнскій мостъ въ Кобленцѣ	—	98	1,99	1,31
Рейнскій мостъ въ Рейнгаузенѣ	—	107	1,50	1,36

4) Верхнія горизонтальныя связи . . . . . 1795 килограм.
5) Нижнія связи . . . . . 1646 „
6) Проѣзжая часть (не считая полотна) . . . . 15125 „
7) Двое перилъ по 1825 килограм. . . . . 3650 „
8) Опорныхъ подушекъ 8 по 425 килограм. . . . 3400 „

180350 килограм.

Исключая вѣсъ опорныхъ подушекъ, остается желѣза въ пролетѣ . . . 176950 килограм.

Кромѣ того вѣсъ рельсовъ для двойного пути . . . . . 3840 килограм.
Вѣсъ настила . . . . . 9385 „

13225 килограм.

Итого 176950 + 13225 = 190175 килограммовъ, при чемъ вѣсъ фермъ составляетъ: 67300 + + 68778 = 136078 килограм., а слѣдовательно 54097 килограм. составляетъ вѣсъ проѣзжей части со связями. Переводя все на *одну* ферму, получимъ: $\frac{136078}{4} = 34019$ килограммовъ и $\frac{54097}{4} = 13524$. Слѣдовательно, въ формулѣ: $p \,.\, l = Cl \,.\, l + F \,.\, l$, членъ $Cl \,.\, l = 34019$ и $F \,.\, l = 13524$, откуда:

$$C = \frac{34019}{48^2} = 14.77; \quad F = \frac{13524}{48} = 282 \text{ килограм.}$$

Слѣдовательно: $p = 14.77\,l + 282$ килогр. $= 0.01478\,l + 0.282$ тонны, а если перевести вѣсъ на одинъ путь, то: $p = 0.0295\,l + 0.564$ тонны, или: $p = 29.5\,l + 564$ килограм.

При устройствѣ проѣзжей части съ желѣзными поперечинами и продольными балками, постоянный членъ 0.564 можетъ увеличиться до 0.800 тоннъ. Вообще, слѣдовательно, для приблизительнаго расчета собственнаго вѣса пролетныхъ частей арочныхъ мостовъ съ подъемомъ около $\frac{1}{10}$ можно пользоваться тѣми же формулами, которыя даны для безраспорныхъ фермъ, что подтверждается между прочимъ и формулами Энгессера, которыя во всякомъ случаѣ даютъ болѣе точныя значенія, чѣмъ формулы Heinzerling'a, уже потому, что приняты въ расчетъ подъемъ арки. Такъ, напримѣръ, при подъемѣ въ $\frac{1}{10}$ для арочной фермы съ двумя шарнирами:

при l = 10, 20, 30, 40, 60, 80, 100, 150, 200 метр.

$\frac{p}{l}$ = 46.5; 40.3; 35.5; 33.7; 30.5; 28.9; 28.2; 28.9; 31.7 кпл.

Слѣдовательно для

$l = 98$ метр. (№ 13) $p = p' + 1000 = 28.2 \times 98 + 1000 = 3763$ тоннъ;

$l = 158.5$ метр. (№ 16) $p = p' + 1000 = 29 \times 158.5 + 1000 = 5596$ тоннъ.

Для пролетовъ средней величины формула даетъ точныя значенія, для большихъ пролетовъ—мѣньшія противъ дѣйствительныхъ значенія, а для малыхъ пролетовъ—бо́льшія значенія. Поэтому по Heinzerling'у для желѣзнодорожныхъ мостовъ отверстіемъ отъ 10 до 50 метровъ слѣдуетъ положить:

$$p = 0{,}00407\, l + 0{,}795, \quad \ldots\ldots\ldots \quad (66)$$

а для отверстій отъ 50 до 100 метровъ:

$$p = 0{,}00865\, l + 0{,}575 \text{ тоннъ}. \quad \ldots\ldots\ldots \quad (67)$$

е) По **Resal**'ю вѣсъ арки и сквознаго заполненія на пог. единицу (не считая проѣзжей части) выражается формулой:

$$p = l\sqrt{\frac{l}{f}} \times \frac{6}{R}(Ap + Bk) \quad \ldots\ldots\ldots \quad (68)$$

гдѣ, если за единицы принять метръ и килограммъ, A измѣняется отъ 0,0007 до 0,0010 и B измѣняется отъ 0,0014 до 0,0020.

Коэффиціентъ экономичности:

$$K = \frac{p}{l(p + k)} = \sqrt{\frac{l}{f}} \times \frac{6}{R}\,\frac{(Ap + Bk)}{p + k}.$$

Если напр. $R = 6\,\frac{\text{кил.}}{\text{mm.}^2}$; $\frac{l}{f} = 10$, то при $\frac{p}{p+k} = \frac{3}{4}$, K будетъ измѣняться въ предѣлахъ отъ 0,0028 до 0,0040; при $\frac{p}{p+k} = \frac{1}{4}$, значеніе K измѣняется въ предѣлахъ отъ 0,0039 до 0,0056.

Вѣсъ металла въ проѣзжей части для желѣзнодорожныхъ мостовъ подъ одинъ путь можетъ быть принятъ отъ 800 до 1600 кил. на пог. м., а въ мостахъ подъ два пути отъ—1500 до 3000 кил.

ж) Приведемъ для соображеній нѣсколько имѣющихся данныхъ относительно вѣса металла въ желѣзнодорожныхъ мостахъ съ арочными фермами:

Рейнскій мостъ у Кобленца:

$(l = 98$ м.$)$; $p = 26{,}17\, l + 546$ кил. на пог. м. пути.

Рейнскій мостъ выше Кобленца, у Рейнгаузена:

$(l = 107$ м.$)$; $p = 20{,}72\, l + 488$ кил. на пог. м. пути.

Мостъ на Магдебургской центральной станціи:

$(l = 23$ м.$)$; $p = 31\, l + 425$ кил. на пог. м. пути.

Въ таблицѣ на стр. 340 выписаны данныя относительно вѣса металла, полной расчетной постоянной нагрузки (включая и полотно), расчетной подвижной нагрузки и допущеннаго напряженія.

Приведемъ еще слѣдующія данныя относительно вѣса металла въ арочныхъ мостахъ.

1) Арочный мостъ-виадукъ въ Вѣнѣ на кружной дорогѣ, расположенный на кривой и на подъемѣ; пролетъ 33,48 м.; стрѣла подъема—4,68 м., разстояніе между фермами—3,00 м.; арки сплошного сѣченія; сквозное заполненіе изъ стоекъ на взаимномъ разстояніи—0,93 м.; рельсовый путь уложенъ на балластѣ, расположенномъ на лотковомъ вогнутомъ желѣзѣ; вѣсъ металла на погон. метръ 3,32 тонны, что на 60% превышаетъ обыкновенную норму и объясняется тяжелой, хотя и раціонально устроенной проѣзжей частью.

2) Арочный мостъ-віадукъ въ Вѣнѣ въ три пролета: 29,45 м., 36,20 м. и 18,51 м.; арки того же сѣченія и типа, какъ и въ предыдущемъ примѣрѣ; вѣсъ металла 100 тоннъ, 141,2 т. и 58,5 т., что составляетъ на пог. метръ пути—3,35; 3,88 и 3,08 тоннъ.

Чугунныя арки.

Названіе.	Общее расположеніе.	Пролетъ.	Стрѣла подъема.	Высота арки.	Вѣсъ металла въ одномъ пролетѣ въ килогр.	Расчетная постоянная нагрузка на пог. метръ.	Расчетная подвижная нагрузка на пог. метръ.	Допущенное напряженіе въ кил. на кв. мм.
Тарасконскій желѣзнодорожн. мостъ чрезъ р. Рону, подъ два пути.	Восемь арокъ; заполненіе изъ чугун. досокъ; балластъ на чугунныхъ плитахъ . .	60,00	5,00	1,70	Арки . . 693.000 Заполнен. 220.000 Проѣзжая часть . 169.000	28.000	8.000	3,4
Желѣзныя арки.								
Мостъ подъ два пути на жел. дор. изъ Mauves въ Nantes.	Шесть арокъ; заполненіе изъ стоекъ; лотковое желѣзо . . .	20,00	2,50	0,50	Арки со связями . 31.700 Заполненіе со связ. 6.400 Проѣзжая часть . 20.800 Чугунныя украшенія, опорныя подушки . 13.500	3.500	9.800	4,6
Мостъ въ Алжирѣ подъ одинъ путь.	Четыре арки; сквозное заполненіе; балластъ на лотковомъ желѣзѣ	50,00	5,00	0,780 въ ключѣ 0,850 въ пятахъ	Арки и заполненіе 87.500 Проѣзжая часть . 42.500	3.460	4.000	6
Мостъ на р. Луарѣ подъ два пути.	Четыре арки; заполненіе изъ стоекъ; лотковое желѣзо . . .	60,00	6,00	1,60	Арки со связ. . 214.000 Заполнен. 36.000 Проѣзжая часть . 111.300 Украшенія и опорн. подушки 80.000	6.300	7.400	5,9
Мостъ въ Сзегединѣ чрезъ р. Тиссу подъ два пути.	Четыре арки; заполненіе изъ стоекъ. Деревянная проѣзжая часть	41,48	5,14	0,91 въ ключѣ 0,65 въ пятахъ	Арки и заполненіе 109.000 Связи . . 27.000	4.100	8.200	—
Мостъ чрезъ рѣку Erdre близъ Нанта; подъ два пути.	Четыре арки; сплошное заполненіе . . .	95,00	12,00	2,20 въ ключѣ 2,50 въ пятахъ	Арки . . 541.700 Заполнен. 164.800 Проѣзжая часть . 214.000	14.500	6.500	7,30
Опортскій мостъ чрезъ р. Дуэро подъ одинъ путь.	Арки серповиднаго очертанія съ двумя шарнирами; заполненіе изъ двухъ пирамидальныхъ стоекъ . .	160,00	42,50	10,00 въ ключѣ 1,72 въ пят.	Арки . . 700.000 Заполнен. 40.000 Проѣзжая часть, связи и пр. 220.000	6.000	4.000	5,60 и 6,23 съ вѣтромъ
Стальныя арки.								
Мостъ въ С. Луи чрезъ Миссисипи подъ обыкновенную и желѣзную дороги.	Четыре арки, со сквозной стѣнкой, съ задѣланными пятами. Заполненіе изъ стоекъ; деревянная проѣзжая часть	158,50	14,31	3,66	Арка безъ связей . 884.000 Связи . . 588.000 Проѣзжая часть . 297.000	12.000	9.600	22

3) Арочный мостъ-віадукъ въ Вѣнѣ на подъемѣ въ 0,014; нижній поясъ криволинейный; верхній—прямолинейный; сквозное заполненіе—стойки и раскосы; арочная ферма двухшарнирная; пяты

расположены на разныхъ уровняхъ—при разности отмѣтокъ въ 7,24 м.; величина пролета 56 м., стрѣла подъема—5,397 м.; разстояніе между фермами—3,20; балластный слой поддерживается лотковымъ вогнутымъ желѣзомъ; вѣсъ металла на пог. метръ пути—4,46 тонны.

4) Мостъ черезъ Кильскій каналъ близъ Грюненталя, подъ шоссе и желѣзную дорогу (рис. 126); двухшарнирная серповидная арка съ затяжкой выше пятъ. Пролетъ 156,5 м. Ширина полотна съ шоссе и желѣзнодорожнымъ путемъ 6,5 м.; разстояніе между арками у пятъ 12,40 м., а по серединѣ моста 6 м. между осями арокъ. Высота фермъ у опоръ 1 м. и по серединѣ пролета 4,10 м. Уклонъ граней фермъ $^1/_8$, вѣсъ металла 1277 тон. или 8,16 тон. на пог. метр.

5) Мостъ черезъ Кильскій каналъ у Левензау—подъ шоссе и желѣзную дорогу, подъ два пути (рис. 127). Арка съ двумя шарнирами *); высота увеличивается къ опорамъ. Пролетъ 163,4 метр.; ширина проѣзда 10,7 м. Разстояніе между осями арокъ 12,60 м. Вѣсъ металла 2891 тон. или 1404 кил. на кв. м. и 17,69 тон. на пог. м.

6) Двухъярусный арочный мостъ черезъ р. Ніагару, подъ два пути въ верхнемъ ярусѣ и шоссе—въ нижнемъ ярусѣ (рис. 71); двѣ арочныя фермы съ нижнимъ криволинейнымъ и верхнимъ горизонтальнымъ поясами, соединенными раскосами и стойками; ширина проѣзда — 7,77 м.; тротуары по 3,35 м. на консоляхъ. Пролетъ—167,6 м.; плоскости фермъ имѣютъ уклонъ $\frac{1}{10}$. Вѣсъ металла 7200 тоннъ.

7) Віадукъ Гарабп на жел. дор. между Марвежолемъ и Нессаргомъ (рис. 115). Пролетъ 165 м.; стрѣла подъема 56,858 м.; высота арки по серединѣ пролета 10 м.; разстояніе между арками въ вершинѣ 6,5 м., въ уровнѣ пятъ 20 м., уклонъ граней: 0,0982; вѣсъ балочнаго перекрытія съ проѣзжей частью и подвижной нагрузкой передается на арку четырьмя стойками, расположенными въ средней части арки на протяженіи 74 метровъ. Вѣсъ металлической опоры (высотою 60 метровъ) на устоѣ составляетъ 162000 кгр., а вѣсъ каждой изъ двухъ крайнихъ металлическихъ стоекъ (высотою 10,5 метровъ), опирающихся на арку, равенъ 38871 кгр.

β) Мосты подъ обыкновенную дорогу.

а) **Heinzerling**'омъ даны слѣдующія формулы, выражающія собственный вѣсъ на квадратный метръ полотна:

для мостовъ съ каменной мостовой:

$$p = 0{,}925 + 0{,}0106\, l \text{ тоннъ;} \quad \ldots\ldots \quad (69)$$

для мостовъ съ двойнымъ досчатымъ настиломъ:

$$p = 0{,}340 + 0{,}00706\, l \text{ тоннъ} \quad \ldots\ldots \quad (70)$$

на квадратный метръ площади полотна.

Эти формулы, какется, даютъ нѣсколько преувеличенныя значенія, такъ какъ, напримѣръ, для полотна шириною 7,5 метровъ вѣсъ p на погонный метръ моста при досчатомъ настилѣ:

$$p = 0{,}340 \times 7{,}5 + 0{,}00706 \times 7{,}5\,.\,l = 2{,}55 + 0{,}053\, l \text{ на погон. метръ,}$$

между тѣмъ какъ по Шюблеру для такого моста съ обыкновенными безраспорными фермами:

$$p = 1{,}3 + 0{,}028\, l \text{ тонны на погонный метръ,}$$

т. е. арочный мостъ долженъ быть *вдвое* тяжелѣе, что опять не подтверждается существующими сооруженіями.

б) *Формулы* **Krohn**'а, **Винклера** и **Resal**'а. Вышеприведенныя формулы (62)—(64), (65), (68) съ соотвѣтственнымъ измѣненіемъ k.

*) На стр. 57 (строка 2 снизу) ошибочно помѣщено: „съ задѣланными пятами".

Пользуясь формулой *Resal'я* для опредѣленія вѣса арки — вѣсъ металла въ проѣзжей части оцѣнивается въ 150 кил. на кв. м. — при кирпичныхъ сводикахъ; въ 200 кил. на кв. м. — при лотковомъ желѣзѣ и въ 250—300 кил. на кв. м. при чугунныхъ плитахъ. Вѣсъ карнизовъ и перилъ измѣняется отъ 100 до 500 кил. на пог. метръ отверстія.

в) Для соображеній при проектированіи приведемъ слѣдующія данныя:

Чугунныя арки.

Названіе.	Общее расположеніе.	Пролетъ.	Стрѣла подъема.	Высота арки.	Вѣсъ металла въ одномъ пролетѣ въ килогр.	Расчетная постоянная нагрузка въ кил. на пог. метръ.	Расчетная подвижная нагрузка въ кил. на пог. м-тръ.	Допущенное напряженіе въ кил. на кв. мм.
		м.	м.	м.				
Мостъ на шоссе изъ Парижа въ Туръ.	Пять арокъ; шоссе на кирпичныхъ сводахъ.	16,00	1,60	0,60	Арки и заполненіе 20.000 Проѣзжая часть . 12.000	8.000	2.500	3
Каруселькій мостъ въ Парижѣ.	Пять арокъ полаго эллиптическаго сѣченія: заполненіе изъ чугун. колецъ; досчатоо полотно	17,67	4,90	0,86	Арки и заполненіе 256.000	11.460	2.160	2,3
Мостъ св. Людовика въ Парижѣ.	Девять арокъ: заполненіе изъ чугун. досокъ; кирпичные сводики	64,00	5,85	1,20 въ ключѣ и 1,80 въ пятахъ	Арки . . 444.000 Заполнен. 124.000 Проѣзжая часть . 188.000	28.200	9.600	4,3
Николаевскій мостъ въ Петербургѣ.	Тринадцать арокъ; заполненіе изъ чугун. досокъ съ выемками: мостовая, поддерживаемая чугунными плитами	—	—	—	Шесть пролетовъ: 2 (107 ф. + 125 + + 143 ф.) + 156; ширина экипажнаго проѣзда 45,25 ф.; и каждаго изъ троттуаровъ: 10,25 ф.; общій вѣсъ чугуна: 430.000 пуд.; желѣза 21.300, что составляетъ на кв. ф. полотна: 76 пуд.; допущенное напряженіе 140 $\frac{\text{пуд.}}{\text{кв. дм.}}$.			
Желѣзныя арки.								
Мостъ чрезъ рѣку Erdre близъ Нанта.	Семь арокъ; заполненіе изъ стоекъ; каменная мостовая на лотковомъ желѣзѣ . . .	80,00	7,30	1,00 въ ключѣ и 1,20 въ пятахъ	Арки со связями. 346.000 Заполнен. 45.000 Проѣзжая часть . 193.000 Опорныя подушки и пр. . 88.500	15.400	3.600	5,5
Стальныя арки.								
Мостъ въ Руанѣ.	Семь арокъ трубчатаго сѣченія; заполненіе изъ стоекъ	54,60	4,87	0,60 въ ключѣ и 1,00 въ пятахъ	Арки . . 219.000 Заполнен. связи и проѣзжая часть . 177.000 Опоры подуш. и пр. 46.000	22.050	5.670	9,01

1) Арочный мостъ на шоссе въ Дермуло въ Тиролѣ чрезъ оврагъ (Nocе) глубиною 138 м.; величина пролета 60 м.; стрѣла подъема 10 м.; двухшарнирная арочная ферма съ нижнимъ криволинейнымъ и верхнимъ прямолинейнымъ поясами, соединенными раскосами и стойками; ширина проѣзда 6 м.; разстояніе между двумя фермами 4,28 м.; доечатое мостовое полотно; вѣсъ металла на ног. метръ моста 1,42 тон. или на кв. м. полотна—235 кил.

2) Мостъ чрезъ р. Enns близъ Тернберга. Двѣ фермы—того же типа, какъ въ предыдущемъ примѣрѣ, поставленныя съ уклономъ въ $\frac{1}{18}$ — такъ, что вверху разстояніе между фермами 4,40 м., а въ уровнѣ пятъ — 6,00 м.; величина пролета 76 м.; длина панели 4 м., высота фермы на опорѣ 13 м., по серединѣ 2,20 м.; стрѣла подъема 10,8 м., что составляетъ $\frac{1}{7}$ пролета; вѣсъ металла на пог. метръ 1,3 тон., а на кв. метръ полотна—325 кил.

3) Трехшарнирный арочный мостъ съ затяжкой въ видѣ фермы жесткости чрезъ р. Муръ въ Гоберицѣ, на шоссе. Величина пролета 70,56 м.; разстояніе между двумя фермами 6,45; величина панели 4,41 м.; высота фермы жесткости 3,00 м.; высота всего пролетнаго строенія по серединѣ 7,50 м.; ширина экипажнаго проѣзда 5,65 м.; ширина тротуаровъ на консоляхъ по 1,5 м.; мостовое полотно состоитъ изъ щебеночной коры на желѣзѣ Зоре; вѣсъ металла на пог. метръ моста 4,3 тон. или на кв. метръ полотна, включая и тротуары — 445 кил. Въ частности вѣсъ аркп — 34,3 т.; вѣсъ фермы жесткости и подвѣсокъ 49,4 т.; вѣсъ проѣзжей части 47,3 т.; вѣсъ связей—верхнихъ 9,46 т., а нижнихъ—6,08 т.

4) Мостъ черезъ р. Муръ въ Грацѣ. Арочная ферма съ затяжкой въ видѣ фермы жесткости высотою 2,90 м. Пролетъ 67,804 м. Стрѣла подъема 8,648 м. Ширина проѣзда 7,58 м., ширина каждаго изъ троттуаровъ 5,82 м. Щебеночная кора на желѣзѣ Зоре. Арка состоитъ изъ одного пояса высотою 600 мм., развѣтвляющагося на опорѣ на двѣ вѣтви, отстоящія одна отъ другой на 2,90 м. Общій вѣсъ металла: въ аркѣ и въ фермѣ жесткости: 162,998 кил.; въ проѣзжей части для экипажей 94,130; въ тротуарахъ 10,842; въ поперечныхъ связяхъ — 6700; въ горизонтальныхъ связяхъ — 4635 кил.; въ перилахъ — 5683; въ опорныхъ частяхъ — 12,502; вѣсъ свинца — 730. Итого 298,120 кил. (въ дѣйствительности оказалось 302,484 кил., что удовлетворяетъ формулѣ: $p = 210 - 1{,}2l + 0{,}049l^2$ кил. на кв. м. полотна, включая жел. Зоре и перила).

5) Мостъ черезъ р. Муръ въ Леобенѣ — двухшарнирная арочная ферма (два криволинейныхъ пояса, соединенныхъ раскосами и стойками) съ затяжкой. Величина пролета 60,06 м. двѣ фермы—разставленныя на 6,10 м.; высота фермы на опорѣ 5,7 м., по серединѣ 1,8 м.; величина панели 4,4 м; ширина экипажнаго проѣзда 5,7 м.; тротуары на консоляхъ; торцовая мостовая на слоѣ бетона, расположенномъ на желѣзѣ Зоре; вѣсъ металла на ног. метръ 3,96 т. или на кв. метръ—410 кил.

6) Мостъ въ Ищлѣ. Двухшарнирная арка съ затяжкой. Величина пролета 40,2 м.; двѣ фермы на взаимномъ разстояніи 6,75 м.; стрѣла подъема 5,75 м.; ширина экипажнаго проѣзда 5,8 м.; тротуары на консоляхъ по 1,5 м. Вѣсъ металла на пог. метръ 3,46 тон., а на кв. метръ полотна — 390 кил. м.; вѣсъ главн. фермъ 37,5 тон., а проѣзжей части—включая и желѣзо Зоре—46,7 тон.; связи—5,2 тон.

7) Мостъ чрезъ р. Ааръ въ Бернѣ, арка сквознаго сѣченія съ задѣланными пятами. Плоскости двухъ главныхъ фермъ имѣютъ уклонъ $\frac{1}{12}$; пролетъ 114,59 м.; стрѣла подъема 31,61 м.; сквозныя заполненія—трубчатыя стойки. Ширина проѣзда 7,2 м. и тротуаровъ на консоляхъ по 2,7 м. Разстояніе между фермами по верху 8 м., а у пятъ — 13,5 м. Вѣсъ металла въ среднемъ пролетѣ 901 тон. или 623 кил. на кв. метръ полотна.

8) Арочный мостъ чрезъ р. Шагару близъ Cliflon'a (рис. 123). Арка съ двумя шарнирами, съ концентричными поясами, соединенными рѣшеткой; заполненіе—стойки. Величина пролета 256 метр.; деревянная мостовая шириною 14,1 метр. Вѣсъ металла 430 кил. на кв. метръ полотна.

9) Городской мостъ чрезъ р. Рейнъ въ Боннѣ (рис. 122); двухшарнирная арочная ферма съ подвѣшеннымъ полотномъ. Пролетъ 187,92 м.; разстояніе между фермами 9 м.; общая ширина моста 14 м.; вѣсъ металла на 1 пог. метръ—8,26 тоннъ.

10) Городской Троицкій мостъ въ Петербургѣ. Пять пролетовъ постоянной части моста: 2 (56,644 м. +

+ 82,026 м.) + 99,288 м. и два пролета разводной части 27,650 м. и 27,737 м. Крайніе пролеты перекрываются балочными фермами въ 56,644 м. съ двумя свѣсами по 22,680 м.; средній пролетъ перекрывается арочной трехшарнирной фермой въ 99,288 м. съ двумя свѣсами по 27,972 м.; такимъ образомъ пролеты въ 82,026 м. перекрыты двумя свѣсами въ 22,680 м. и 27,972 м. и соединительной между ними частью длиною 33,264 м. Общая ширина моста 17,7 м. + 2 × 3 м. = 23,3 м.; по ширинѣ моста поставлено 8 фермъ. Арочная ферма съ стрѣлой подъема въ 8,2 м. Заполненіе состоитъ изъ раскосовъ и стоекъ. Каменная мостовая на лотковомъ желѣзѣ. Вѣсъ металла въ 8 арочныхъ фермахъ на пог. метръ моста—13,250 кил.; вѣсъ металла въ проѣзжей части 3000 кил. на пог. метръ—всего 16250 кил. на пог. метръ моста или $\frac{16250}{23,3} = 698$ кил. на кв. метръ полотна. Вѣсъ металла въ 8 свѣсахъ длиною 27,972 м.—составляетъ на пог. метръ 11.850 кил., а съ прибавленіемъ 3000 кил.—вѣса проѣзжей части — общій вѣсъ металла въ консоляхъ на пог. метръ моста — 14.850 кил. или $\frac{14850}{23,3} = 638$ кил. на кв. метръ полотна. Вѣсъ мостовой, песку и бетоннаго слоя на кв. метръ полотна—12.430 кил.

Замѣтимъ кстати, что въ крайнихъ пролетахъ, перекрытыхъ балочными фермами длиною 56,644 м. со свѣсомъ длиною 22,68 м.—вѣсъ металла въ междуопорной части на пог. метръ моста 12640 + + 3000 = 15640 или $\frac{15640}{23,3} = 671$ кил. на кв. метръ, а въ свѣсахъ длиною 22,68 м., поддерживающихъ соединительную часть длиною 33,264 м.,—вѣсъ металла на пог. метръ въ главныхъ фермахъ 11070 и въ проѣзжей части — 3000 кил.; всего 14070 кил. или $\frac{14070}{23,3} = 604$ кил. на кв. метръ полотна.

11) Двухъярусный віадукъ (Luiz I) въ Порто черезъ Дуэро (рис. 116). Арка съ двумя шарнирами (предварительно предполагалась арка съ задѣланными пятами, но при исполненіи примѣнены шарниры съ сохраненіемъ вида арки съ задѣланными пятами) *). Пролетъ 172 м. Стрѣла подъема нижняго пояса 44,6 м., верхняго пояса 52,6 м. Высота арки въ ключѣ 8 м., отв. $^1/_{22}$ пролета; высота у пятъ 16,75 м. Разстояніе между арками въ вершинѣ 6 м., а въ уровнѣ пяты 16 м. Уклоны граней 0,0958. Ширина полотна 6,5 м. и два тротуара по 1,25. Разность уровней между верхнимъ и нижнимъ проѣздомъ 52,4 м. Торцовая мостовая на слоѣ бетона на лотковомъ выпукломъ желѣзѣ. Полный собственный вѣсъ, включая и мостовую обоихъ проѣздовъ, 20 топ. на пог. метръ; подвижная нагрузка 4 топ. на пог. метръ.

12) Городской мостъ въ Витебскѣ черезъ р. З. Двину; величина пролета 146′8″; шесть арочныхъ фермъ съ нижнимъ криволинейнымъ и верхнимъ прямымъ поясомъ; заполненіе—раскосы и стойки; деревянная проѣзжая часть и настилъ; ширина проѣзда 26 ф. и каждаго изъ тротуаровъ по 3′5. Вѣсъ металла въ пролетѣ: 7504,47 пуд. или на пог. ф. моста: 51,17 пуд., а на кв. футъ полотна: 1,57 пуд.

4. Мосты системы Финка, Больмана и Варрена.

α) и β) Мосты подъ желѣзную или обыкновенную дорогу.

По *Леви* **), если p — постоянная нагрузка на погонную единицу пути, такъ что $P = pL$, $\delta = \frac{h}{L}$, гдѣ h — высота фермы, γ — вѣсъ кубической единицы желѣза, k — подвижная нагрузка на погонную единицу пути, для желѣзнодорожныхъ мостовъ или на погонную единицу по всей ширинѣ моста для мостовъ подъ обыкновенную дорогу, такъ что $K = kL$, R — коэффиціентъ допускаемаго напряженія, затѣмъ, если въ фермахъ *Финка* n — показатель числа 2, причемъ 2^n — выражаетъ число панелей, въ фермахъ-же *Больмана* и *Варрена* n — половинное число панелей, то теоретическій вѣсъ желѣза въ главныхъ фермахъ (безъ проѣзжей части будетъ:

*) На стр. 54 (строка 10 снизу) ошибочно помѣщено: „съ задѣланными пятами“.
**) Lévy. La Statique graphique. 1874.

Въ фермѣ *Финка* съ ѣздою по-верху:

$$p' = \frac{(p + k)L}{R}\left[n\delta + \frac{1 - \frac{1}{2^{2n}}}{3\delta}\right] \text{*}); \quad \ldots \ldots \ldots (71)$$

съ ѣздою по-низу:

$$p' = \frac{(p + k)L}{R}\left[\frac{n\delta}{2} + \frac{1 - \frac{1}{2^{2n}}}{3\delta}\right] \cdot \gamma. \quad \ldots \ldots \ldots (72)$$

Въ фермѣ *Больмана* съ ѣздою по-верху:

$$p' = \frac{(p + k)\,L}{R}\left[\frac{2n - 1}{n}\left(\delta + \frac{2n + 1}{12n\delta}\right)\right] \cdot \gamma. \quad \ldots \ldots \ldots (73)$$

Въ фермѣ *Варрена*:

$$p' = \frac{(p + k)\,L}{R}\left[n\delta + \frac{8n^2 + 3n - 2}{48n^2\delta}\right] \cdot \gamma. \quad \ldots \ldots \ldots (74)$$

Въ фермѣ изъ прямоугольныхъ треугольниковъ:

$$p' = \frac{(p + k)\,L}{R}\left[n\delta + \frac{(n + 1).(4n - 1)}{24n^2\delta}\right] \cdot \gamma. \quad \ldots \ldots \ldots (75)$$

При исчисленіи дѣйствительнаго вѣса слѣдуетъ ввести конструктивный коэффиціентъ около $\psi = 1{,}50$.

Такъ какъ p состоитъ: изъ p' — искомаго вѣса главныхъ фермъ на погонную единицу, изъ p'' — вѣса проѣзжей части, то: $P = pL = (p' + p'')\,L$; p'' для желѣзнодорожныхъ мостовъ около 800 — 1000 килограм. на погонный метръ пути. Слѣдовательно, здѣсь слѣдуетъ найти p' постепенными приближеніями или рѣшить приведенныя уравненія по p'.

Такъ, напримѣръ, для фермъ *Финка* съ ѣздою по-верху:

$$p' = \frac{(p' + p'' + k)\,L}{R}\left[n\delta + \frac{1 - \frac{1}{2^{2n}}}{3\delta}\right] \cdot \gamma;$$

$$p'\left\{1 - \frac{L}{R}\left[n\delta + \frac{1 - \frac{1}{2^{2n}}}{3\delta}\right] \cdot \gamma\right\} = \frac{(p'' + k)\,L}{R}\left[n\delta + \frac{1 - \frac{1}{2^{2n}}}{3\delta}\right] \cdot \gamma;$$

$$p' = \frac{[p'' + k]\,L\left[n\delta + \frac{1 - \frac{1}{2^{2n}}}{3\delta}\right] \cdot \gamma}{R - L\left[n\delta + \frac{1 - \frac{1}{2^{2n}}}{3\delta}\right] \cdot \gamma} \quad \ldots \ldots \ldots (76)$$

Эта формула можетъ быть упрощена, если удовлетворено условіе, при которомъ имѣетъ мѣсто minimum объема матеріала. Въ главѣ объ опредѣленіи

*) См. Расчетъ усилій въ фермахъ системъ Финка и Больмана.

усилій въ фермахъ Финка будетъ указано, что объемъ матеріала въ различныхъ частяхъ фермы Финка выражается слѣдующими формулами:

Объемъ стоекъ:

$$v_1 = \frac{Pnh}{2R}.$$

Объемъ тяжей:

$$v_2 = \frac{P}{R}\left(\frac{nh}{2} + \frac{1 - \frac{1}{2^{2n}}}{6} \times \frac{L^2}{h}\right).$$

Объемъ пояса:

$$v_3 = \frac{P}{R}\left(\frac{1 - \frac{1}{2^{2n}}}{6} \times \frac{L^2}{h}\right).$$

Общій объемъ:

$$V = v_1 + v_2 + v_3 = \frac{P}{R}\left[nh + \frac{1 - \frac{1}{2^{2n}}}{3} \times \frac{L^2}{h}\right] = \frac{PL}{R}\left[n\delta + \frac{1 - \frac{1}{2^{2n}}}{3\delta}\right].$$

Условіе, при которомъ имѣетъ мѣсто *minimum* объема, найдется изъ:

$$\frac{dV}{dh} = \frac{P}{R}\left[n - \frac{1 - \frac{1}{2^{2n}}}{3} \cdot \frac{L^2}{h^2}\right] = 0,$$

откуда:

$$nh^2 = \frac{1 - \frac{1}{2^{2n}}}{3} \cdot L^2,$$

или:

$$\frac{nh}{L} = \frac{1 - \frac{1}{2^{2n}}}{3h} \times L, \quad n\delta = \frac{1 - \frac{1}{2^{2n}}}{3\delta}.$$

На этомъ основаніи выведенное ранѣе выраженіе p' для фермъ *Финка* приметъ видъ:

$$p' = \frac{(p'' + k)\ 2Ln\delta\gamma}{R - 2Ln\delta\gamma} = \frac{(p'' + k)\ 2nh\gamma}{R - 2nh\gamma} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (77)$$

Подобнаго же вида формулы можно вывести для фермъ *Больмана* и *Варрена*, при чемъ для фермъ *Больмана* получится:

$$p' = \frac{(p'' + k)\, L\left[\frac{2n-1}{n} \cdot \left(\delta + \frac{2n+1}{12n\delta}\right)\right] \cdot \gamma}{R - L\left[\frac{2n-1}{n} \cdot \left(\delta + \frac{2n+1}{12n\delta}\right)\right] \cdot \gamma} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (78)$$

а при удовлетвореніи условію *minimum*'а объема матеріала, при чемъ должно

быть:

$$\frac{h}{L} = \frac{2n+1}{12n\frac{h}{L}},$$

будемъ имѣть:

$$p' = \frac{(p''+k)\,2\left(\frac{2n-1}{n}\right)h\,.\,\gamma}{R - 2\left(\frac{2n-1}{n}\right)h\,.\,\gamma} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (79)$$

Для фермъ *Варрена*:

$$p' = \frac{(p''+k)\,L\left[n\delta + \frac{8n^2+3n-2}{48n^2\delta}\right]\cdot\gamma}{R - L\left[n\delta + \frac{8n^2=3n-2}{48n^2\delta}\right]\cdot\gamma}, \quad \ldots\ldots \quad (80)$$

а при удовлетвореніи условію *minimum*'а объема матеріала:

$$n\frac{h}{L} = \frac{8n^2+3n-2}{48n^2\frac{h}{L}}$$

предыдущая формула приметъ видъ:

$$p' = \frac{(p''+k)\,L2n\delta\gamma}{R - L2n\delta\gamma} = \frac{(p''+k)\,2nh\gamma}{R - 2nh\gamma}, \quad \ldots\ldots \quad (81)$$

т. е. по внѣшнему виду—та же формула, какъ и для фермъ Финка. Но не надо забывать, что въ обѣихъ формулахъ n — имѣетъ различныя значенія. Обѣ формулы тождественны лишь въ случаѣ четырехъ панелей, такъ какъ въ обѣихъ формулахъ въ этомъ случаѣ: $n = 2$. При большемъ числѣ панелей, когда возможныя значенія для n могутъ быть:

	Въ фермахъ *Финка*.	Въ фермахъ *Варрена*.
При 8 панеляхъ	$n = 3$	$n = \frac{8}{2} = 4,$
» 16 »	$n = 4$	$n = \frac{16}{2} = 8,$
» 32 »	$n = 5$	$n = \frac{32}{2} = 16,$

очевидно, что меньшій вѣсъ остается на сторонѣ фермъ Варрена, что показываетъ видъ формулы:

$$p' = \frac{A\,.\,n}{R - B\,.\,n} = \frac{A}{\frac{R}{n} - B}.$$

5. Фермы висячихъ мостовъ.

α) Мосты подъ желѣзную дорогу.

Можно пользоваться формулами **Винклера** (65).

β) Мосты подъ обыкновенную дорогу.

а) По *Heinzerling*'у для пѣшеходныхъ висячихъ мостовъ собственный вѣсъ

моста, отнесенный на *квадратный метръ* полотна:

$$p = 1.36\,l + 153 \text{ кил.} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (82)$$

Для висячихъ мостовъ подъ обыкновенную дорогу:

$$p = 6.5\,l + 90 \text{ кил.} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (83)$$

на квадратный метръ мостового полотна, считая за ширину моста — ширину проѣзжей части для экипажей и тротуары.

б) Примѣрный вѣсъ можетъ быть опредѣленъ еще слѣдующимъ путемъ. Расчитавъ въ зависимости отъ подвижного груза и примѣрнаго собственнаго вѣса мостового полотна—размѣры частей мостового полотна, можно опредѣлить нагрузку, приходящуюся на каждый привѣсный прутъ, которая составится, слѣдовательно, изъ вѣса полотна и подвижной нагрузки.

Вѣсъ всѣхъ привѣсныхъ прутьевъ одной цѣпи (цѣпь представляетъ параболу):

$$p = \omega \times \frac{\delta 2f}{m^2} \times \frac{m(m+1).(2m+1)}{1.2.3},$$

гдѣ ω — поперечное еѣченіе прута; δ — вѣсъ кубической единицы желѣза; f — стрѣла провѣса цѣпи; m — число промежутковъ между привѣспыми прутьями.

Пренебрегаемъ собственнымъ вѣсомъ цѣпи; тогда напряженіе ея, зависящее отъ вѣса полотна, прутьевъ и подвижной нагрузки:

$$\tau = \frac{P}{2}\sqrt{\frac{l^2}{16f^2}+1},$$

гдѣ l — пролетъ, P — вся вышеупомянутая нагрузка на *одну* цѣпь; опредѣливъ τ, найдемъ еѣченіе цѣпи Ω, а затѣмъ и вѣсъ ея:

$$P' = 2\delta \,.\, \Omega\,\frac{l}{2}\left\{1 + \frac{1}{6}\left(\frac{4f}{l}\right)^2\right\}.$$

Прибавляя P' къ P, найдемъ болѣе точное значеніе напряженія цѣпи, а слѣдовательно и вѣса ея, и т. д.

в) Упомянемъ еще о формулѣ Buschmann'a для составной висячей фермы, состоящей изъ цѣпи и балочной фермы. Если: $q = p + k$ — полная нагрузка на погонную единицу составной фермы; q' и q'' — доли полной нагрузки, передающіяся на балочную ферму и на цѣпь, то собственный вѣсъ моста:

$$P = pl = \delta.v + \delta.v' + \delta.v'' = \delta.\frac{7}{2}\,q'\,\frac{l^2}{R} + \frac{\delta q'' l}{24R'h}\,(3l^2 + 16h^2) + \delta\,\frac{1}{3}\cdot\frac{lhq''}{R''}, \quad (84)$$

гдѣ δ — вѣсъ кубической единицы желѣза; v, v', v'' — объемы балочной фермы, цѣпи и прутьевъ; R, R' и R'' — коэффиціенты напряженія, h — провѣсъ цѣпи; l — пролетъ.

г) Формула *Винклера*. — Вышеприведенная формула Винклера (65′) можетъ быть примѣнима къ жесткимъ цѣпнымъ мостамъ и къ висячимъ мостамъ съ фермами жесткости при соотвѣтственномъ значеніи k.

д) По *Resal'*ю — вѣсъ цѣпи и привѣсныхъ прутьевъ въ гибкихъ висячихъ

мостахъ:

$$P = p'l = \frac{8000}{R}(p + k)\, l^2 \left\{ \frac{l}{8f} + \frac{5f}{3l} \right\}. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (85)$$

гдѣ 8000 — вѣсъ куб. метра въ килогр.; l — пролетъ: f — стрѣла провѣса, p и k — постоянная и подвижная нагрузки; R — коэффиціентъ допуск. напряженія въ кил. на кв. метръ. Къ этому вѣсу слѣдуетъ еще прибавить — вѣсъ проѣзжей части, удерживающихъ цѣпей и связей.

Коэффиціентъ экономичности:

$$K = \frac{P}{l^2(p + k)} = \frac{8000}{R}\left(\frac{l}{8f} + \frac{5f}{3l} \right).$$

Если висячій мостъ имѣетъ сверхъ того жесткій прямолинейный поясъ (по типу Питсбургскаго моста), — то полный вѣсъ жесткаго пояса и сквознаго заполненія между поясомъ и цѣпью:

$$P' = \frac{8000}{R'} l^2 k \left(\frac{l}{12f} \right). \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (86)$$

гдѣ R' — коэффиціентъ допускаемаго напряженія для этой добавочной части.

Коэффиціентъ экономичности:

$$K = 8000 \left\{ \frac{1}{R}\left(\frac{l}{8f} + \frac{5f}{3l} \right) + \frac{k}{R'(p + k)} \cdot \frac{l}{12f} \right\}.$$

Такъ напр., значеніе коэффиціента экономичности:

$\frac{f}{l}$	$\frac{K}{p+k}$	Гибкіе висячіе мосты.			Жесткіе висячіе мосты.		
		6×10^6	$R = 12 \times 10^6$	24×10^6	6×10^6	$R = 12 \times 10^6$	24×10^6
$^1/_8$	$^3/_4$	0,0015	0,0008	0,0004	0,0022	0,0011	0,0006
	$^1/_2$	*Id*	*Id*	*Id*	0,0019	0,0010	0,0005
	$^1/_4$	—	—	—	0,0017	0,0009	0,0004
$^1/_{12}$	$^3/_4$	0,0021	0,0012	0,0006	0,0031	0,0015	0,0008
	$^1/_2$	—	—	—	0,0028	0,0014	0,0007
	$^1/_4$	—	—	—	0,0024	0,0012	0,0006

Приводимъ нѣсколько данныхъ относительно собственнаго вѣса существующихъ цѣпныхъ и проволочныхъ висячихъ мостовъ:

а) Цѣпные висячіе мосты.

1) *Мостъ въ Прагѣ.* Пролетъ 132,73 метра = 62,38 саж.; 8 цѣпей; ширина полотна 6 + 3 = 9 метрамъ = 4,23 саж.; постоянная нагрузка на погонный метръ полотна—1857 килограм.; подвижная—2396 килограммовъ.

2) *Мостъ съ Серэнъ черезъ р. Маасъ.* Пролетъ 105 метровъ = 49,35 саж., 4 цѣпи, ширина полотна 2,5 + 2,5 метра = 5 метрамъ = 2,35 саж.; собственный вѣсъ и подвижная нагрузка составляютъ на погонный метръ моста 2010 килограм.; подвижная нагрузка 1000 килограммовъ.

3) *Мостъ въ Градцѣ.* Пролетъ 63,8 метра = 29,99 саж.; 4 цѣпи; ширина полотна 6,2 + + 3792 = 9992 метра = 4,7 саж.; полный вѣсъ моста вмѣстѣ съ подвижной нагрузкой 296800 килограм.; подвижная нагрузка по всему мосту 168000 килограммовъ.

4) *Мостъ въ Бамбергѣ.* Пролетъ 64,26 метра = 30,2 саж.; 4 цѣпи; ширина полотна 8,7 метра = 4,09 саж.; вѣсъ желѣза 62750 килограм.; полный собственный вѣсъ 151312 килограммовъ.

5) *Мостъ въ Кіевѣ черезъ р. Днѣпръ* (рис. 61). Четыре пролета по 440 футъ каждый и два полу-пролета по 225 футъ; ширина моста $52^1/_2$ фута, изъ нихъ $33^3/_3$—для проѣзжей части, $18^5/_6$—для размѣщенія цѣпей и троттуаровъ; общій вѣсъ цѣпей съ болтами, гайками, клиньями и засовами 98000 пуд.; вѣсъ прутьевъ съ гайками 3580 пуд.; вѣсъ полотна 153500 пуд., изъ нихъ дерева 130000 пуд., желѣза—10200 пуд., чугуна—13300 пуд. Подвижная нагрузка принята въ 60 пудовъ на квадр. саж. Слѣдовательно, собственный вѣсъ составляетъ 2,2 пуд. на квадр. футъ полотна, а подвижной грузъ 1,22 пуда на квадр. футъ. Въ настоящее время деревянныя поперечныя и продольныя балки замѣнены металлическими; тротуары размѣщены съ внутренней стороны цѣпей, мостовое полотно приподнято, такъ что средняя часть цѣпи находится ниже полотна.

6) *Висячій мостъ* (построенный *Clark*'омъ) *въ Буда-Пештѣ*; пролеты: 86,7 м. + 207,0 м. + + 86,7 м.; двѣ цѣпи на взаимномъ разстояніи 9,00 м.; разстояніе между привѣсными прутьями 1,80 м.; ширина экипажнаго проѣзда 7,36 м. и каждаго изъ тротуаровъ—1,84 м.; мостовое полотно состоитъ изъ торцевыхъ шашекъ на досчатомъ настилѣ; вѣсъ металла на пог. м.—4,700 кил., а на кв. метръ полотна 430 кил.; допущенное напряженіе — $10{,}70\ \frac{\text{кил.}}{\text{mm.}^2}$.

7) *Цѣпной мостъ съ фермой жесткости чрезъ р. Дунай въ Буда-Пештѣ* по проекту Czekelius'a; пролеты: 44,3 м. + 290 м. + 44,3 м.; двѣ цѣпи на взаимномъ разстояніи 20 м.; разстояніе между привѣсными прутьями 6,0 м.; ширина экипажнаго проѣзда 18 м.; торцевая мостовая на бетонѣ и желѣзѣ 3оре; вѣсъ металла 26500 кил. на пог. метръ и 1470 кил. на кв. метръ полотна; допущенное напряженіе $14\ \frac{\text{кил.}}{\text{mm.}^2}$. Этотъ примѣръ, повидимому, показываетъ, что фермы жесткости — невыгодны въ смыслѣ сбереженія матеріала, особенно если сравнить данныя собственнаго вѣса этого моста съ вышеприведенными данными цѣпного моста, построеннаго Clark'омъ — безъ приспособленій, увеличивающихъ жесткость (430 кил. на кв. метръ полотна), или съ данными собственнаго вѣса Питсбургскаго моста (жесткаго цѣпного моста), а также моста Франца-Іосифа въ Буда-Пештѣ 1000 кил. на кв. метръ (системы Гербера, но по внѣшнему виду напоминающаго висячій мостъ).

8) *Строящійся мостъ чрезъ р. Гудзонъ* (по проекту Lindenthal'я) (рис. 73). Двѣ жесткія цѣпи съ подвѣшенными жесткими фермами. Ѣзда въ двухъ ярусахъ—8 желѣзнодорожныхъ путей, 6 путей для электрическихъ трамваевъ, экипажный проѣздъ и тротуары. Ширина полотна 35 м. Средній пролетъ 945 м.; два боковые по 600 м. Стрѣла провѣса $\frac{1}{10}$ въ среднемъ пролетѣ и $\frac{1}{4{,}2}$ въ боковыхъ пролетахъ. Вѣсъ башенъ и закрѣпленій цѣпей—500 кил. на кв. метръ; вѣсъ цѣпей—750 кил. на кв. м.; вѣсъ подвѣсокъ и фермъ жесткости—550 кил. на кв. м.

9) *Мостъ въ Питсбургѣ черезъ р. Мононгаэла съ жесткимъ поясомъ* (рис. 66).

Величина пролета	244 метр.
Стрѣла провѣса	26,84 »
Вѣсъ пролетнаго строенія (балочной системы) крайнихъ пролетовъ	149 тоннъ.
Удерживающія цѣпи	472 »
Привѣсная цѣпь	571 »
Башни (металлическія)	324 »
Жесткій поясъ и рѣшетка	195 »
Поперечныя связи	51 »
Привѣсные прутья	40 »
Проѣзжая часть	161 »
Канаты подъ проѣзжей частью	18 »
Рельсы и пр.	51 »

Всего полный вѣсъ металла 2014 тон. и 566 куб. метр. дерева.

Такимъ образомъ вѣсъ привѣсной цѣпи и привѣсныхъ прутьевъ, жесткаго пояса и рѣшетки:

$$\frac{571 + 195 + 40}{244} = \frac{806}{244} \text{ тон.} = 3{,}309 \text{ кил. на пог. метръ.}$$

Проѣзжей части и связей:

$$\frac{51 + 161 + 18 + 51}{244} = \frac{281}{244} \; 1{,}150 \text{ кил. на пог. метръ.}$$

Удерживающихъ цѣпей и башенъ:

$$\frac{472 + 324}{244} = \frac{796}{244} = \frac{3100}{7550} \text{ кил. на пог. метръ.}$$

Подвижная нагрузка 2,400 кил. на пог. метръ.

б) Проволочные висячіе мосты.

1) *Мостъ Фрейбургскій въ Швейцаріи.* Пролетъ 265,2 метра = 124,64 саж.; 8 канатовъ; ширина полотна 6,46 метра = 3,04 саж.; полный собственный вѣсъ моста 300000 килограм., временный грузъ 160000 килограм. (по 100 килогр. на квадр. метръ).

2) *Мостъ въ Roche-Bernard.* Пролетъ 193,17 метра = 90,79 саж.; 4 каната; ширина полотна 4,72 + 1,38 = 6,1 метра = 2,87 саженъ.

Вѣсъ канатовъ на погонный метръ	400,74 кил.
Вѣсъ полотна и прутьевъ	1039,26 »
Временной грузъ	1180,00 »
	2620,00 кил.

на погон. метръ полотна.

3) По даннымъ *Roebling*'а *), полный вѣсъ *Бруклинскаго моста черезъ East-River въ Нью-Іоркѣ* (рис. 72) съ четырьмя кабелями выражается такъ:

	Полный вѣсъ моста на длину 1600 ф. + + 2 × 930 ф. = = 3460 ф.	Вѣсъ главнаго средняго пролета (1600 ф.).
	тон.	тон.
Проѣзжая часть (метал.)	6620	3050
Привѣсные прутья, ванты и пр.	1180	560
Кабели	3460	1600
Деревянное мостовое полотно	2760	1230
Рельсы и проч.	660	300
Полная постоянная нагрузка	14680	6740
Подвижная нагрузка	3100	1380
Всего	17780	8120

Вѣсъ проволокъ въ одномъ кабелѣ: 1732086 фунт.; площадь сѣченія одного кабеля 144,8 кв. дюйм. Сопротивленіе, представляемое однимъ кабелемъ, считая временное сопротивленіе въ 170000 фунт. или 4250 пуд. на кв. дюймъ,—24621780 фунт. Предѣлъ упругости: 47% отъ временного сопротивленія, что соотвѣтствуетъ коэффиціенту упругости въ 700000 пуд. на кв. дюймъ.

*) Acts of the State of New-Iork in relation to the Brooklyn Bridge. 1868—1884. New-Iork

Здѣсь обращаетъ на себя вниманіе незначительная расчетная подвижная нагрузка. Полная ширина моста—84′, а чистая ширина проѣзда—всего 78′5″ (два проѣзда для экипажей—по 18′9″; два проѣзда для конножелѣзной дороги—по 12′8″ и одинъ для пѣшеходовъ—15′7″). Слѣдовательно, нагрузка на квадрат. футъ полотна:

$$\frac{3{,}100 \text{ тон.} \times 61}{3{,}460 \times 78{,}5} = 0{,}7 \text{ пуд.}$$

Полная постоянная нагрузка составляетъ на кв. футъ полотна:

$$\frac{14{,}680 \times 61}{3{,}460 \times 84} = 3{,}08 \text{ пуд.}$$

4) Приведемъ еще основныя данныя относительно трехъ большихъ проволочныхъ висячихъ мостовъ подъ желѣзную дорогу въ Америкѣ. (Lavoinne et Pontzen. Les chemins de fer en Amerique):

НАЗВАНІЯ.	Ніагарскій мостъ двухъярусный (нынѣ разобранный) (рис. 69).	Мостъ чрезъ р. Ohio близъ Цинцинати.	Мостъ чрезъ East-River въ Нью-Іоркѣ.
Общія данныя.			
Длина: главнаго пролета	250 м.*)	322 м.	486,3 м.
Длина: боковыхъ пролетовъ	—	90	283,5
Длина: въѣздовъ	—	—	296 и 476
Общая ширина	7,30	10,98	25,92
Свободная высота надъ уровнемъ низкихъ водъ	67	30,5	25,92
Вѣсъ проѣзжей частн.: на пог. метръ	3000 кгр.	3300 кгр.	10000 кгр.
Вѣсъ проѣзжей частн.: на кв. метръ полотна	235 **)	300	417
Подвижная нагрузка: на пог. метръ	2500	1650	3300
Подвижная нагрузка: на кв. метръ полотна	172	150	137,5
Вѣсъ канатовъ на пог. метръ	1500	1000	2826
Полный вѣсъ съ нагрузкой на пог. метръ.	7000	5950	16126
Привѣсный канатъ.			
Металлъ	жел. пров.	жел. пров.	стальн. пров.
Число главныхъ канатовъ (кабелей)	4	2	4
Стрѣла провѣса	20 и 16,25 м.	27 м.	39 м.
Отношеніе стрѣлы къ пролету	$\frac{1}{12{,}5}$ и $\frac{1}{15}$	$\frac{1}{12}$	$\frac{1}{12{,}5}$
Уклонъ привѣсныхъ прутьевъ относительно вертикали	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{7}$	$\frac{1}{20}$
Высота опорныхъ точекъ надъ полотномъ	24,40 м.	39,65 м.	42 м.
Діаметръ главныхъ канатовъ	0,254 м.	0,313 м.	0,400 м.
Число: отдѣльныхъ прядокъ	49	7	19
Число: проволокъ въ прядкѣ	19	370	331
Число: всего проволокъ въ главномъ канатѣ	931	2590	6289
Діаметръ проволокъ	3,4 мм.	3,4 мм.	4,3 мм.
Вѣсъ проволокъ на пог. метръ	0,085 кил.	0,085	0,106 кил.
Площадь всѣхъ проволокъ	1560 кв. сант.	1078 кв. сант.	3450 кв. сант.
Усиліе въ пониженной точкѣ каната	3062 т.	2874 т.	11490 т.
Наибольшее напряженіе на кв. мм.	19,6 кил.	26,7 кил.	33,3 кил.

*) На стр. 31 (строка 6 сверху) ошибочно помѣщено 270 м.
**) На кв. м. полотна одного яруса.

НАЗВАНІЯ.	Ніагарскій мостъ двухъярусный (нынѣ разобран.).	Мостъ чрезъ р. Ohio въ Цинцинати.	Мостъ чрезъ East River въ Нью-Іоркѣ.
Временное сопротивленіе разрыву . . .	70 кил./мм².	71 кил./мм².	112,5 кил./мм².
Предѣлы упругости	35,2 кил./мм².	35,3	52,8 кил./мм².
Коэффиціентъ запаса	3,57	2,66	3,38
Ванты.			
Число вантъ у каждаго каната	2 × 8	2 × 10	2 × 35
Средняя длина вантъ	52 м.	64	95 м.
Часть пролета, не имѣющая вантъ . . .	0,40	0,45	0,34
Удерживающіе канаты.			
Число	56	—	—
Полное сѣченіе	600 кв. с.	1177 кв. с.	1681 кв. с.
Наибольшее напряженіе	13 кил./мм².	12 кил./мм².	17 кил./мм².
Временное сопротивленіе разрыву . . .	35 кил./мм².	35 кил./мм².	56 кил./мм².

5) Согласно проекту, составленному для проволочнаго висячаго моста черезъ р. Дунай въ Буда-Пештѣ, пролетомъ 313 метровъ, при стрѣлѣ провѣса въ 27,5 метр. и ширинѣ проѣзжей части въ 16,3 метра, при чемъ на тротуары отведено по 3 метра съ каждой стороны, при устройствѣ полотна проѣзжей части изъ торцовой мостовой на бетонѣ, уложенномъ на волнистомъ желѣзѣ, вѣсъ металла опредѣлился въ слѣдующемъ количествѣ:

проволочный кабель	1428 тонн.
удерживающія цѣпи	250 »
опорныя подушки	324 »
привѣсные прутья и ферма жесткости	1894 »
полотно и перила	1399 »
Итого	5295 тонн.

или 615 кил. на кв. м. полотна, не считая деревянной мостовой и бетона.

Изъ приведенныхъ примѣровъ можно вывести, какъ среднее, что для висячихъ мостовъ подъ обыкновенную дорогу постоянная нагрузка, включая и мостовое полотно, составляетъ на квадрат. метръ полотна отъ 200 до 500 килограм.; для двухъярусныхъ мостовъ подъ обыкновенную и желѣзную дорогу для пролетовъ въ 250 метр. около 550 килограммовъ.

Вообще для предварительнаго расчета не слѣдовало бы брать менѣе 400—500 килограм. на квадрат. метръ, или 2,4 — 3,0 пуд. на квадрат. футъ.

Каменныя пролетныя части.

Вѣсъ мостовой и забутки опредѣлится изъ условій заданія, а собственный вѣсъ свода, при данномъ матеріалѣ, опредѣлится изъ размѣровъ, найденныхъ предварительно по эмпирическимъ формуламъ.

а) По *Heinzerling*'у для *желѣзнодорожныхъ* мостовъ при толщинѣ балластнаго слоя въ 0,5 метра,—постоянная нагрузка составляетъ 1100 килограммовъ на *квадратный метръ*; по другимъ даннымъ—5580 килограммовъ на *погонный метръ* пути.

Для мостовъ подъ *обыкновенную* дорогу при щебеночной мостовой постоянная нагрузка составляетъ около 600 килограммовъ, а при каменной мостовой—около 1000 килограммовъ на *квадратный метръ* моста. При ширинѣ проѣзжей части въ 5 метр., съ банкетами шириною по 1 метру, при толщинѣ слоя въ 25 сантиметровъ, съ перилами и проч., собственный вѣсъ на *погонный метръ* можно принять около 8000 килограммовъ.

б) По *Rölle* если d — толщина свода въ ключѣ въ метр.; h — толщина забутки, песку и мостовой, k—подвижная нагрузка въ тоннахъ на кв. м. полотна моста подъ желѣзную или обыкновенную дорогу, то собств. вѣсъ въ тоннахъ на кв. м. полотна $p = 2h + 2{,}5\,d + k$—при каменныхъ сводахъ и $p = 2\,(h + d) + k$—при кирпичныхъ сводахъ . . . . . (87)

Толщина свода d, если r — радіусъ кривизны въ ключѣ, можетъ быть опредѣлена по формуламъ:

d метр. $= 0{,}39 + 0{,}025r$ — для тесовыхъ сводовъ.

d метр. $= 0{,}43 + 0{,}028r$ — для кирпичныхъ сводовъ.

d метр. $= 0{,}48 + 0{,}031r$ — для сводовъ изъ приколотыхъ камней (Перронэ).

d метр. $= 0{,}33 + 0{,}035\,l$ — для тесовыхъ сводовъ (Rankine), гдѣ l — отверстіе въ метрахъ.

$d = 0{,}191\,\sqrt{r}$ и т. д.

$$d = \frac{(p + k)\,.\,r}{R - 0{,}5\,(p + k)},$$

гдѣ p и k — постоянная и подвижная нагрузки на кв. метръ полотна, при чемъ p—выражаетъ постоянную нагрузку въ *ключѣ* свода, R — коэффиціентъ допускаемаго напряженія.

Затѣмъ k — для *желѣзнодорожныхъ* моетовъ, при величинѣ пролета до 50 м.

$$k = \left(5 + \frac{30}{l}\right)\frac{1 + h}{1{,}5 + 3h}$$ тонны на кв. метръ полотна,

для мостовъ подъ *обыкновенную* дорогу — при легкихъ фурахъ:

$$k = \left(1 + \frac{10}{l}\right)\frac{1 + h}{0{,}2 + 3h}$$ тонны;

тоже при тяжелыхъ фурахъ:

$$k = \left(1 + \frac{4}{l}\right)\frac{(1 + h)}{0{,}2 + 3h}$$ тонны.

Толщина свода въ пятахъ при $f < \frac{l}{4}$:

$$d_1 = d + 0{,}1\,f,$$

гдѣ f—стрѣла подъема.

Въ полуциркульныхъ сводахъ — толщина свода въ швѣ подъ угломъ 30° къ горизонту:

$$d_{II} = d + 0{,}025\,l.$$

Подвижная нагрузка для желѣзнодорожныхъ мостовъ. — Составъ расчетнаго нормальнаго поѣзда въ Россіи и заграницей. — Основанія опредѣленія равномѣрной нагрузки для исчисленія наибольшихъ моментовъ и перерѣзывающихъ усилій и эквивалентной дѣйствію нормальнаго поѣзда. — Таблица равномѣрной нагрузки, эквивалентной дѣйствію нормальнаго (русскаго) поѣзда для опредѣленія моментовъ и перерѣзывающихъ усилій въ однопролетной балкѣ, свободно опирающейся на опоры.—Таблица Крона для эквивалентныхъ желѣзнодорожныхъ нагрузокъ балочныхъ фермъ.—Формулы Винклера для опредѣленія эквивалентныхъ нагрузокъ.—Пользованіе эквивалентными нагрузками разрѣзныхъ балокъ для опредѣленія моментовъ и перерѣзывающихъ усилій въ неразрѣзной балкѣ.—Пріемы опредѣленія эквивалентныхъ нагрузокъ для арочныхъ фермъ.—Таблица Энгессера и Крона нагрузонъ для арочныхъ фермъ, эквивалентныхъ дѣйствію одного изъ заграничныхъ нормальныхъ поѣздовъ.—Формула Винклера эквивалентныхъ нагрузокъ для арочныхъ фермъ.—Опредѣленіе аналитически абсолютнаго max. M въ балочной однопролетной фермѣ отъ системы неизмѣнно связанныхъ сосредоточенныхъ грузовъ.—Примѣры. Та же задача въ случаѣ равныхъ грузовъ на одинановомъ взаимномъ разстояніи.—Признани, указывающіе предѣльное на пролетѣ число равныхъ грузовъ, на одинаковомъ взаимномъ разстояніи, вызывающихъ наибольш. моментъ.— Опредѣленіе абсолютн. max. M при совмѣстномъ дѣйствіи подвижныхъ сосредоточенныхъ грузовъ и постоянной нагрузки. — Примѣры. Та же задача въ случаѣ равныхъ грузовъ на одинаковомъ взаимномъ разстояніи. — Опредѣленіе абсолютнаго наибольшаго перерѣзывающаго усилія. — Опредѣленіе наибольшаго момента и наибольшаго перерѣзывающаго усилія въ данномъ сѣченіи. — Примѣры. Рѣшеніе предыдущихъ задачъ при помощи инфлюэнтной кривой. — Примѣненіе инфлюэнтной кривой для опредѣленія наибольшихъ опорныхъ сопротивленій, моментовъ и перерѣзывающихъ усилій въ данномъ сѣченіи неразрѣзной фермы и фермы Гербера, а также для опредѣленія наибольшихъ опорныхъ сопротивленій (вертикальныхъ и горизонтальныхъ) и наибольшаго момента, продольнаго и поперечнаго усилія въ данномъ сѣченіи арочной фермы.

Подвижная нагрузка для желѣзнодорожныхъ мостовъ.

Составъ нормальнаго поѣзда. Поперечины, продольныя и поперечныя балки расчитываются относительно наибольшаго давленія отъ колесъ паровоза, при чемъ для продольныхъ и поперечныхъ балокъ слѣдуетъ найти для каждаго даннаго случая самое невыгодное расположеніе колесъ паровоза.

Въ виду возможности прохода чужого подвижного состава по данной дорогѣ, слѣдуетъ вообще расчитывать мосты относительно наиболѣе тяжелаго изъ упо-

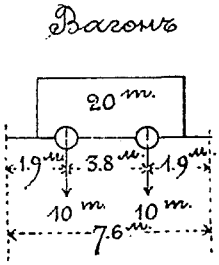
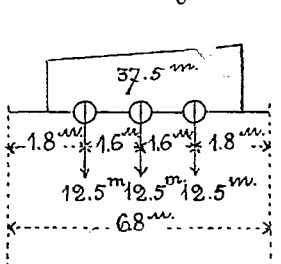


Рис. 330.



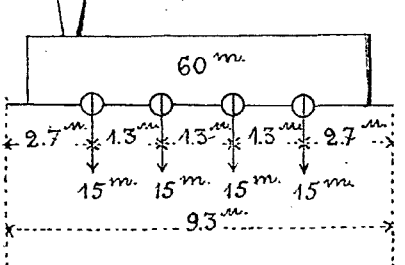


Рис. 331.

требительныхъ типовъ. Наибольшая нагрузка на ось паровоза доходитъ въ нынѣ существующихъ типахъ до 15,00 тоннъ.

Циркуляромъ Министерства Путей Сообщенія отъ 15-го Января 1896 года за № 753 предписано принимать въ основаніе расчетовъ усилій въ составныхъ частяхъ фермъ и проѣзжей части желѣзнодорожныхъ мостовъ нижеуказанные нормальные типы вагона, тендера и паровоза (рис. 330 и 331):

(Мѣры выражены въ метрахъ и тоннахъ).

Поѣздъ предполагается составленнымъ изъ двухъ паровозовъ съ тендерами и

вагонами, расположенными невыгоднѣйшимъ образомъ. Паровозы могутъ быть поставлены въ поѣздѣ врозь или рядомъ, съ трубами въ одну сторону или обращенными одна къ другой. Вагоны могутъ стоять впереди и сзади каждаго паровоза. Необходимо имѣть въ виду возможность разрыва нормальнаго поѣзда *въ одномъ мѣстѣ* и нахожденіе въ нормальномъ поѣздѣ порожнихъ вагоновъ (неразрѣзныя фермы).

При опредѣленіи усилій въ *продольныхъ и поперечныхъ балкахъ*, а равно въ *фермахъ малыхъ пролетовъ* необходимо сдѣлать два параллельныхъ расчета: одинъ въ предположеніи загрузки пролета вышеуказаннымъ поѣздомъ, а другой—

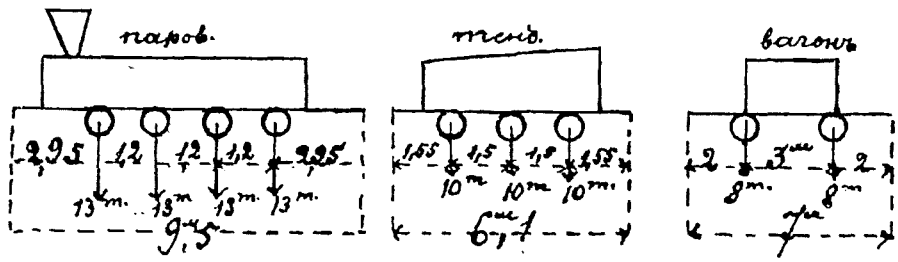


Рис. 332.

въ предположеніи прохода отдѣльной оси съ давленіемъ на пое 20 тоннъ, и затѣмъ изъ двухъ предположеній выбрать невыгоднѣйшее.

Въ другихъ государствахъ установлены слѣдующіе нормальные типы подвижного состава для опредѣленія усилій въ частяхъ мостовой фермы:

Австрія (15 сент. 1887 г.). Нормальный поѣздъ предполагается составленнымъ изъ трехъ четырехосныхъ паровозовъ съ тендерами и изъ ряда груженыхъ вагоновъ нижеуказанныхъ размѣровъ и вѣса (рис. 332).

Для малыхъ пролетовъ нагрузка на ось паровоза принимается въ 14 тон.

Франція (29 авг. 1891 г.). Нормальный типъ поѣзда предполагается состоящимъ изъ двухъ паровозовъ съ тендерами и изъ ряда груженыхъ вагоновъ слѣдующихъ размѣровъ (рис. 333).

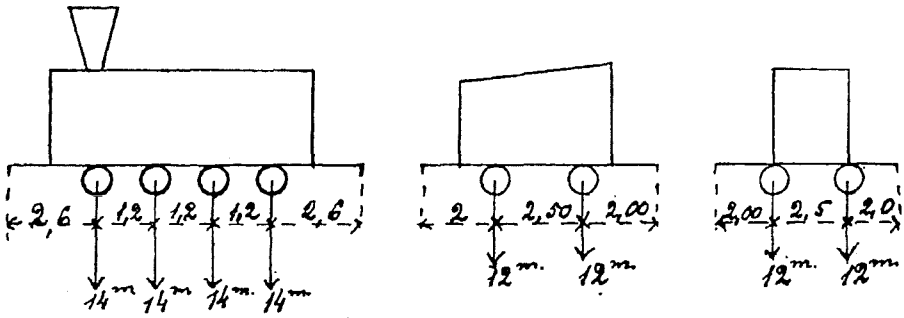


Рис. 333.

Продольныя и поперечныя балки расчитываются въ двухъ предположеніяхъ: а) при загрузкѣ паровозами указанныхъ типовъ и б) при загрузкѣ одной осью съ давленіемъ въ 20 тоннъ.

Швейцарія (19 авг. 1892 г.). Нормальный поѣздъ состоитъ изъ трехъ паровозовъ съ тендерами и изъ ряда груженыхъ вагоновъ, имѣющихъ размѣры, указанные на рис. 334.

Саксонія (окт. 1893 г.). Нормальный поѣздъ состоитъ изъ двухъ тендеръ-паровозовъ (въ 6 осей) съ нагрузкой на ось въ 15 тоннъ и изъ ряда двухосныхъ товарныхъ вагоновъ (рис. 335).

Кромѣ того дѣлается повѣрка на нагрузку *однимъ* сосредоточеннымъ грузомъ (Einzellast) въ 20 тоннъ. Въ кривыхъ частяхъ пути принимается въ расчетъ неодинаковая нагрузка обѣихъ фермъ при большой и малой скорости (малая скорость = 0), предполагая въ такомъ случаѣ, что центръ

тяжести поѣзда перемѣщается въ сторону пониженнаго рельса. Если s — ширина пути; h — возвышеніе наружнаго рельса; $a = \frac{l^2}{8R}$ — стрѣла дуги; b — разстояніе между объими фермами;

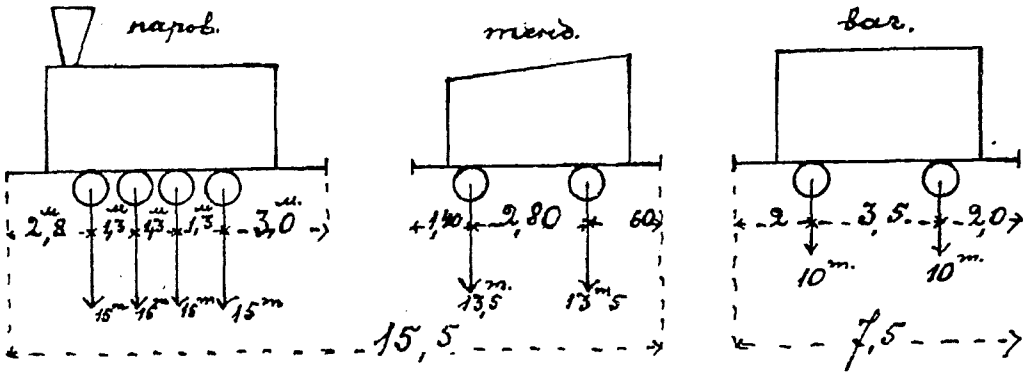


Рис. 334.

H — возвышеніе центра тяжести паровоза надъ уровнемъ рельсовъ,—около 1,6 метра; M и $\mathfrak{M}$ — моментъ и перерѣзывающее усиліе на прямомъ участкѣ при нагрузкѣ, отнесенной на погонную

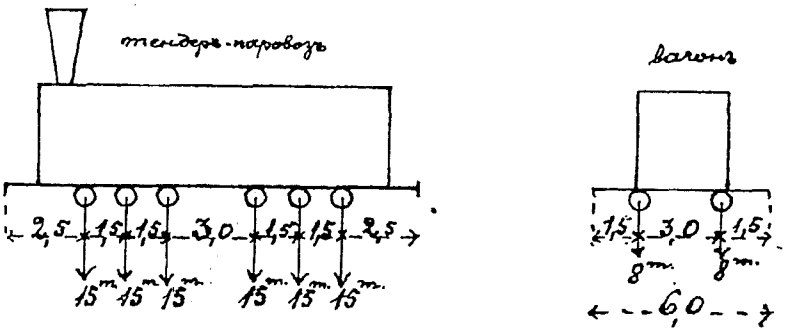


Рис. 335.

единицу пути, то, если ось пути расположена симметрично относительно оси моста, имѣемъ для наружной фермы при наибольшей скорости:

$$M' = M\left(\frac{1}{2} + \frac{a}{3b}\right);\quad \mathfrak{M}' = \mathfrak{M}\left(\frac{1}{2} + \frac{a}{6b}\right),$$

для внутренней фермы при скорости $V = 0$:

$$M'' = M\left(\frac{1}{2} - \frac{a}{3b} + \frac{h}{s}\cdot\frac{H}{b}\right);\quad \mathfrak{M}'' = \mathfrak{M}\left(\frac{1}{2} - \frac{a}{6b} + \frac{h}{s}\cdot\frac{H}{b}\right).$$

Объ фермы должны быть одинаковаго сѣченія и расчитываются по наибольшему изъ двухъ значеній: M и $\mathfrak{M}$ *).

---

*) Выводъ этихъ формулъ не приведенъ. Слѣд., расчетъ повидимому показываетъ, что коэффиціенты при M должны быть такіе же, какъ при $\mathfrak{M}$. Дѣйствительно (см. расчетъ профѣзжей части):

Если D (рис. 336) — давленіе на каждую изъ фермъ на прямомъ участкѣ пути, а D'_1 и D'_2 — давленія на фермы — на наружной и внутренней кривой, то:

$$D'_1 = D\left(1 - \frac{ks}{b} + \frac{2x}{b}\right),$$

$$D'_2 = D\left(1 + \frac{ks}{b} - \frac{2x}{b}\right),$$

Пруссія (сент. 1895 г.). Поѣздъ состоитъ изъ двухъ паровозовъ съ тендерами и изъ ряда двухосныхъ вагоновъ слѣдующихъ размѣровъ (рис. 338).

При опредѣленіи усилій въ балкахъ пролетомъ менѣе: $l = 3{,}3$ м., а также въ продольныхъ и поперечныхъ балкахъ — дѣлается повѣрочный расчетъ на нагрузку одной осью съ давленіемъ въ

гдѣ:
$$k = \left(\frac{h}{s} - \frac{v^2}{gR}\right)\frac{2H}{s},$$

$\pm x$ — перемѣнное разстояніе оси пути отъ оси моста въ сторону возвышеннаго или понпженнаго рельса. Въ данномъ случаѣ предполагается, что кривая расположена симметрично,

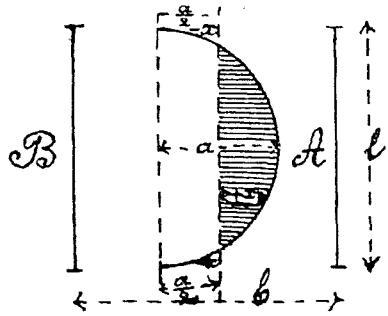


Рис. 336.

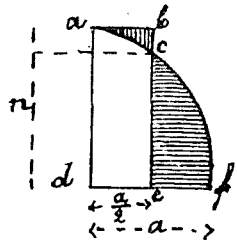


Рис. 337.

т. е. ось моста, параллельная хордѣ, проходитъ чрезъ середину стрѣлы a — кривой. Слѣдовательно наружная ферма A будетъ нагружена не равномѣрной нагрузкой q, а перемѣнной q', измѣняющейся по закону:
$$q' = q\left(1 - \frac{ks}{b} + \frac{2x}{b}\right),$$

а внутренняя ферма B будетъ подвержена перемѣнной нагрузкѣ:
$$q'' = q\left(1 + \frac{ks}{b} - \frac{2x}{b}\right).$$

Вставляемъ новыя обозначенія и, замѣчая, что въ циркулярѣ Саксонскаго правительства нагрузка отнесена на путь, ставимъ $\frac{q}{2}$ вмѣсто q.

Преобразуемъ сначала q'. Для наружныхъ фермъ предполагается, что скорость наибольшая $v = v_0$, при чемъ слѣдовательно:
$$h = \frac{v_0^2 s}{gR},$$

и тогда $k = 0$; поэтому:
$$q' = \frac{q}{2}\left(1 + \frac{2x}{b}\right).$$

Вставимъ вмѣсто x нѣкоторое среднее его значеніе.

Замѣчаемъ, что x измѣняется отъ $-\frac{a}{2}$ до 0, затѣмъ отъ 0 до $+\frac{a}{2}$; далѣе отъ $+\frac{a}{2}$ до 0 и наконецъ отъ 0 до $-\frac{a}{2}$.

Легко видѣть, что среднее значеніе x при небольшихъ a довольно близко равно $+\frac{a}{6}$.

Дѣйствительно:

Если принять дугу acf за параболу (рис. 337), то площадь
$$cef = \frac{2}{3}\,ef \times ce = \frac{2}{3}\cdot\frac{a}{2}\cdot\frac{n}{2} = \frac{an}{6}.$$

Площадь фигуры abc, если принять ее безъ большой погрѣшности за треугольникъ:
$$ab \times \frac{bc}{2}. \text{ Но } ab = \frac{a}{2};\ bc = be - ce = n - ce;$$
$$ce = \sqrt{\frac{a}{2}\cdot\left(2R - \frac{a}{2}\right)},$$

16 тонн, а также на нагрузку двумя осями съ давленіемъ въ 14 тонн при взаимномъ разстояніи осей въ 1,4 метра.

Основанія опредѣленія эквивалентной сплошной нагрузки для моментовъ и перерѣзывающихъ усилій въ однопролетной балкѣ, свободно опирающейся на

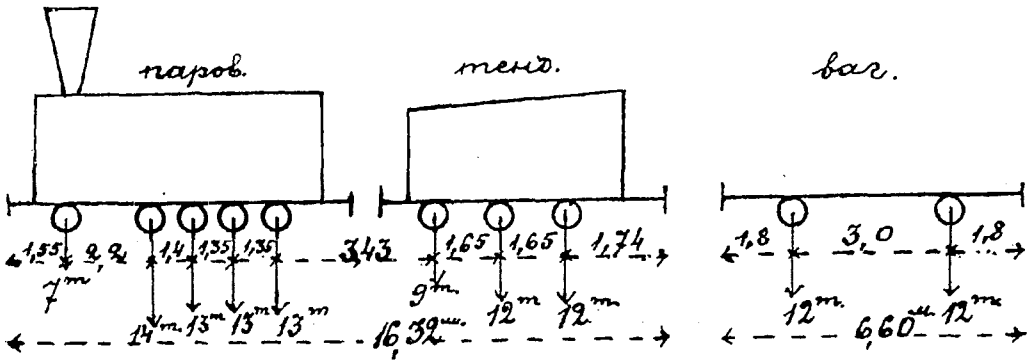


Рис. 338.

опоры. Вычисленіе моментовъ и перерѣзывающихъ усилій для опредѣленія усилій въ поясахъ и въ сквозномъ заполненіи фермъ большихъ пролетовъ значительно упрощается, когда мостъ подверженъ дѣйствію сплошной нагрузки. На этомъ основаніи иногда замѣняютъ дѣйствіе поѣзда равнозначащей ему сплошной равномѣрно распредѣленной нагрузкой.

или

$$ce = \sqrt{aR}\,.$$

Съ другой стороны:

$$ad = \sqrt{a\,(2R - a)},$$

или:

$$ad = n = \sqrt{2aR} = ce\,\sqrt{2} = 1{,}414\ ce.$$

Слѣдовательно:

$$bc = n - ce = 0{,}4\,.\,ce = \frac{0{,}4}{1{,}414}\,n = 0{,}28\ n.$$

Поэтому площадь:

$$abc = \frac{ab \times bc}{2} = \frac{a}{2} \cdot 0{,}14\ n = 0{,}070\ n.$$

Въ дѣйствительности эта площадь еще менѣе.

Пренебрегая ею по сравненіи съ $\frac{an}{6}$, получимъ, что средняя ордината на погонную единицу протяженія n, составляетъ: $\frac{an}{6\,.\,n} = \frac{a}{6}$.

Тогда:

$$q' = \frac{q}{2}\left(1 + \frac{2a}{6b}\right) = q\left(\frac{1}{2} + \frac{a}{6b}\right),$$

а такъ какъ $\mathfrak{B}$ и M пропорціональны q', то

$$\mathfrak{B}' = \mathfrak{B}\left(\frac{1}{2} + \frac{a}{6b}\right) \text{ и } M' = M\left(\frac{1}{2} + \frac{a}{6b}\right).$$

Переходимъ теперь къ преобразованію выраженія q''.

Для внутренней кривой предполагается скорость $v = 0$, слѣдовательно:

$$k = \frac{h}{s} \cdot \frac{2H}{s} = \frac{2Hh}{s^2}.$$

Поступаютъ такимъ образомъ:

Найдя для даннаго сѣченія пролета наибольшій изъ всѣхъ возможныхъ сгибающихъ моментовъ и наибольшія положительныя и отрицательныя перерѣзывающія усилія, *вызываемыя нормальнымъ поѣздомъ*, опредѣляютъ затѣмъ расчетомъ такія сплошныя нагрузки, которыя, будучи расположены соотвѣтственнымъ образомъ, вызываютъ въ томъ же сѣченіи тѣ же наибольшій моментъ и наибольшія положительныя и отрицательныя перерѣзывающія усилія.

Такъ напр., если разсмотримъ *разрѣзную* однопролетную балку пролетомъ l и если назовемъ чрезъ k — сплошную нагрузку, вызывающую въ данномъ сѣченіи $x = b$ наибольшій моментъ max. M, а черезъ k' и k'' — сплошныя нагрузки, соотвѣтствующія наибольшимъ положительнымъ: $+$ max. $\mathfrak{B}$ и наибольшимъ отрицательнымъ: — max. $\mathfrak{B}$ перерѣзывающимъ усиліямъ въ томъ же сѣченіи, то имѣемъ слѣдующія выраженія для: $+$ max. M, $+$ max. $\mathfrak{B}$ и — max. $\mathfrak{B}$.

$$\text{max. } M = \frac{kb}{2}(l - b) \quad \ldots\ldots\ldots \quad (a)$$

$$+ \text{ max. } \mathfrak{B} = + \frac{k'(l-b)^2}{2l} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (б)$$

$$- \text{ max. } \mathfrak{B} = - \frac{k''b^2}{2l} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (в)$$

Приравнявъ эти выраженія наибольшему моменту и наибольшимъ полож. и отрицательнымъ перерѣзывающимъ усиліямъ, вызваннымъ въ данномъ сѣченіи $x = b$ нормальнымъ поѣздомъ, найдемъ соотвѣтственныя значенія k, k' и k''.

Во избѣжаніе недоразумѣнія въ будущемъ условимся обозначать чрезъ $+$ max. $\mathfrak{B}$ и — max. $\mathfrak{B}$ наибольшія положительныя и отрицательныя значенія перерѣзывающаго усилія, вызванныя дѣйствіемъ *одной* только подвижной нагрузки. Такъ напр. для разрѣзной балки имѣемъ въ этомъ случаѣ вышеприведенныя формулы (*б*) и (*в*). Если же разсматривать одновременное дѣйствіе *постоянной* и *подвижной* нагрузокъ, то чрезъ max. $\mathfrak{B}$ (безъ знака) будемъ обозначать *наибольшія положительныя* и *наименьшія отрицательныя* значенія перерѣз. усилій:

$$\text{max. } \mathfrak{B} = p\left(\frac{l}{2} - b\right) + \frac{k'(l-b)^2}{2l} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (б')$$

а чрезъ min. $\mathfrak{B}$ (безъ знака) — *наибольшія отрицательныя* и *наименьшія положительныя значенія перерѣзывающихъ усилій*:

$$\text{min. } \mathfrak{B} = p\left(\frac{l}{2} - b\right) - \frac{k''b^2}{2l} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (в')$$

(См. стр. 128 и 129 и рис. 216).

Тогда:

$$q'' = \frac{q}{2}\left(1 + \frac{ks}{b} - \frac{2x}{b}\right) = \frac{q}{2}\left(1 + \frac{2Hh}{s^2}\cdot\frac{s}{b} - \frac{2x}{b}\right) = \frac{q}{2}\left(1 + \frac{2Hh}{sb} - \frac{2x}{b}\right).$$

Вставляя вмѣсто x значеніе $x = + \frac{a}{6}$, получимъ:

$$q'' = q\left(\frac{1}{2} + \frac{Hh}{5.b} - \frac{a}{6b}\right).$$

Поэтому, на основаніи предъидущаго:

$$M'' = M\left(\frac{1}{2} - \frac{a}{6b} + \frac{h}{s}\cdot\frac{H}{b}\right),$$

$$\mathfrak{B}'' = \mathfrak{B}\left(\frac{1}{2} - \frac{a}{6b} + \frac{h}{s}\cdot\frac{H}{b}\right).$$

Очевидно, что формула (*б*) можетъ давать только положительные результаты, формула (*в*)— исключительно отрицательные результаты; между тѣмъ, если разсматривать совмѣстное дѣйствіе постоянной и подвижныхъ нагрузокъ, то не смотря на то, что подвижная нагрузка будетъ расположена такъ, чтобъ она одна вызывала наибольшее положительное или наибольшее отрицательное значеніе перерѣзыв. усилія—совокупное съ постоянной нагрузкой дѣйствіе можетъ вызывать либо положительныя, либо отрицательныя значенія перерѣзывающаго усилія; все будетъ зависѣть отъ положенія сѣченія $x = b$ и отъ относительнаго значенія нагрузокъ p и k', p и k''. (См. рис. 216).

То же замѣчаніе будетъ относиться и къ неразрѣзнымъ фермамъ, къ фермамъ Гербера, арочнымъ и проч. — гдѣ въ данномъ сѣченіи не только перерѣзывающія усилія, но и моменты — могутъ быть противоположныхъ знаковъ.

Для неразрѣзныхъ балокъ аналитическія выраженія: $\pm$ max. M, $\pm$ max. $\mathfrak{B}$ — иныя въ зависимости отъ иоложенія сѣченія. Такъ напр. еслибъ мы имѣли *неразрѣзную* двухпролетиую балку съ равными пролетами, то для сѣченія $x = b$, въ нервомъ пролетѣ если $b < 0{,}8\,l$ аналитическія выраженія $+$ max. M, $-$ max. M, $+$ max. $\mathfrak{B}$ и $-$ max. $\mathfrak{B}$ слѣдующія: (См. выводъ въ отдѣлѣ о неразрѣзиыхъ балкахъ).

$$+\ \text{max. } M = \frac{kb}{2}\left(\frac{7}{8}\,l - b\right) \text{ (рис. 338′)} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (г)$$

$$-\ \text{max. } M = -\frac{kbl}{16} \text{ рис. (338″)} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (д)$$

$$+\ \text{max. } \mathfrak{B} = k'\left[\frac{7}{16}\,l - b\left(1 - \frac{5}{8}\,\frac{b}{l} + \frac{1}{16}\,\frac{b^3}{l^3}\right)\right] \text{ рис. (338‴)} \quad . \quad . \quad (е)$$

$$-\ \text{max. } \mathfrak{B} = -k''\left[\,b\left(\frac{5}{8}\,\frac{b}{l} - \frac{b^3}{16\,l^3}\right) + \frac{l}{16}\right] \text{ (рис. 338}^{\text{IV}}\text{)}. \quad . \quad . \quad (ж)$$

Слѣд., приравнявъ эти выраженія численнымъ значеніямъ $+$ max. M, $-$ max. M, $+$ max. $\mathfrak{B}$ и $-$ max. $\mathfrak{B}$, вызваннымъ даннымъ поѣздомъ,—мы опре-

Рис. 338′.



Рис. 338″.

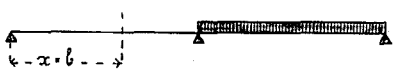


Рис. 338‴.



Рис. 338$^{\text{IV}}$

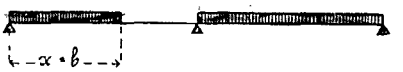


Рис. 339.

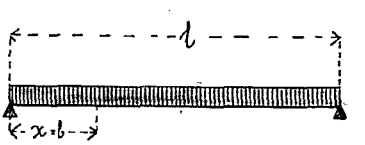
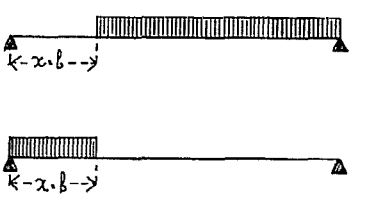


Рис. 340.



дѣлили бы для k соотвѣтственныя значенія k, k' и k'', при чемъ для k получилось бы два значенія — одно для расположенія нагрузки, отвѣчающее $+$ max. M, а другое для положенія нагрузки при $-$ max. M.

Замѣтимъ, что въ *разрѣзныхъ балкахъ* при сплотной нагрузкѣ max. M соотвѣтствуетъ полной загрузкѣ пролета; $+$ max. $\mathfrak{B}$ — получается, когда загружена часть пролета отъ разсматриваемаго сѣченія до правой опоры, а $-$ max. $\mathfrak{B}$ — когда загружена часть пролета отъ разсматриваемаго сѣченія до лѣвой опоры. (Рис. 339, 340 и 341).

(Если ищется для даннаго сѣченія наибольшео абсолютное значеніе перерѣзывающаго усилія, нсзависимо отъ знака, формулы (*б*) и (*в*) показываютъ, что еслибы вообще $k' = k''$, то для сѣченія, взятаго въ *лѣвой* половинѣ пролета — наибольшимъ перерѣзывающимъ усиліемъ будетъ: + max. $\mathfrak{B}$, а для сѣченія въ *правой* половинѣ: — max. $\mathfrak{B}$, т. е. въ обоихъ случаяхъ должна быть загружена часть пролета отъ разсматриваемаго сѣченія до *наиболѣе удаленной* опоры). Въ виду же того, что за исключеніемъ $x = \frac{l}{2}$, k' не равно k'' — то *иногда* для нѣкоторыхъ сѣченій вблизи середины пролета, отъ этого правила бываютъ отступленія.

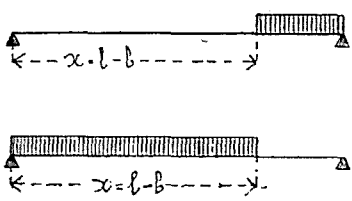


Рис. 341.

Сдѣлавъ по формуламъ (*а*), (*б*) и (*в*) вычисленія для нѣсколькихъ сѣченій даннаго пролета, найдемъ, что для каждаго сѣченія существуютъ особыя значенія k, k' и k''. Такъ напр., если вычисленныя для *разрѣзной* балки значенія k, k' и k'' откладывать въ видѣ ординатъ, то окажется, что значенія k — убываютъ медленно отъ обѣихъ опоръ къ серединѣ пролета по закону параболы (см. далѣе формулы Винклера); k', имѣющее въ сѣченіи на лѣвой опорѣ значеніе одинаковое съ k — возрастаетъ къ серединѣ пролета и быстро увеличивается во второй половинѣ, достигая значенія ∞ на правой опорѣ, измѣняясь по закону гиперболы (см. далѣе формулы Винклера): k'' — съ значеніемъ ∞ на лѣвой опорѣ, быстро падаетъ къ серединѣ пролета, гдѣ оно приравнивается k' и во второй половинѣ постепенно уменьшается до значенія k (для моментовъ) на правой опорѣ. Обѣ кривыя k' и k'' вполнѣ симметричны, такъ что значеніе k' для $x = b$ равно значенію k'' для $x = l - b$ и т. д. Подобная зависимость между k' и k'' существуетъ лишь для разрѣзныхъ фермъ.

Значеніе k' или k'', равное ∞, отвѣчаетъ тому предѣльному случаю, когда на пролетѣ имѣется только *одинъ* сосредоточенный грузъ, на разстояніи dx отъ опорнаго сѣченія:

$$+ \text{ max. } \mathfrak{B} = \frac{P \cdot dx}{l} = \frac{k'(dx)^2}{2l}$$

$$- \text{ max. } \mathfrak{B} = \frac{P(l - dx)}{l} - P = \frac{k''dx\left(l - \frac{dx}{2}\right)}{l} - k''dx = -\frac{k''(dx)^2}{2l}.$$

Графически это можетъ быть изображено слѣд. образомъ (рис. 342 и 343). Кривая ACB — изображаетъ законъ измѣненія k, а кривыя EDA и FDB — законъ измѣненія k' и k''.

Слѣд., если сѣченіе $x = b$ взято въ лѣвой половинѣ пролета, то для полученія max. M — слѣдуетъ предположить весь пролетъ загруженнымъ равномѣрной нагрузкой k_b. То же значеніе нагрузки будетъ имѣть мѣсто и для сѣченія $x = l - b$. Для полученія въ томъ же сѣченіи + max. $\mathfrak{B}$ — часть пролета отъ сѣченія $x = b$ до правой опоры должна быть загружена нагрузкой k'_b, а для полученія въ томъ же сѣченіи — max. $\mathfrak{B}$ — часть пролета отъ сѣченія $x = b$ до лѣвой опоры должна быть загружена нагрузкой k''_b. Для сѣченія: $x = l - b$, очевидно $k'_{l-b} = k''_b$, $k''_{l-b} = k'_b$ и + max. $\mathfrak{B}_{x=b}$ по численному значенію равенъ: — max. $\mathfrak{B}_{l-b}$ и обратно. Что же касается относительнаго значенія + max. $\mathfrak{B}$ и — max. $\mathfrak{B}$ въ данномъ сѣченіи $x = b$, то это зависитъ отъ значенія b, k' и k''.

Значенія k измѣняются при переходѣ отъ одного пролета къ другому и поэтому они должны быть опредѣлены для различныхъ пролетовъ и при томъ для различныхъ сѣченій. Но благодаря тому, что законъ измѣненія k мало отличается отъ прямой линіи, достаточно опредѣлить для различныхъ пролетовъ значенія k на опорѣ (k_0) и по серединѣ пролета $k_{\frac{l}{2}}$, допуская, что для промежуточныхъ сѣченій значенія k съ достаточною точностью могутъ быть найдены по интерполяціи.

Что касается значеній k' и k'', то казалось-бы, съ перваго взгляда, что и они должны быть опредѣлены для различныхъ пролетовъ и при томъ для нѣсколькихъ сѣченій.

Проф. Л. Д. Проскуряковъ*) доказалъ, что нѣтъ надобности находить значенія k' и k'' для каждаго пролета, такъ какъ чи-

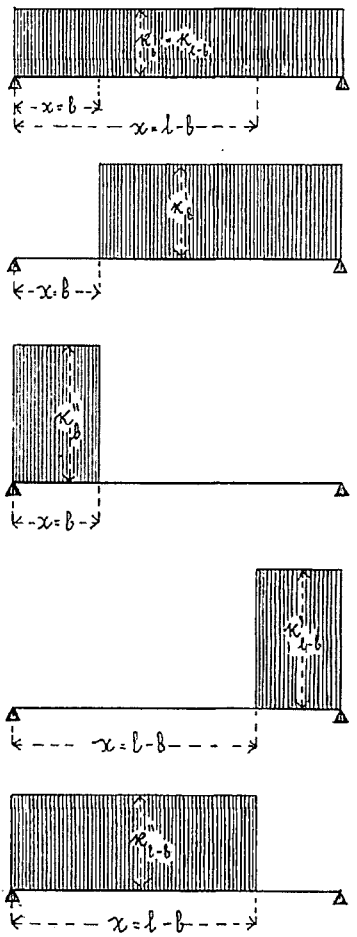


Рис. 343.

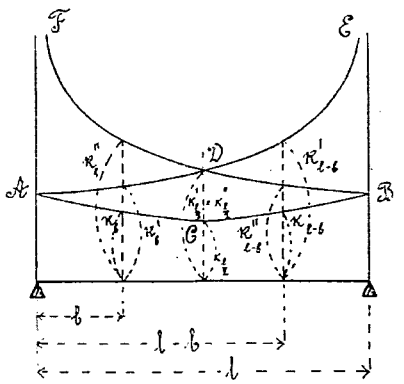


Рис. 342.

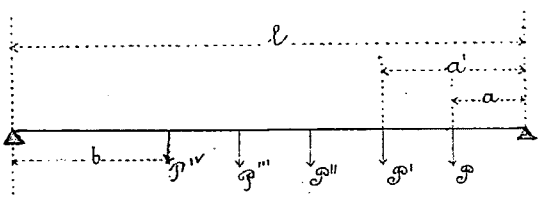


Рис. 344.

сленное значеніе зависитъ не отъ *величины* пролета, а только отъ *длины* загруженной части.

Въ самомъ дѣлѣ, при загрузкѣ правой части пролета наибольшее значеніе перерѣзывающаго усилія отъ сосредоточенныхъ грузовъ выражается формулой вида:

$$+ \max. \mathfrak{B} = A = \frac{\Sigma Pa}{l} \text{ (рис. 344).}$$

Приравнивая это выраженію ($б$), соотвѣтствующему загрузкѣ правой части пролета, найдемъ:

$$k' = \frac{2l}{(l-b)^2} \cdot \frac{\Sigma Pa}{l} = \frac{2\Sigma Pa}{(l-b)^2},$$

*) То же самое доказано у *Schäffer*'a Deutsche Bauzeitung 1876 г. и *Engesser* Zeitschrift für Baukunde 1878 г., стр. 92.

а выражая знаменатель въ функціи *протяженія загруженной части* пролета (рис. 345) (числитель уже выраженъ въ функціи этой величины), найдемъ:

$$k' = \frac{2\Sigma Pa}{m^2} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (88)$$

При загрузкѣ лѣвой части пролета (рис. 346) имѣемъ:

$$-\max.\ \mathfrak{B} = A - \Sigma P = \frac{\Sigma Pa}{l} - \Sigma P = -\left(\Sigma P - \frac{\Sigma Pa}{l}\right).$$

Приравнивая это выраженію (*в*), соотвѣтствующему загрузкѣ лѣвой части пролета, найдемъ:

$$k'' = \frac{2(l\Sigma P - \Sigma Pa)}{b^2}.$$

Выражая числитель *въ функціи протяженій загруженной части* пролета, найдемъ:

$$k'' = \frac{2[l\Sigma P - \Sigma P(l-n)]}{b^2}, \text{ или: } k'' = \frac{2\Sigma Pn}{b^2}, \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (89)$$

то-есть въ обоихъ случаяхъ k' и k'' не зависятъ отъ *величины* пролета, а лишь отъ *протяженія* загруженной части.

Такимъ образомъ k' и k'', какъ упомянуто выше, представляютъ численное значеніе одной и той же функціи; въ одномъ случаѣ это значеніе будетъ выражать (k'), то-есть нагрузку, соотвѣтствующую загрузкѣ правой части пролета больше чѣмъ на половину длины (+ max. $\mathfrak{B}$), а въ другомъ случаѣ это будетъ (k''), то-есть нагрузка при загруженіи лѣвой части пролета менѣе половины длины (— max. $\mathfrak{B}$). Такъ, напримѣръ, при длинѣ загруженной части въ 10 м. исчислена нагрузка въ 10160 кил. Для пролета $l = 15$ м. это будетъ, очевидно, $10160 = k'$ для $x = 5$ м. $= 15 - 10$, а для пролета $l = 40$ м., эта же самая нагрузка будетъ: $10160 = k''$ для $x = 10$ м. Еслибы мы разематривали сѣченіе во второй половинѣ пролета, то для пролета $l = 15$ м. $k'' = 10160$ для $x = 10$ м., а для пролета $l = 40$ м. $k' = 10160$ для $x = 40 - 10 = 30$ м.

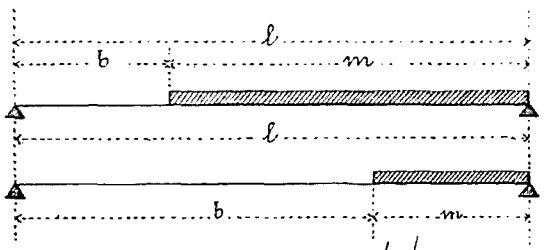


Рис. 345.

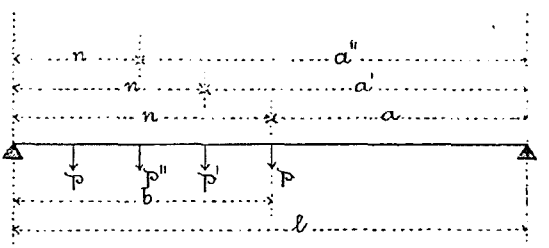


Рис. 346.

Таблица эквивалентныхъ нагрузокъ для разрѣзной фермы, соотвѣтствующихъ циркуляру отъ 16 Января 1896 г. № 753. Для нашего нормальнаго поѣзда вычислены эквивалентныя нагрузки лишь для *разрѣзныхъ* фермъ.

Въ слѣдующей таблицѣ приведены для разрѣзныхъ фермъ эквивалентныя значенія сплошныхъ нагрузокъ для вновь установленнаго нормальнаго поѣзда. Въ таблицѣ помѣщены значенія $k_{\frac{l}{2}}$ *) [въ тоннахъ на погонный метръ пути и

*) Вычисленія сдѣланы въ б. Управленіи казенныхъ дорогъ.

въ пудахъ на погонный футъ пути], для наибольшихъ моментовъ близъ середины пролета для разныхъ пролетовъ, а также значенія k' или k'' **), отвѣчающія наибольшему перерѣзывающему усилію въ зависимости отъ длины загруженной части пролета. Въ таблицѣ выписаны сверхъ того и значенія k_o, соотвѣтствующія наибольшему моменту близъ опоры, которыя, очевидно, будутъ вмѣстѣ съ тѣмъ и значеніями k' или k'' для наибольшаго перерѣзывающаго усилія на опорѣ, т. е. для k'_o и k''_l [что отвѣчаетъ полной загрузкѣ иролета]. Эти значенія k_o, т. е. k_o' и соотвѣтвенно k''_l, очевидно, равны тѣмъ значеніямъ k' или k'', для которыхъ соотвѣтствующая длина загруженной части иролета равна длинѣ разематриваемаго пролета. Такъ напримѣръ, значеніе $k_o = k'_o = k''_l$ для пролета $l = 10$ метр. равно k' или k'', отвѣчающимъ 10 метровой длинѣ загружениой части пролета. Но такое совпаденіе значеній $k_o = k'_o = k''_l$ и k' или k'' — естественно, будетъ только тогда, если въ обоихъ случаяхъ имѣетъ мѣсто одинаковое расположеніе нагрузокъ, что и замѣчается для пролетовъ отъ 1 м. до 13 м. включительно и отъ 30 м. и далѣе.

Для всѣхъ указанныхъ пролетовъ наибольшій моментъ близъ опоры (чему соотвѣтствуетъ k_o) и наибольшее перерѣзывающее уеиліе на опорѣ (чему соотвѣтствуетъ k_o''), требуетъ такого же расположенія отдѣльныхъ сосредоточенныхъ грузовъ, какъ и наибольшее перерѣзывающее усиліе въ промежуточномъ сѣченіи пролета (соотвѣтствующее k'), а именно: во главѣ стоитъ паровозъ, затѣмъ теидеръ, далѣе — второй паровозъ, тендеръ и рядъ вагоновъ.

Для пролетовъ же отъ 14 метр. до 29 метр. включительно, расположеніе нагрузокъ, отвѣчающее наибольшему моменту и перерѣзывающему усилію на оиорѣ, требуетъ, чтобы паровозы были обращены трубами одинъ къ другому, при чемъ теидеръ перваго паровоза предполагается уже за предѣлами пролета.

Такъ, напримѣръ, если длина загруженной части пролета $\lambda = 20$ метр., то для полученія значенія k' необходимо поставить поѣздъ такъ, чтобы во главѣ былъ паровозъ, обращенный трубою впередъ.

По формулѣ

$$k' = \frac{2\,\Sigma P \,.\, a}{m^2},$$

имѣемъ:

$$k' = \frac{2\{15(20+18{,}7+17{,}4+16{,}1)+12{,}5(11{,}6+10+8{,}4)+15(3{,}9+2{,}6+1{,}3)\}}{\overline{20}^2} =$$

$$= \frac{2\,\{15 \times 80 + 12{,}5 \times 30\}}{\overline{20}^2} = 7{,}875 \text{ тон. на пог. метръ пути.}$$

Если теперь взять пролетъ $l = 20$ м. и опредѣлить значенія $k_o = k_o'$, то, поставивъ поѣздъ, какъ указано въ предыдущемъ случаѣ, получили бы, очевидно, $k_o = k_o' = 7{,}875$ тон. на погонный метръ. Поставивъ же поѣздъ такъ, чтобы паровозы были обращены одинъ къ другому трубами, при чемъ теидеръ предполагается уже на устоѣ, получимъ (черт. 347):

$$k_o = k_o' = \frac{2\,\{15\,(20 + 18{,}7 + 17{,}4 + 16{,}1 + 10{,}7 + 9{,}4 + 8{,}1 + 6{,}8)}{\overline{20}^2} +$$

$$+ \frac{12{,}5\,(2{,}3 + 0{,}7)\}}{\overline{20}^2} = 8{,}2275 \text{ тоннъ.}$$

*) Вычисленія сдѣланы въ б. Департаментѣ желѣзныхъ дорогъ.

Равнымъ образомъ, для той же серіи пролетовъ l, заключающихся между 14 м. 29 м. значенія k', опредѣленныя для длины λ загруженной части въ пре-

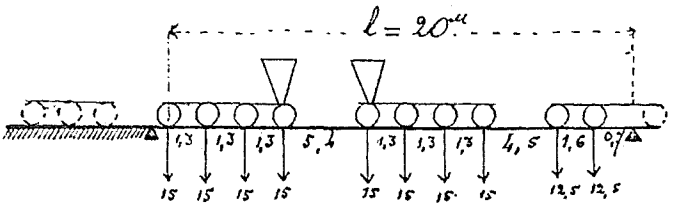


Рис. 347.

дѣлахъ отъ 0 м. до l м. — 4,5 м. (гдѣ 4,5 м. — разстояніе между осями тендера и паровоза) должны быть взяты изъ столбца $k_o = k_o'$ для соотвѣтственнаго пролета.

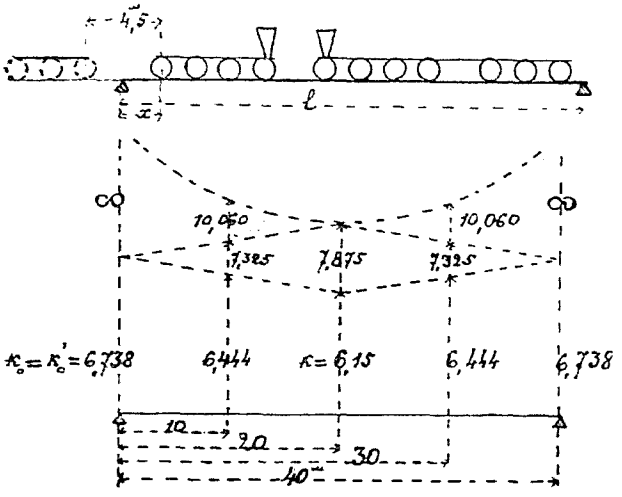


Рис. 348.

Примѣръ. Пусть $l = 40$ м.; тогда значенія k (для моментовъ), считая сѣченія отъ лѣвой опоры, (черт. 348):

для сѣченій $x = 0$; $k_0 = 6{,}738$

» » $x = 10$; $k_{40} = \frac{6{,}738 + 6{,}1500}{2} =$
$= 6{,}444$ [по интерполяціи].

» » $x = 20$; $k = 6{,}1500$

» » $x = 30$; $k_{30} = 6{,}444$

» » $x = 40$; $k_{40} = k_0 = 6{,}738$

Значенія k' и k'' для перерѣзывающихъ усилій, при длинѣ загруженной части:

$\lambda = 0$; $k''_0 = k'_{40} = \infty$ соотвѣт. — max. $\mathfrak{B}$ для $x = 0$ и + max. $\mathfrak{B}$ для $x = 40$;

$\lambda = 10$; $k''_{10} = k'_{30} = 10{,}060$ соотв. — max. $\mathfrak{B}$ » $x = 10$ » + max. $\mathfrak{B}$ » $x = 30$;

$\lambda = 20$; $k''_{20} = k'_{20} = 7{,}875$ » — max. $\mathfrak{B}$ и + max. $\mathfrak{B}$ для $x = 20$;

$\lambda = 30$; $k''_{30} = k'_{10} = 7{,}325$ » — max. $\mathfrak{B}$ для $x = 30$ и + max. $\mathfrak{B}$ для $x = 10$;

$\lambda = 40$; $k''_{40} = k'_0 = (k_0) = 6{,}738$ соот. — max. $\mathfrak{B}$ для $x = 40$ и + max. $\mathfrak{B}$ для $x = 0$.

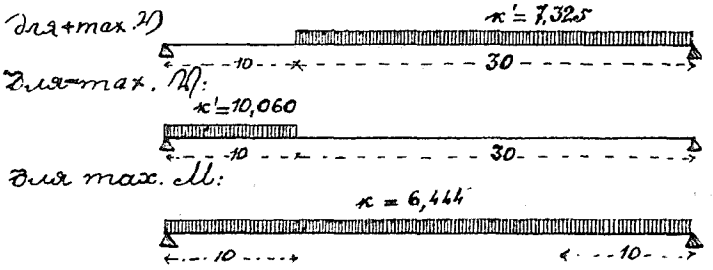


Рис. 348′.

На рис. 348′ изображено положеніе нагрузки для $x = 10$ м., соотвѣтствующее + max. $\mathfrak{B}$, — max. $\mathfrak{B}$ и max. M.

Другой примѣръ: $l = 24$ м. (Пролетъ заключается между предѣлами 14 и 29 м.) (рис. 349). Значенія k (для моментовъ):

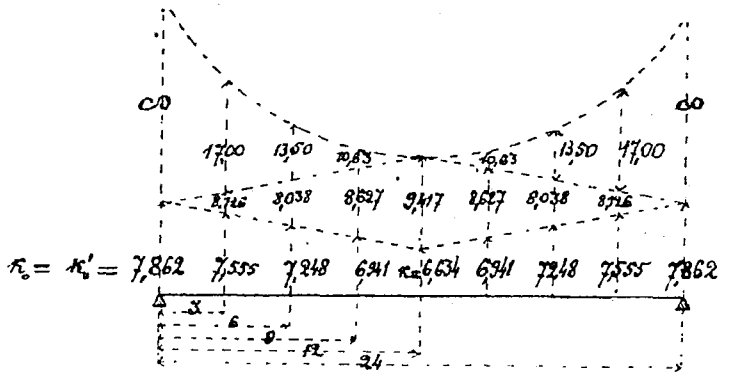


Рис. 349.

для сѣченій: $x = 0$; $k_0 = 7{,}862$ м. [а не 7,656, такъ какъ 14 м. $<$ 24 м. $<$ 29 м.]
» » $x = 3$; $k_3 = 7{,}555$ » } по интерполяціи между значеніями k_0 и k.
» » $x = 6$; $k_6 = 7{,}248$ » }
» » $x = 9$; $k_9 = 6{,}941$ » }
» » $x = 12$; $k = 6.63$ » { по интерполяціи между значеніями для $l = 20$ и $l = 30$.

Значенія k' и k'' (для перерѣзывающихъ усилій).

При длинѣ загруженной части:

$\lambda = 0$; $k''_0 = k'_{24} = \infty$ соотвѣтств. — max. $\mathfrak{B}$ для $x = 0$ и + max. $\mathfrak{B}$ для $x = 24$
$\lambda = 3$; $k''_3 = k'_{21} = 17{,}00$ » — max. $\mathfrak{B}$ » $x = 3$ » + max. $\mathfrak{B}$ » $x = 21$
$\lambda = 6$; $k''_6 = k'_{18} = 13{,}50$ » — max. $\mathfrak{B}$ » $x = 6$ » + max. $\mathfrak{B}$ » $x = 18$
$\lambda = 9$; $k''_9 = k'_{15} = 10{,}63$ » — max. $\mathfrak{B}$ » $x = 9$ » + max. $\mathfrak{B}$ » $x = 15$
$\lambda = 12$; $k''_{12} = k'_{12} = 9{,}417$ » — max. $\mathfrak{B}$ и + max. $\mathfrak{B}$ для $x = 12$;
$\lambda = 15$; $k''_{15} = k'_9 = 8{,}627$ » — max. $\mathfrak{B}$ для $x = 15$ и + max. $\mathfrak{B}$ для $x = 9$
$\lambda = 18$; $k''_{18} = k'_6 = 8{,}038$ » — max. $\mathfrak{B}$ » $x = 18$ » + max. $\mathfrak{B}$ » $x = 6$
$\lambda = 21$; $k''_{21} = k'_3 = 8{,}126$ { [а не 7,857, такъ какъ 24 м. — 21 м. $= 3$ м. менѣе 4,5 м. и соотвѣтствующее — max. $\mathfrak{B}$ для $x = 21$] и + max $\mathfrak{B}$ для $x = 3$.
$\lambda = 24$; $k''_{24} = k'_0 = (k_0) = 7{,}862$ { [а не 7,656, такъ какъ 14 м. $<$ 24 м. $<$ 29 м. и соотвѣтствующ. — max. $\mathfrak{B}$ для $x = 24$ и + max. $\mathfrak{B}$ для $x = 0$.

Слѣдовательно, для сѣченія $x = 3$ м. (рис. 350).

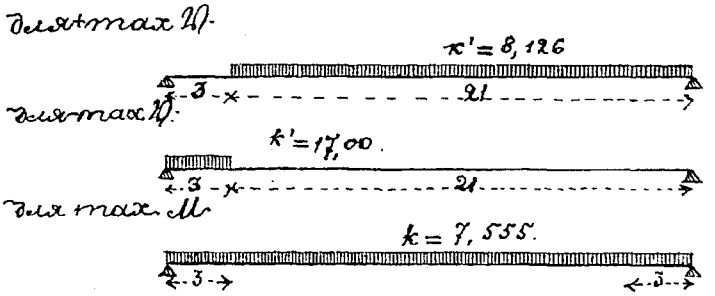


Рис. 350.

ТАБЛИЦА значеній эквивалентной нагрузки для моментовъ и перерѣзывающихъ усилій.

Здѣсь k_0 и $k_{\frac{l}{2}}$ — нагрузки для моментовъ близъ опоры и близъ середины пролета. k_0' или k_l'' — нагрузка для max. положительн. перерѣзывающаго усилія на лѣвой опорѣ или для max. отрицат. перерѣзывающаго усилія на правой опорѣ (разсматривая всегда лѣвую отсѣчонную часть); k' или k'' — нагрузка для перерѣзывающихъ усилій, для данной длины загруженной части пролета.

Въ тоннахъ на 1 пог. метръ пути.				Въ пудахъ на 1 погон. футъ пути.			
Пролеты для k_0 и $k_{\frac{l}{2}}$ и длина загруженной части для k' или k''	$k_0 = k_0'$ или k_l''.	k' или k''.	$k_{\frac{l}{2}}$	Пролеты для k_0 и $k_{\frac{l}{2}}$ и длина загруженной части для k' или k''.	$k_0 = k_0'$ или k_l''.	k' или k''.	$k_{\frac{l}{2}}$
				Ф. С.			
1	30,000		30,00	3,28 = 0,47	560		560
1,5	22,666			4,92 = 0,70	421,6		
2	20,250		15,00	6,56 = 0,93	376,65		280
2,5	17,760			8,20 = 1,17	330,34		
3	17,000		12,88	9,84 = 1,40	316,20		240,46
3,5	16,164			11,48 = 1,64	300,64		
4	15,375		12,75	13,12 = 1,87	285,98		238,04
5	14,640		12,13	16,40 = 2,34	272,3		226,36
6	13,500		11,71	19,68 = 2,81	251,1		
7	12,367		11,02	22,96 = 3,28	230,03		205,74
8	11,344		10,29	26,24 = 3,74	210,99		
9	10,630			29,52 = 4,22	197,71		
10	10,060		8,97	32,80 = 4,68	187,12		167,16
11	9,719			36,08 = 5,15	180,78		
12	9,417		7,93	39,36 = 5,62	175,14		
13	9,178			42,64 = 6,09	170,69		
14	9,061	8,908	7,40	45,92 = 6,56	168,54	165,69	
15	8,960	8,627	7,09	49,20 = 7,02	166,66	160,45	132,37
16	8,813	8,344	6,98	52,48 = 7,40	163,91	155,19	
17	8,637	8,160		55,76 = 7,96	160,55	151,75	
18	8,468	8,028	6,90	59,04 = 8,43	157,48	149,31	
19	8,334	7,936		62,32 = 8,90	155,00	147,61	
20	8,228	7,875	6,75	65,60 = 9,30	153,02	146,47	126,02
21	8,126	7,857		68,88 = 9,84	151,13	146,14	
22	8,034	7,810		72,16 = 10,30	149,81	145,25	
23	7,965	7,741		75,44 = 10,77	148,15	143,98	
24	7,682	7,656		78,72 = 11,24	146,22	142,40	
25	7,762	7,580	6,71	82,00 = 11,71	144,38	140,99	
26	7,672	7,511		85,28 = 12,18	142,70	139,70	
27	7,374	7,462		88,56 = 12,65	140,37	138,79	
28	7,470	7,414		91,84 = 13,12	138,94	137,89	
29	7,376	7,375		95,12 = 13,58	137,19	137,17	
30	7,325		6,46	98,40 = 14,00	136,24		120,60
32	7,211			104,96 = 14,99	134,13		
34	7,097			111,52 = 15,93	132,00		
36	6,976			118,08 = 16,86	129,00		
38	6,856			124,64 = 17,80	127,52		
40	6,738		6,15	131,20 = 18,72	125,31		114,82
42	6,622			137,76 = 19,68	123,16		
44	6,511			144,32 = 20,61	121,09		
46	6,401			150,88 = 21,55	119,05		

Въ тоннахъ на 1 пог. метръ пути.				Въ пудахъ на 1 погон. футъ пути.			
Пролеты для k_0 и $k_{\frac{l}{2}}$ и длина загруженной части для k' или k''.	$k_0 = k_0'$ или k_l''.	k' или k''.	$k_{\frac{l}{2}}$	Пролеты для k_0 и $k_{\frac{l}{2}}$ и длина загруженной части для k' или k''.	$k_0 = k_0'$ или k_l''.	k' или k''.	$k_{\frac{l}{2}}$
				Ф. С.			
48	6,299			157,44 = 22,49	117,15		
50	6,197		5,76	164,00 = 23,42	115,26		107,53
52	6,104			170,56 = 24,36	113,52		
54	6,010			177,12 = 25,30	111,75		
56	5,925			183,68 = 26,24	110,19		
58	5,841			190,24 = 27,17	108,65		
60	5,761		5,41	196,80 = 28,11	107,16		101,00
62	5,683			203,36 = 29,05	105,69		
64	5,611			209,92 = 29,98	104,37		
66	5,540			216,48 = 30,92	103,04		
68	5,474			223,04 = 31,86	101,82		
70	5,409		5,13	229,60 = 32,80	100,60		95,77
72	5,348			236,16 = 33,73	99,47		
74	5,289			242,72 = 34,67	98,36		
76	5,234			249,28 = 35,61	97,34		
78	5,178			255,84 = 36,54	96,29		
80	5,126		4,89	262,40 = 37,48	95,34		91,29
82	5,075			268,96 = 38,42	94,39		
84	5,026			275,52 = 39,36	93,48		
86	4,980			282,08 = 40,29	92,63		
88	4,934			288,64 = 41,23	91,77		
90	4,892		4,69	295,20 = 42,17	90,98		87,56
92	4,849			301,76 = 43,10	90,19		
94	4,808			308,32 = 44,04	39,42		
96	4,770			314,88 = 44,98	88,72		
98	4,734			321,44 = 45,92	88,04		
100	4,696		4,51	328,00 = 46,85	87,35		84,20
102	4,662			334,56 = 47,79	86,71		
104	4,628			341,12 = 48,73	86,06		
106	4,594			347,68 = 49,66	85,45		
108	4,563			354,24 = 50,60	84,87		
110	4,533		4,37	360,80 = 51,54	84,30		81,58
120	4,392			393,60 = 56,22	81,98		
130	4,270		4,14	426,40 = 60,91	79,42		76,29
140	4,165			459,20 = 63,60	77,45		
150	4,071		3,89	492,00 = 70,28	75,72		72,62
160	3,988			524,80 = 74,97	74,18		
170	3,915			557,60 = 79,65	72,81		
180	3,849			590,40 = 84,34	71,57		
190	3,789			623,70 = 89,02	70,46		
200	3,735			656,00 = 93,71	69,46		

Таблица Крона для эквивалентныхъ нагрузокъ балочныхъ фермъ.—Кронъ предполагаетъ поѣздъ, составленный изъ трехъ трехъосныхъ паровозовъ съ трехъосными тендерами и изъ ряда вагоновъ. Нагрузка на ось паровоза—13 тон., на ось тендера — 9 тон. и на ось вагона — 8 тон.; разстояніе между осями паровоза — 1,3 м., между осями тендера — 1,5 м., между осями вагона — 3,0 м.; разстояніе буферовъ отъ ближайшихъ осей—въ паровозѣ: 2,7 м.; въ тендерѣ: 1,3 м.

(передній буферъ) и 1,7 м. (задній буферъ) и въ вагонѣ: 1,5 м. Если a—длина загруженной части пролета, то эквивалентная нагрузка k на пог. метръ пути:

l мет.	k' для наибольш. перерѣзывающаго усилія (на опорѣ) топ.	k для наибольш. момента. (близъ середины пролета) топ.	l мет.	k' для наибольш. перерѣзывающаго усилія (на опорѣ) топ.	k для наибольш. момента. (близъ середины пролета) топ.
1	26,0	26,0	20	6,1	5,18
2	17,6	13,0	30	5,63	4,75
3	14,7	11,0	40	5,43	4,80
4	13,4	11,0	50	5,18	4,65
5	11,6	10,2	80	4,52	4,07
7	9,23	8,39	100	4,22	3,76
10	7,82	6,45	150	3,78	3,25
15	6,48	5,40			

Формулы Винклера для опредѣленія эквивалентныхъ нагрузокъ. Эквивалентная нагрузка, отвѣчающая наибольшему значенію иерерѣзывающаго уеилія и момента на опорѣ;

$$k_0 = k'_0 = k''_l = A + \frac{B}{l} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (90)$$

Эквивалентная нагрузка, отвѣчающая наибольшему моменту, въ любомъ сѣченіи:

$$k_x = k_0 - 4\,(k_0 - k_{\frac{l}{2}})\,.\,\frac{(l-x)}{l^2} \text{ — ур—іе параболы} \quad . \quad . \quad . \quad (91)$$

если $k_0 = k'_0 = k''_l$ — нагрузка для моментовъ въ опорномъ сѣченіи и $k_{\frac{l}{2}}$ нагрузка по серединѣ пролета; $k_{\frac{l}{2}}$ составляетъ отъ 0,82 k_0 до 0,88 k_0: въ среднемъ $k_{\frac{l}{2}} = 0{,}86\ k_{\frac{l}{2}}$.

Эквивалентная нагрузка для наибольшихъ положительныхъ зиаченій перерѣзывающихъ усилій:

$$k'_x = A + \frac{B}{l-x} \text{ — ур—іе гиперболы} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (92)$$

для наибольшихъ отрицательныхъ перерѣзывающихъ усилій:

$$k''_x = A + \frac{B}{x} \text{ — ур—іе гиперболы} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (93)$$

Во всѣхъ указанныхъ формулахъ, по Винклеру:

$$A = 4{,}54 \text{ и } B = 30{,}6 \text{ для } l < 40 \text{ м.},$$
$$A = 2{,}84 \text{ и } B = 98{,}6 \text{ для } l > 40 \text{ м.},$$

если различныя k — выражаютъ нагрузки въ тон. иа пог. метръ пути.

Такъ напр., для $l = 30$ м.:

$$k_0 = k_0' = k_l'' = A + \frac{B}{l} = 4{,}54 + \frac{30{,}6}{30} = 5{,}56$$

(по нашимъ нормамъ $k_0 = 7{,}325$).

Если опредѣлить значенія A и B, пользуясь таблицей нашихъ эквивалентныхъ нагрузокъ для $l = 2$ и 40, 50 и 100, то окажется, что

$$A = 6{,}03 \text{ и } B = 28{,}44 \text{ для } l < 40,$$
$$A = 3{,}20 \text{ и } B = 149{,}6 \text{ для } l > 40.$$

Пользованіе эквивалентными нагрузками разрѣзныхъ балокъ, для опредѣленія моментовъ и перерѣзывающихъ усилій въ неразрѣзной балкѣ. Что касается значеній k, k' и k'' для двухпролетной, трехпролетной и т. д. *неразрѣзныхъ* фермъ, то таковыя пока не опредѣлены, и въ этихъ случаяхъ max. M, + max. $\mathfrak{B}$ и — max. $\mathfrak{B}$ необходимо находить непосредственно по отдѣльнымъ сосредоточеннымъ грузамъ, напр., помощью инфлюэнтныхъ кривыхъ, о чемъ будетъ сказано ниже.

Здѣсь необходимо обратить вниманіе на слѣдующее. Въ неразрѣзныхъ балкахъ для полученія въ данномъ сѣченіи наибольшаго численнаго значенія сгибающаго момента и перерѣзывающаго усилія приходится предположить нѣкоторые пролеты или часть пролета незагруженными, то-есть допустить поѣздъ какъ-бы разорваннымъ на нѣсколько отдѣльныхъ частей, чего, конечно, въ дѣйствительности быть не можетъ. Исключеніе можетъ составлять, впрочемъ, двухпролетная ферма, когда при однопутныхъ мостахъ къ поѣзду, стоящему на мосту, подходитъ встрѣчный вспомогательный поѣздъ, а въ двухпутныхъ мостахъ — при скрещеніи поѣздовъ на мосту. Во всѣхъ же остальныхъ случаяхъ, казалось-бы, достаточно тѣ части моста, которыя согласно требованіямъ теоріи должны оставаться незагруженными, предположить загруженными порожними платформами, за исключеніемъ, впрочемъ, крайнихъ участковъ крайнихъ пролетовъ, которые могутъ оставаться незагруженными. При этомъ нѣтъ надобности, чтобы оба паровоза съ тендерами были рядомъ, такъ какъ могутъ быть случаи, когда наибольшія численныя значенія $\mathfrak{B}$ и M будутъ отвѣчать нахожденію паровозовъ въ разныхъ пролетахъ.

Въ *Австріи* при опредѣленіи усилій въ неразрѣзныхъ фермахъ желѣзнодорожныхъ мостовъ довольствуются слѣдующими значеніями нагрузокъ: для опредѣленія max. M оставляютъ незагруженными всѣ тѣ пролеты и части пролета, какъ того требуетъ теорія; на остальныхъ пролетахъ или частяхъ пролета располагаютъ нагрузку k, опредѣленную для соотвѣтствующихъ пролетовъ *разрѣзныхъ* балокъ. При опредѣленіи же + max. $\mathfrak{B}$ и — max. $\mathfrak{B}$ — на загружаемыхъ полностью пролетахъ располагается нагрузка k, опредѣленная для моментовъ разрѣзныхъ балокъ, а на томъ пролетѣ, гдѣ требуется лишь частная загрузка пролета, располагается нагрузка k' или k'', данная для + max. $\mathfrak{B}$ и — max. $\mathfrak{B}$ разрѣзныхъ балокъ. Такъ, напримѣръ, если взять сѣченіе $x = 0{,}9\,l$ въ двухпролетной неразрѣзной фермѣ съ равными пролетами, то наибольшій отрицательный моментъ получится, какъ извѣстно, въ томъ случаѣ, когда загруженъ весь второй пролетъ, а въ первомъ пролетѣ загружена нѣкоторая доля m (рис. 351); на обоихъ пролетахъ располагается нагрузка k, данная для моментовъ разрѣзныхъ балокъ. Если же для того же сѣченія $x = 0{,}9\,l$ опредѣляется + max. $\mathfrak{B}$ или — max. $\mathfrak{B}$ (рис. 352), то въ первомъ случаѣ на второмъ пролетѣ (загружаемомъ полностью) располагается нагрузка k, а на первомъ — k'; во второмъ же случаѣ на первомъ пролетѣ располагается k'', при чемъ k, k' и k'' берутсяи зъ таблицъ, данныхъ для разрѣзныхъ балокъ.

Пріемы опредѣленія эквивалентныхъ нагрузокъ для арочныхъ фермъ.— Таблицы Энгессера и Крона.— Формулы Винклера. Основанія опредѣленія эквивалентныхъ

нагрузокъ тѣ же, какъ и для балочныхъ однопролетныхъ фермъ, т. е. нужно найти положеніе нормальнаго поѣзда, отвѣчающее наибольшимъ моментамъ, продольнымъ и поперечнымъ (перерѣзывающимъ) усиліямъ, опредѣлить численныя значенія этихъ величинъ и приравнять ихъ аналитическимъ выраженіямъ тѣхъ же величинъ въ функціи сплошной нагрузки, занимающей соотвѣтственное положеніе на пролетѣ. Для нашего нормальнаго поѣзда—таковыя нагрузки пока не опредѣлены, и приходится по этому находить наибольшій моментъ, продольныя и по-

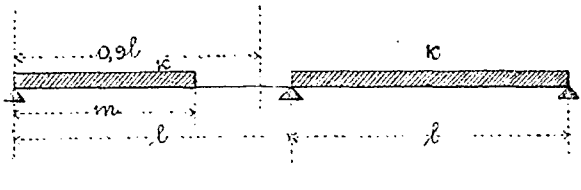


Рис. 351.

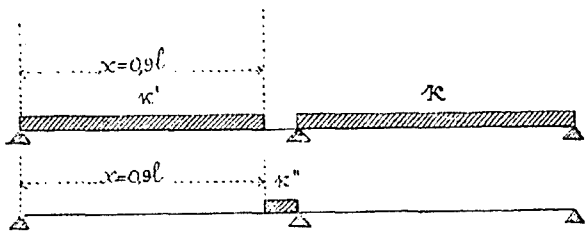


Рис. 352.

перечныя усилія, вызываемыя непосредственно нормальнымъ поѣздомъ, о чемъ сказано будетъ ниже, или же въ зависимости отъ длины загруженной части пролета пользоваться значеніями k' и k'' для балочныхъ фермъ.

Впрочемъ можно руководствоваться для соображеній и слѣдующими данными Энгессера, Крона и Винклера — составленными для другихъ нормальныхъ поѣздовъ.

Таблицы Энгессера составлены для нормальнаго поѣзда изъ трехъ четырехъосныхъ паровозовъ съ нагрузкой на ось въ 12,1 топ. съ тендерами и изъ ряда груженыхъ вагоновъ. Въ нижепомѣщенной таблицѣ выражаютъ:

Q_l^3 и Q_l^2 — сплошныя нагрузки на погонный метръ пути, покрывающія весь пролетъ и соотвѣтствующія наибольшему значенію распора, гдѣ указатели 3 и 2 относятся къ аркамъ съ тремя и двумя шарнирами.

Q_0^3 и Q_0^2 — такія же нагрузки, соотвѣтствующія распору, когда передняя ось поѣзда находится надъ опорой.

$Q_{\frac{l}{2}}^3$ и $Q_{\frac{l}{2}}^2$ — сплошныя нагрузки на погонный метръ пути, покрывающія половину пролета и соотвѣтствующія распору, когда передняя ось находится надъ ключемъ арки.

V_0 — сплошная нагрузка на погонный метръ пути, покрывающая весь пролетъ и вызывающая то же вертикальное сопротивленіе опоры, какъ и поѣздъ, передняя ось котораго находится надъ опорой.

$V_{\frac{l}{2}}$ — сплошная нагрузка на погонный метръ пути, покрывающая половину пролета и вызывающая ту же вертикальную силу въ ключѣ арки, какъ и поѣздъ, передняя ось котораго находится надъ ключемъ арки.

Для того, чтобъ можно было пользоваться этой таблицей, слѣдуетъ имѣть въ виду, что значенія V_0 соотвѣтствуютъ $k_0 = k'_0$ нашей таблицы для балочныхъ фермъ и слѣд. достаточно опредѣлить коэффиціентъ отношенія V_0 къ k_0, чтобъ пользоваться этой таблицей и для нашего нормальнаго поѣзда. Такъ напр. для $l = 40$, $V_0 = 5{,}47$ тон., а по нашей таблицѣ $k_0 = k'_0 = k''_l = 6{,}738$. Отношеніе $\alpha = \frac{6{,}738}{5{,}47} = 1{,}23$. Слѣд. на этотъ коэффиціентъ слѣдуетъ умножить значенія нагрузокъ для $l = 40$ м. въ таблицѣ Энгессера, чтобъ примѣнять ихъ къ нашему

нормальному поѣзду. (Замѣтимъ здѣсь, что $V_{\frac{l}{2}}$ должно отвѣчать V_0 для пролета вдвое меньшаго. Дѣйствительно для $l=40$, $V_{\frac{l}{2}}=6{,}24$; для $l=20$, $V_0=6{,}26$; для $l=60$ м., $V_{\frac{l}{2}}=5{,}74$; для $l=30$ м., $V_0=5{,}76$ и т. д.).

l мет.	1	2	3	4	5	6	7	8
	Q_l^3.	Q_0^3.	$Q_{\frac{l}{2}}^3$.	Q_l^2.	Q_0^2.	$Q_{\frac{l}{2}}^2$.	V_0	$V_{\frac{l}{2}}$.
	тон.	тон.	тон.	тон.	тон.	тон.	тон.	тон.
4	10,54	8,68	16,74	10,02	8,76	14,67	12,55	16,74
6	9,37	8,27	14,05	9,49	7,97	12,78	11,16	14,05
8	8,37	6,04	12,71	7,83	5,63	11,64	9,38	12,71
10	7,34	4,33	12,10	6,81	4,64	11,36	8,28	12,10
12	6,48	4,05	11,16	5,83	4,61	10,71	7,67	11,16
15	5,79	3,87	9,79	5,18	4,15	8,88	6,87	9,79
18	5,17	3,97	8,71	4,99	4,08	7,73	6,37	8,71
20	5,32	4,26	8,22	4,97	4,42	7,32	6,26	8,22
25	4,97	4,45	7,48	4,95	4,64	6,72	6,00	7,48
30	4,69	4,64	6,83	4,89	4,59	6,16	5,76	6,83
35	4,71	4,70	6,40	4,78	4,53	5,82	5,56	6,40
40	4,80	4,69	6,24	4,73	4,65	5,80	5,47	6,24
50	4,72	4,54	5,98	4,71	4,53	5,66	5,26	5,98
60	4,53	4,26	5,74	4,48	4,18	5,45	5,00	5,74
70	4,30	3,96	5,54	4,21	3,84	5,32	4,75	5,54
80	4,10	3,59	5,46	3,96	3,55	5,26	4,53	5,46
90	3,91	3,30	5,37	3,73	3,32	5,19	4,34	5,37
100	3,74	3,08	5,26	3,56	3,14	5,07	4,17	5,26

По Крону эквивалентныя нагрузки для арочныхъ фермъ не зависятъ отъ величины пролета, а лишь отъ величины загруженной части пролета, тѣмъ болѣе, что въ арочной фермѣ наибольшія значенія моментовъ продольныхъ и поперечныхъ усилій наступаютъ большею частью при частной загрузкѣ пролета. Независимость нагрузокъ отъ величины пролета вполнѣ подтверждаютъ соображенія, приведенныя при опредѣленіи величинъ k' и k''.

a мет.	k тон.	a мет.	k тон.	a мет.	k тон.
0,5	52,0	7	9,2	35	5,5
1	26,0	8	8,5	40	5,4
1,5	19,6	9	8,1	45	5,3
2	17,6	10	7,8	50	5,2
2,5	15,4	12	7,2	60	4,9
3	14,7	14	6,7	70	4,7
3,5	14,0	16	6,4	80	4,5
4	13,2	18	6,3	90	4,3
4,5	12,3	20	6,2	100	4,2
5	11,5	25	5,9	120	4,0
6	10,2	30	5,6	140	3,8

Сравнивая эту таблицу съ таблицей нагрузокъ, исчисленныхъ Кропомъ для поѣзда такого же состава, но въ примѣненіи къ балочнымъ фермамъ для опредѣленія абсолютнаго наибольшаго значенія перерѣзывающаго усилія, что имѣетъ мѣсто на опорѣ, мы находимъ полное совпаденіе.

Такимъ образомъ, исчисленныя для балочныхъ фермъ значенія k' и k'' для нашего нормальнаго поѣзда можно безъ большой погрѣшности примѣнять и къ арочнымъ фермамъ, располагая соотвѣтствующую нагрузку въ зависимости отъ длины загруженной части пролета.

Формулы *Винклера*. При опредѣленіи наибольшаго значенія распора, что соотвѣтствуетъ полной загрузкѣ пролета — для трехшарнирной арочной фермы: $k = 0{,}86\, k_0$; для двухшарнирной $k = 0{,}79\, k_0$ и въ аркѣ съ задѣланными пятами: $k = 0{,}83\, k_0$, гдѣ k_0 — нагрузка для моментовъ въ опорномъ сѣченіи балочной фермы. При опредѣленіи наибольшаго усилія въ пятахъ арки: $k_1 = 1{,}04\, k_0$; наконецъ, при опредѣленіи наибольшаго усилія въ элементахъ рѣшетки арки:

$$k_{II} = A + m \cdot \frac{B}{\lambda}, \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad (94)$$

гдѣ A и B имѣютъ значенія, указанныя въ формулахъ Винклера (90—93), λ — протяженіе загруженной части пролета; $m = 2{,}2$ — для арочныхъ фермъ съ концентрическими поясами, $m = 3{,}9$ — для серповидныхъ фермъ и $m = 2{,}3$ для фермъ съ верхнимъ горизонтальнымъ и нижнимъ криволинейнымъ поясами.

Изъ всѣхъ указанныхъ пріемовъ опредѣленія эквивалентныхъ нагрузокъ — пріемъ Крона, повидимому, наиболѣе достовѣрный и можетъ быть примѣненъ къ висячимъ фермамъ.

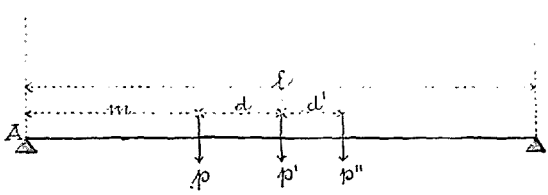


Рис. 353.

Опредѣленіе аналитически абсолютнаго максимума сгибающаго момента въ балочной однопролетной фермѣ отъ системы неизмѣнно-связанныхъ сосредоточенныхъ подвижныхъ грузовъ. (Способъ гиперболическихъ параболоидовъ). Примѣры. Пусть на балку, длиною l, дѣйствуютъ три сосредоточенныхъ груза: P, P' и P'', съ взаимнымъ разстояніемъ d и d' (рис. 353). Если означимъ буквою A — сопротивленіе лѣвой опоры и буквою m — разстояніе перваго груза отъ этой опоры, то получимъ:

$$A = P\,\frac{(l-m)}{l} + P'\,\frac{(l-m-d)}{l} + P''\,\frac{(l-m-d-d')}{l};$$

а сгибающіе моменты для промежутковъ между лѣвою опорою и первымъ грузомъ, первымъ грузомъ и вторымъ и т. д. будутъ:

$$A\begin{cases} I \ldots\ z = Ax, \\ II \ldots\ z = Ax - P(x-m), \\ III \ldots\ z = Ax - P(x-m) - P'(x-m-d), \\ IV \ldots\ z = Ax - P(x-m) - P'(x-m-d) - P''(x-m-d-d'), \end{cases}$$

гдѣ x есть разстояніе какого-нибудь сѣченія балки отъ лѣвой опоры.

Въ эти функціи входятъ двѣ независимыя перемѣнныя: x и m, измѣняющіяся въ извѣстныхъ предѣлахъ. Предѣлы m во всѣхъ четырехъ функціяхъ — одни

и тѣ же: o и $l - d - d'$. Предѣлы же x различны для различныхъ функцій.

Для первой они суть: o и m.
Для второй—m и $m + d$.
Для третьей—$m + d$ и $m + d + d'$.
Для четвертой—$m + d + d'$ и l.

Каждая изъ функцій группы (A) представляетъ уравненіе гиперболическаго параболоида, отнесеннаго къ прямоугольнымъ осямъ координатъ (x, z, m). Если положить m равнымъ нѣкоторой постоянной величинѣ ω, т. е. пересѣчь веѣ поверхности плоскостью, параллельною плоскости zx, то каждая изъ функцій группы (A) обратится въ функцію вида:

$$z = \alpha . x + \beta$$

и вмѣстѣ съ уравненіемъ:

$$m = \omega$$

представляетъ уравненіе прямой, находящейся въ плоскости, параллельной xz. Равнымъ образомъ, дѣлая: $x = \omega$, мы точно также получимъ прямую въ плоскости, параллельной zm.

Далѣе мы видимъ, что для даннаго значенія m, каждыя двѣ смежныя функціи группы (A) удовлетворяются однимъ и тѣмъ же значеніемъ перемѣнныхъ. Первыя двѣ функціи удовлетворяются однимъ и тѣмъ же значеніемъ перемѣнныхъ при $x = m$; вторыя двѣ—при $x = m + d$, третьи—при $x = m + d + d'$; а такъ какъ m измѣняется непрерывно въ предѣлахъ: o и $l - d - d'$, то рядъ общихъ точекъ двухъ смежныхъ поверхностей будетъ расположенъ на нѣкоторой кривой, уравненіе которой для всѣхъ функцій группы (A), будетъ вида:

$$z = \alpha . m^2 + \beta . m + \gamma \quad \text{и} \quad x = m + d.$$

Это есть парабола, расположенная въ плоскости, параллельной вертикальной плоскости, равнодѣлящей плоскостный уголъ $zxom$. Эти послѣднія кривыя можно разсматривать, какъ направляющія при образованіи поверхностей движеніемъ прямой линіи.

Итакъ, цѣль задачи—найти такія значенія m и x, которыя давали бы наибольшее возможное значеніе z въ группѣ (A).

Здѣсь нельзя примѣнить обыкновенный способъ отысканія наибольшихъ величинъ помощью дифференціальнаго исчисленія, потому что предѣлы одной изъ перемѣнныхъ не одинаковы въ различныхъ функціяхъ; кромѣ того одна изъ перемѣнныхъ входитъ въ первой степени, такъ что производная по ней есть постоянное количество, а не функція той же перемѣнной.

Пусть уравненія:

$$z = f(x, y), \ldots,$$
$$z = \varphi(x, y), \qquad z = \psi(x, y),$$

представляютъ системы гиперболическихъ параболоидовъ, пересѣкающихся попарно и отнесенныхъ къ прямоугольной системѣ координатъ, такъ выбранной, что производящія прямыя параллельны плоскости zx.

Полагаемъ въ этихъ уравненіяхъ y равнымъ нѣкоторой постоянной величинѣ, заключающейся между его предѣлами; другими словами, пересѣкаемъ всѣ поверх-

ности плоскостью, параллельною xz; тогда, на основаніи вышесказаниаго, получимъ систему прямыхъ линій, расположенныхъ въ одной плоскости и взаимнопересѣкающихся попарно (рис. 354).

Опредѣлимъ знаки при тангеисахъ угловъ наклоненія сторонъ получеииаго многоугольника. Очевидно, что высшая точка въ этомъ многоугольникѣ будетъ соотвѣтствовать точкѣ пересѣченія двухъ сторонъ, которыя наклонены относительно горизонтальной оси въ противоположныя стороны, т. е. у которыхъ знаки тангепсовъ противоположны, или одинъ тангеисъ есть пуль, а другой—положительный или отрицательный.

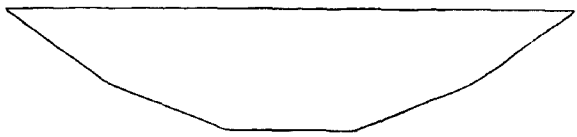


Рис. 354.

Слѣдовательно, для даннаго значенія y—высшая точка въ разсматриваемой системѣ поверхностей — будетъ точка общая двумъ поверхностямъ, давшимъ въ пересѣченіи съ плоскостью двѣ прямыя, наклоненныя въ противоположныя стороны относительно горизонтальной оси.

Будемъ продолжать пересѣкать поверхности, измѣняя разстояніе сѣкущей плоскости, отъ плоскости xz въ предѣлахъ возможнаго измѣиенія y, и для каждаго сѣченія изслѣдуемъ знаки тангепсовъ угловъ наклоненія сторонъ многоугольника; тогда, если для всѣхъ возможныхъ положеній сѣкущей плоскости сохраняется постоянство знаковъ, то, очевидно, что искомое наибольшее значеніе z будетъ находиться на кривой пересѣченія тѣхъ смежнымъ поверхностей, которыя отъ пересѣченія плоскостями постоянно давали прямыя, паклопеиныя относительно оси x-овъ въ противоположныя стороны. Послѣ того, какъ найдено будетъ уравненіе этой кривой, останется только помощью дифференціальпаго исчисленія найти наибольшее значеніе — и задача будетъ рѣшена.

При изслѣдованіи знаковъ таигенсовъ сторонъ многоугольника, съ измѣненіемъ y въ его предѣлахъ, можно встрѣтить слѣдующіе случаи: постоянство знаковъ сохраняется только въ двухъ крайнихъ стороиахъ многоугольника или въ нѣсколькихъ крайнпхъ смежныхъ стороиахъ, а въ остальныхъ средиихъ стороиахъ происходитъ перемѣна знаковъ (рис. 355 и 356).

Замѣтимъ предварительно, что каждому положенію сѣкущей плоскости соотвѣтствуетъ свой *тахітит*, который мы будемъ называть *относительнымъ тахітит*'омъ, въ отличіе отъ *абсолютнаго тахітит*'а наивысшей точки въ системѣ данныхъ поверхностей, т. е. наибольшаго значенія изъ всѣхъ относительпыхъ *тах*. Ясно, что тѣ стороны многоугольниковъ, въ которыхъ произошла перемѣна знаковъ, опредѣляли своимъ взаимнымъ переѣченіемъ положеніс и величину относительнаго *тахітит*'а. Слѣдовательно, всѣ относительные *тах*. будутъ находиться на кривыхъ пересѣченія тѣхъ поверхностей, которыя при движеиіи сѣкущей плоскости давали въ сѣченіи прямыя линіи, несохранившія постоянства знаковъ.

Чтобы найти, на которой изъ этихъ кривыхъ будетъ расположепъ абсолютный *тах*., поступимъ слѣдующимъ образомъ:

Опредѣлимъ для двухъ смежныхъ кривыхъ значеніе y, при которомъ онѣ имѣютъ одинаковую ординату и изслѣдуемъ знакъ и величину тангенса обѣихъ кривыхъ для иайдеииаго значенія y. Пусть (рис. 357) оба тангенса въ точкѣ пересѣченія положительные и численное значеніе тангенса кривой II болѣе тангенса кри-

вой *I*, такъ что при $y + h$ ординаты обѣихъ кривыхъ увеличиваются, и при томъ во *II* сильнѣе, чѣмъ въ *I*, а потому заключаемъ, что относительный *max.* кривой *II* болѣе отиосительиаго *max.* кривой *I*. Точно также, если оба тангенса отрицательные (рис. 357) и численныя величины тангенса кривой *II* опять болѣе

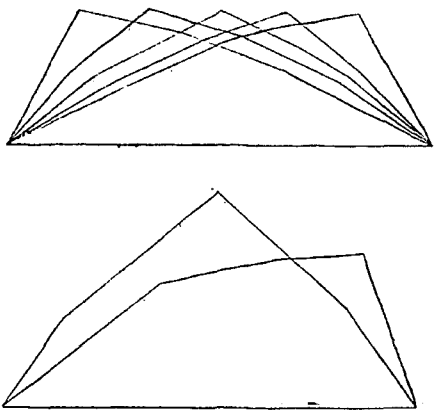


Рис. 355 и 356.

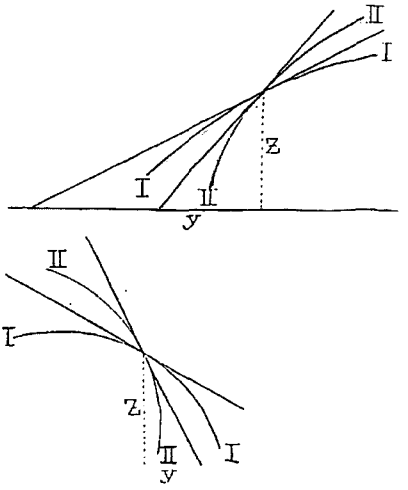


Рис. 357.

тангенса кривой *I*, то при $y - h$ ординаты обѣихъ кривыхъ увеличиваются, и относительный *max.* кривой *II* болѣе *max.* кривой *I*. Если оба тангенса имѣютъ противоположные знаки, то при равенствѣ ихъ численныхъ значеній должно заключить (рис. 358), что оба относительные *max.* равны между собою, а при неравенствѣ численныхъ значеній (рис. 358) получится соотвѣтственное неравенство и относительныхъ *max.*, такъ какъ кривыя имѣютъ въ предѣлахъ измѣненія y только одну общую точку. Продолжая это изслѣдованіе постепенно для всѣхъ смежныхъ кривыхъ, найдемъ, наконецъ, такую кривую, относительный *max.* которой болѣе относительнаго *max.* обѣихъ смежныхъ кривыхъ. Значеніе этого *max.* и будетъ, очевидно, искомымъ абсолютнымъ *maximum*'омъ.

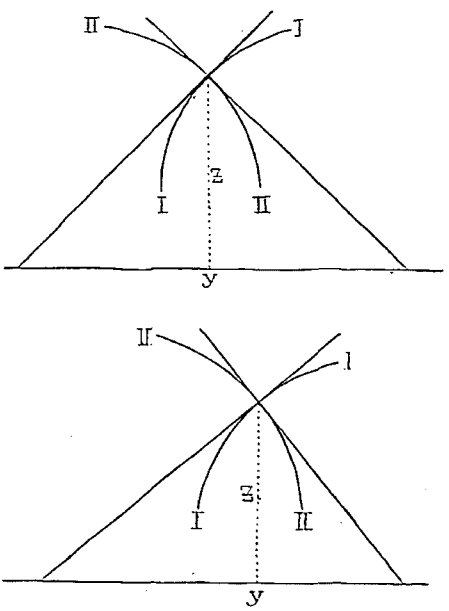


Рис. 358.

Замѣтимъ, что, еслибы для y получились значенія, выходящія изъ его предѣловъ, то это значило бы, что при данномъ пролетѣ, съ даннымъ числомъ грузовъ, абсолютный *max.* получается, когда одинъ или нѣсколько крайнихъ грузовъ находятся внѣ пролета, т. е. когда на балку дѣйствуетъ меньшее число грузовъ противъ того, которое можетъ помѣститься на пролетѣ. Знакъ и численная величина y покажетъ, которые изъ крайнихъ грузовъ и сколько именно нужно свести съ пролета, чтобы имѣлъ мѣсто абсолютный *maximum*.

Примѣръ. Пусть требуется найти наибольшій сгибающій моментъ для 10-ти

футовой балки (рис. 359), нагруженной четырьмя сосредоточенными грузами, величина которыхъ: 1, 2, 3 и 4 пуда. Разстояніе между ними неизмѣняемо и со-

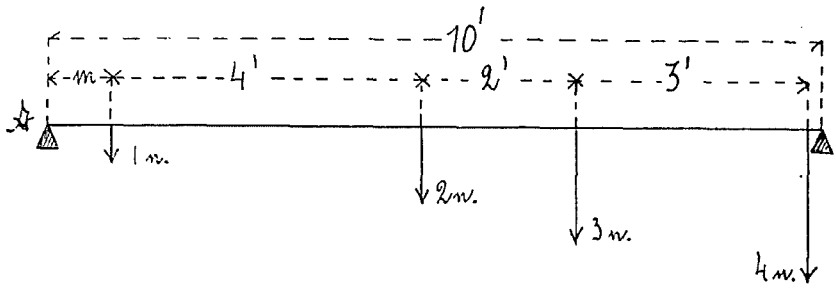


Рис. 359.

отвѣтственно равно: 4, 2 и 3-мъ футамъ. Вся же система можетъ перемѣщаться. Сопротивленіе лѣвой опоры:

$$A = 1\left(\frac{10-m}{10}\right) + 2\left(\frac{10-m-4}{10}\right) + 3\left(\frac{10-m-4-2}{10}\right) +$$

$$+ 4\left(\frac{10-m-4-2-3}{10}\right) = 3{,}8 - m.$$

Сгибающіе моменты будутъ:

I . . . . Ax,

II . . . . $Ax - 1\,(x-m)$,

III . . . . $Ax - 1\,(x-m) - 2\,(x-m-4)$,

IV . . . . $Ax - 1\,(x-m) - 2\,(x-m-4) - 3\,(x-m-4-2)$,

V . . . . $Ax - 1\,(x-m) - 2(x-m-4) - 3(x-m-4-2) - 4(x-m-4-2-3)$.

Коэффиціенты при x:	Предѣлы m: 0 и $10-9=1$. При $m=0$, $m=1$.
I' . . . . $A = 3{,}8 - m$,	I' . . . . > 0, > 0,
II' . . . . $A - 1 = 2{,}8 - m$,	II' . . . . > 0, > 0,
III' . . . . $A - 3 = 0{,}8 - m$,	III' . . . . > 0, < 0,
IV' . . . . $A - 6 = -2{,}2 - m$,	IV' . . . . < 0, < 0,
V' . . . . $A - 10 = -6{,}2 - m$.	V' . . . . < 0, < 0.

Постоянство знаковъ при таигенсѣ сохранилось только въ двухъ первыхъ и двухъ послѣднихъ коэффиціентахъ; въ остальномъ произошла перемѣна знаковъ.

Опредѣляемъ кривыя пересѣченія поверхностей: II и III, III и IV. Условія пересѣченія этихъ поверхностей суть:

$$x = m + 4 \quad \text{и} \quad x = m + 4 + 2.$$

Слѣдовательно, уравненія кривыхъ будутъ:

$$z = (3{,}8 - m) \,.\, (m + 4) - 1 \times 4 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (a)$$

$$z = (3{,}8 - m) \,.\, (m + 4 + 2) - 1 \times 6 - 2 \times 2. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (b)$$

Опредѣляемъ значеніе m, при которомъ ординаты обѣихъ кривыхъ между

собою равны. Для этого необходимо:

$$(3{,}8 - m) \cdot (m + 4) - 1 \times 4 = (3{,}8 - m) \cdot (m + 6) - 1 \times 6 - 2 \times 2,$$

откуда получимъ:

$$m = 0{,}8.$$

Ищемъ значеніе производныхъ (a) и (b) по m; при $m = 0{,}8$, получимъ:

$$3{,}8 - 2m - 4 = 3{,}8 - 1{,}6 - 4 = -1{,}8; \quad \ldots \quad (a')$$

$$3{,}8 - 2m - 6 = 3{,}8 - 1{,}6 - 6 = -3{,}8. \quad \ldots \quad (b')$$

Относительный maximum кривой (b) болѣе относительнаго maximum'а кривой (a), а такъ какъ на кривой пересѣченія поверхностей IV и V не можетъ быть относительнаго maximum'а, ибо тамъ сохраняется постоянство знаковъ при тангенсахъ, то относительный maximum кривой (b) будетъ вмѣстѣ съ тѣмъ и абсолютнымъ.

Найдемъ его значеніе. Беремъ производную функціи (b) по m, приравниваемъ ее нулю и получаемъ:

$$3{,}8 - 2m - 6 = 0, \text{ откуда: } m = -1{,}1.$$

Предѣлы m суть 0 и + 1. Найденное значеніе m показываетъ, что абсо-

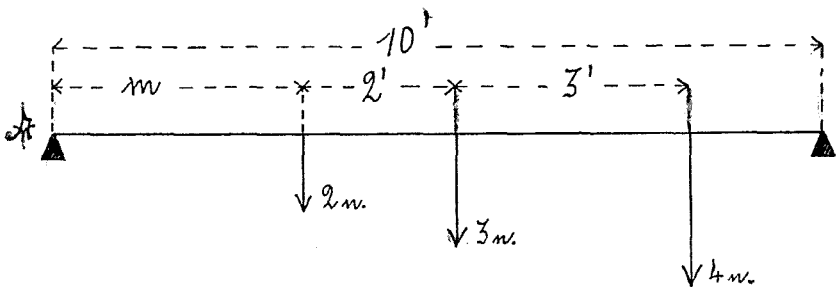


Рис. 360.

лютный maximum будетъ тогда, когда первый грузъ, величиною 1, не будетъ на пролетѣ. Беремъ только три груза (рис. 360) и рѣшаемъ задачу снова:

$$A = 2\,\frac{(10 - m)}{10} + 3\,\frac{(10 - m - 2)}{10} + 4\,\frac{(10 - m - 5)}{10} = 6{,}4 - 0{,}9\,m.$$

Моменты суть:

$$I \ldots Ax;$$

$$II \ldots Ax - 2\,(x - m);$$

$$III \ldots Ax - 2\,(x - m) - 3\,(x - m - 2);$$

$$IV \ldots Ax - 2\,(x - m) - 3\,(x - m - 2) - 4\,(x - m - 5).$$

Коэффиціенты:	Предѣлы m суть 0 и 4. При $m = 0$, $m = 4$.
I' . . . $A = 6{,}4 - 0{,}9\,m$;	I' . . . > 0; > 0;
II' . . . $A - 2 = 4{,}4 - 0{,}9\,m$;	II' . . . > 0; > 0;
III' . . . $A - 5 = 1{,}4 - 0{,}9\,m$;	III' . . . > 0; < 0;
IV' . . . $A - 9 = -2{,}6 - 0{,}9\,m$.	IV' . . . < 0; < 0.

Постоянство знаковъ сохранилось въ первой, второй и въ четвертой строкахъ. Слѣдовательно, абсолютный maximum можетъ быть или на кривой пересѣченія II и III или III и IV.

Опредѣляемъ кривыя пересѣченія поверхностей II и III, III и IV.

Условіе ихъ пересѣченій будетъ соотвѣтственно:

$$x = m + 2; \quad x = m + 5.$$

Уравненія кривыхъ будутъ:

$$z = (6{,}4 - 0{,}9\,m) \,.\, (m + 2) - 2 \times 2; \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (a)$$

$$z = (6{,}4 - 0{,}9\,m) \,.\, (m + 5) - 2 \times 5 - 3 \times 3 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (b)$$

Находимъ значеніе m, при которомъ (a) и (b) равны между собою. Имѣемъ:

$$0 = (6{,}4 - 0{,}9\,m)\,3 - 6{,}0 - 9{,}0, \quad \text{откуда:} \quad m = 1{,}55.$$

Беремъ производныя (a) и (b) по m, со вставкою вмѣсто m найденнаго значенія, и получимъ:

$$6{,}4 - 1{,}8\,m - 1{,}8 = 6{,}4 - 2{,}79 - 1{,}8 = +1{,}81; \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (a')$$

$$6{,}4 - 1{,}8\,m - 4{,}5 = 6{,}4 - 2{,}79 - 4{,}5 = -0{,}89 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (b')$$

Тангенсъ кривой (a) болѣе тангенса кривой (b); слѣдовательно абсолютный maximum будетъ на кривой (a).

Чтобы найти его значеніе, беремъ производную (a) по m и, приравнивая ее нулю, получимъ:

$$6{,}4 - 1{,}8\,m - 1{,}8 = 0,$$

откуда:

$$m = 2{,}555.$$

Для кривой (a) имѣемъ условіе:

$$x = m + 2 \quad \text{и} \quad x = 2{,}555 + 2 = 4{,}555.$$

Итакъ, абсолютный maximum будетъ подъ вторымъ грузомъ, когда первый удаленъ отъ лѣвой опоры на 2,555 фута

Вставляя эти значенія m и x въ уравненіе (a), получимъ значеніе абсолютнаго maximum'а:

$$max.\ z = (6{,}4 - 0{,}9 \times 2{,}555) \,.\, 4{,}555 - 4 = 14{,}675.$$

Опредѣленіе абсолютнаго max. при дѣйствіи на балку равныхъ грузовъ на одинаковомъ взаимномъ разстояніи.

Докажемъ, что *если число грузовъ нечетное, то получается одинъ абсолютный max. подъ среднимъ грузомъ по срединѣ пролета, а если число грузовъ четное, то получается два равныхъ абсолютныхъ max. подъ грузами, указатели которыхъ равны: для одного—половинѣ числа грузовъ, а для другого—половинѣ числа грузовъ, увеличенной единицею, при чемъ каждый изъ этихъ грузовъ удаленъ отъ средины пролета: первый влѣво на $^1/_4$ разстоянія между грузами, а второй вправо на ту же величину.*

Если число грузовъ нечетное $2n+1$, то абсолютный *max.* будетъ подъ грузомъ, указатель котораго есть n, удаленнымъ отъ лѣвой опоры на $x=\frac{l}{2}$. Если число грузовъ четное $2n$, то одинъ абсолютный *max.* находится подъ грузомъ съ указателемъ n, при $x=\frac{l}{2}-\frac{d}{4}$, второй абсолютный *max.* подъ грузомъ, указатель котораго $n+1$, при $x=\frac{l}{2}+\frac{d}{4}$, если d есть разстояніе между грузами.

Возьмемъ сначала *два* равныхъ груза на взаимномъ разстояніи d. Пусть первый грузъ находится на перемѣнномъ разстояніи m отъ лѣвой опоры. Тогда сопротивленіе лѣвой опоры:

$$A=P\left(\frac{l-m}{l}\right)+P\left(\frac{l-m-d}{l}\right)=P\left(2-\frac{2m}{l}-\frac{d}{l}\right).$$

Выраженія сгибающихъ моментовъ будутъ:

$$\begin{aligned} I\ .\ .\ .\ z&=Ax\\ II\ .\ .\ .\ z&=Ax-P(x-m)\\ III\ .\ .\ .\ z&=Ax-P(x-m)-P(x-m-d). \end{aligned}$$

Коэффиціенты при x:

$$I'\ .\ .\ .\ A=P\left(2-\frac{2m}{l}-\frac{d}{l}\right).$$

$$II'\ .\ .\ .\ A-P=P\left(1-\frac{2m}{l}-\frac{d}{l}\right).$$

$$III'\ .\ .\ .\ A-2P=P\left(-\frac{2m}{l}-\frac{d}{l}\right).$$

Предѣлы m суть 0 и $l-d$.

При	$m=0$	$m=l-d$
$I'\ .\ .\ .$	>0	>0
$II'\ .\ .\ .$	>0	<0
$III'\ .\ .\ .$	<0	<0

Постоянство знаковъ сохранилось только въ крайнихъ сторонахъ многоугольника. Опредѣляемъ кривыя переѣченія поверхностей *I* и *II*, *II* и *III*. Условіемъ переѣченія для первыхъ поверхностей будетъ: $x=m$, для вторыхъ: $x=m+d$. Уравненія кривыхъ:

$$z=P\left(2-\frac{2m}{l}-\frac{d}{l}\right)m\ .\ .\ .

Значеніе m, при которомъ ординаты обѣихъ кривыхъ равны между собою, найдется изъ условія:

$$0 = P\left(2 - \frac{2m}{l} - \frac{d}{l}\right)d - Pd = P\left(1 - \frac{2m}{l} - \frac{d}{l}\right),$$

откуда:

$$m = \frac{l-d}{2}.$$

Опредѣляя для этого значенія m производныя функцій (a) и (b), получимъ:

$$\frac{dz}{dm} = 2 - \frac{4m}{l} - \frac{d}{l} = 2 - \frac{2l}{l} + \frac{2d}{l} - \frac{d}{l} = +\frac{d}{l} \quad \ldots \quad (a')$$

$$\frac{dz}{dm} = 2 - \frac{4m}{l} - \frac{3d}{l} = 2 - \frac{3l}{l} + \frac{2d}{l} - \frac{3d}{l} = -\frac{d}{l} \quad \ldots \quad (b')$$

Оба тангенса противоположны по знаку, но равны по численной величинѣ, откуда заключаемъ, что относительные *max.*, расположенные на обѣихъ кривыхъ, между собою равны; а такъ какъ эти кривыя единственныя, то относительный *max.* будетъ вмѣстѣ съ тѣмъ и абсолютнымъ. Найдемъ его значеніе и положеніе на пролетѣ.

Беремъ производную кривой (a) по m и приравниваемъ нулю.

Получимъ:

$$\frac{dz}{dm} = 2 - \frac{4m}{l} - \frac{d}{l} = 0,$$

откуда:

$$m = \frac{2l-d}{4} = \frac{l}{2} - \frac{d}{4}.$$

Для этой кривой $x = m$.

Слѣдовательно

$$x = \frac{l}{2} - \frac{d}{4} \quad \ldots \quad (95)$$

$$Max\, z = P\left(2 - \frac{2m}{l} - \frac{d}{l}\right)m = P\left(1 - \frac{d}{2l}\right)\left(\frac{l}{2} - \frac{d}{4}\right) \quad \ldots \quad (96)$$

Слѣдовательно, наибольшій сгибающій моментъ будетъ подъ первымъ грузомъ, отстоящимъ отъ средины пролета влѣво на четверть разстоянія между грузами.

Взявъ производную (b) по m и приравнявъ нулю, получимъ:

$$\frac{dz}{dm} = 2 - \frac{4m}{l} - \frac{3d}{l} = 0,$$

откуда:

$$m = \frac{2l-3d}{4} = \frac{l}{2} - \frac{3d}{4}.$$

Для этой кривой:

$$x = m + d = \frac{l}{2} - \frac{3d}{4} + d = \frac{l}{2} + \frac{d}{4}.$$

$$Max.\, z = P\left(2 - \frac{2m}{l} - \frac{d}{l}\right)(m+d) - P(m+d-m) = P\left(1 - \frac{d}{2l}\right)\left(\frac{l}{2} - \frac{d}{4}\right).$$

Такимъ образомъ, подъ вторымъ грузомъ наибольшій моментъ будетъ при $x = \frac{l}{2} + \frac{d}{4}$. Значеніе же этого момента то же, что и въ предыдущемъ случаѣ.

Возьмемъ *три* равныхъ груза:

$$A = P\frac{(l-m)}{l} + P\left(\frac{l-m-d}{l}\right) + P\frac{(l-m-2d)}{l} = P\left(3 - \frac{3m}{l} - \frac{3d}{l}\right).$$

Моменты:

$I \ldots z = Ax$

$II \ldots z = Ax - P(x-m)$

$III \ldots z = Ax - P(x-m) - P(x-m-d)$

$IV \ldots z = Ax - P(x-m) - P(x-m-d) - P(x-m-2d).$

Коэффиціенты при x:

$$I' \ldots A = P\left(3 - \frac{3m}{l} - \frac{3d}{l}\right);$$

$$II' \ldots A - P = P\left(2 - \frac{3m}{l} - \frac{3d}{l}\right);$$

$$III' \ldots A - 2P = P\left(1 - \frac{3m}{l} - \frac{3d}{l}\right);$$

$$IV' \ldots A - 3P = P\left(-\frac{3m}{l} - \frac{3d}{l}\right).$$

Предѣлы m суть 0 и $l - 2d$.

Здѣсь для отношенія $\frac{d}{l}$ можетъ быть два случая, когда

$$\frac{1}{2} > \frac{d}{l} > \frac{1}{3} \text{ и } \frac{d}{l} < \frac{1}{3}.$$

Разберемъ сначала первый случай, когда $\frac{1}{2} > \frac{d}{l} > \frac{1}{3}$:

При	$m = 0$	$m = l - 2d$
$I' \ldots$	> 0	> 0
$II' \ldots$	> 0	> 0
$III' \ldots$	< 0	< 0
$IV' \ldots$	< 0	< 0

Постоянство знаковъ тангенса сохранилось; слѣдовательно абсолютный *max.* находится на кривой переѣченія поверхностей *II* и *III*. Для этого имѣемъ условіе $x = m + d$, а уравненіе кривой есть:

$$z = P\left(3 - \frac{3m}{l} - \frac{3d}{l}\right)(m + d) - Pd.$$

Приравнивая производную по m нулю, получимъ:

$$3 - \frac{6m}{l} - \frac{6d}{l} = 0, \text{ откуда } m = \frac{3l - 6d}{6} = \frac{l}{2} - d,$$

$$x = m + d = \frac{l}{2} - d + d = \frac{l}{2}. \ldots\ldots\ldots (97)$$

Значеніе же абсолютнаго момента будутъ:

$$Max.\, z = P\left[3 - \frac{3}{l}\left(\frac{l}{2} - d\right) - \frac{3d}{l}\right]\frac{l}{2} - Pd = P\left(\frac{3l}{4} - d\right) \quad . \quad . \quad (98)$$

Разберемъ теперь случай, когда $\frac{d}{l} < \frac{1}{3}$.

При	$m = 0$	$m = l - 2d$
I' . . .	> 0	> 0
II' . . .	> 0	< 0
III' . . .	> 0	> 0
IV' . . .	< 0	< 0

Постоянство знаковъ, кромѣ крайнихъ сторонъ, пигдѣ не сохранилось.
Опредѣляемъ кривыя пересѣченія поверхностей: I и II, II и III, III и IV.

$$z = P\left(3 - \frac{3m}{l} - \frac{3d}{l}\right) m, \text{ при условіи } x = m; \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (a)$$

$$z = P\left(3 - \frac{3m}{l} - \frac{3d}{l}\right)(m + d) - Pd, \text{ при условіи } x = m + d; \quad . \quad . \quad . \quad (b)$$

$$z = P\left(3 - \frac{3m}{l} - \frac{3d}{l}\right)(m + 2d) - 3Pd, \text{ при условіи } x = m + 2d; \quad . \quad . \quad (c)$$

Опредѣляемъ значеніе m, при которомъ ординаты кривыхъ (a) и (b) равны между собою. Для этого имѣемъ:

$$0 = P\left(3 - \frac{3m}{l} - \frac{3d}{l}\right) d - Pd,$$

откуда:

$$m = \frac{2l - 3d}{3}.$$

Опредѣляя знакъ и величину тангенсовъ кривыхъ (a) и (b) при $m = \frac{2l - 3d}{3}$, получимъ:

$$\frac{dz}{dm} = 3 - \frac{6m}{l} - \frac{3d}{l} = 3 - \frac{2}{l}(2l - 3d) - \frac{3d}{l} = -1 + \frac{3d}{l} < 0 \quad . \quad . \quad (a')$$

$$\frac{dz}{dm} = 3 - \frac{6m}{l} - \frac{6d}{l} = 3 - \frac{2}{l}(2l - 3d) - \frac{6d}{l} = -1 < 0 \quad . \quad . \quad . \quad (b')$$

Второй тангенсъ болѣе перваго; слѣдовательно относительный *max.* кривой (b) болѣе относительнаго *max.* кривой (a).

Переходимъ къ кривымъ (b) и (c).

Условіемъ равенства ординатъ будетъ:

$$0 = P\left(3 - \frac{3m}{l} - \frac{3d}{l}\right) d - 2Pd,$$

откуда:

$$m = \frac{l - 3d}{3}.$$

Выраженія производныхъ (b) и (c) при этомъ значеніи m будутъ:

$$\frac{dz}{dm} = \left(3 - \frac{6m}{l} - \frac{6d}{l}\right) = 3 - \frac{2}{l}(l - 3d) - \frac{6d}{l} = 1 > 0 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (b')$$

$$\frac{dz}{dm} = \left[3 - \frac{6m}{l} - \frac{9d}{l}\right] = 3 - \frac{2}{l}(l - 3d) - \frac{9d}{l} = 1 - \frac{3d}{l} > 0 \quad . \quad . \quad (c')$$

И при этомъ сравненіи тангенсъ кривой (b) болѣе тангенса кривой (c). Слѣдовательно относительный *max.* кривой (b) будетъ вмѣстѣ съ тѣмъ и абсолютнымъ, а потому можемъ сказать, *что при дѣйствіи трехъ равныхъ грузовъ съ равнымъ взаимнымъ разстояніемъ, при условіи, что ни одинъ изъ грузовъ не сходитъ съ пролета, наибольшій моментъ будетъ всегда подъ среднимъ грузомъ, когда онъ достигнетъ средины пролета.*

Подобнымъ образомъ найдемъ *), что для четырехъ равныхъ грузовъ съ равными разстояніями получается два равныхъ наибольшихъ момента: одинъ подъ вторымъ грузомъ, другой подъ третьимъ, при чемъ въ первомъ случаѣ

$$m = \frac{l}{2} - \frac{5}{4}d; \quad x = \frac{l}{2} - \frac{d}{4};$$

во второмъ:

$$m = \frac{l}{2} - \frac{7}{4}d; \quad x = \frac{l}{2} + \frac{d}{4},$$

и въ обоихъ случаяхъ:

$$A = P\left[4 - \frac{8m}{l} - \frac{6d}{l}\right].$$

$$max.\ z = P\left[\left(2 - \frac{d}{l}\right)\left(\frac{l}{2} - \frac{d}{4}\right) - d\right].$$

Для пяти равныхъ грузовъ:

$$m = \frac{l}{2} - 2d; \quad x = m + 2d = \frac{l}{2},$$

т. е. опасное сѣченіе подъ среднимъ грузомъ, когда онъ дойдетъ до средины пролета. Значеніе же:

$$A = P\left[5 - \frac{5m}{l} - \frac{10d}{l}\right]; \quad Max.\ z = P\left[\frac{5l}{4} - 3d\right].$$

Сравнивая случаи съ однимъ, съ тремя, съ пятью, затѣмъ съ двумя и четырьмя равными грузами, можно подмѣтить законъ образованія выраженій для m, x, A и *max.* z и написать по аналогіи выраженія этихъ величинъ при n равныхъ грузахъ, различая n четное отъ n нечетнаго.

---

*) Ходъ вычисленія не помѣщаемъ, такъ какъ онъ понятенъ изъ предыдущаго.

Число грузовъ.	A.	m.
1	$P\left(1-\frac{m}{l}\right)=P\left(1-\frac{m}{l}-\frac{1(1-1)}{2}\cdot\frac{d}{l}\right)$	$\frac{l}{2}=\frac{l}{2}-\frac{(2\,.\,1-2)}{4}\cdot d$ . .
2	$P\left(2-\frac{2m}{l}-\frac{d}{l}\right)=P\left(2-\frac{2m}{l}-\frac{2(2-1)}{2}\cdot\frac{d}{l}\right)$	$\frac{l}{2}-\frac{d}{4}=\frac{l}{2}-\frac{(2\,.\,2-3)}{4}\,.\,d$ $\frac{l}{2}-\frac{3}{4}d=\frac{l}{2}-\frac{(2\,.\,2-1)}{4}\,.\,d$
3	$P\left(3-\frac{3m}{l}-\frac{3d}{l}\right)=P\left(3-\frac{3m}{l}-\frac{3(3-1)}{2}\cdot\frac{d}{l}\right)$	$\frac{l}{2}-d=\frac{l}{2}-\frac{(2\,.\,3-2)}{4}\,.\,d$
4	$P\left(4-\frac{4m}{l}-\frac{6d}{l}\right)=P\left(4-\frac{4m}{l}-\frac{4(4-1)}{2}\cdot\frac{d}{l}\right)$	$\frac{l}{2}-\frac{5}{4}d=\frac{l}{2}-\frac{(2\,.\,4-3)}{4}\,.\,d$ $\frac{l}{2}-\frac{7}{4}d=\frac{l}{2}-\frac{(2\,.\,4-1)}{4}\,.\,d$
5	$P\left(5-\frac{5m}{l}-\frac{10d}{l}\right)=P\left(5-\frac{5m}{l}-\frac{5(5-1)}{2}\cdot\frac{d}{l}\right)$	$\frac{l}{2}-2d=\frac{l}{2}-\frac{(2\,.\,5-2)}{4}\,.\,d$
6	$P\left(6-\frac{6m}{l}-\frac{15d}{l}\right)=P\left(6-\frac{6m}{l}-\frac{6(6-1)}{2}\cdot\frac{d}{l}\right)$	$\frac{l}{2}-\frac{9}{4}d=\frac{l}{2}-\frac{(2\,.\,6-3)}{4}\,.\,d$ $\frac{l}{2}-\frac{11}{4}d=\frac{l}{2}-\frac{(2\,.\,6-1)}{4}\,.\,d$
7	$P\left(7-\frac{7m}{l}-\frac{21d}{l}\right)=P\left(7-\frac{7m}{l}-\frac{7(7-1)}{2}\cdot\frac{d}{l}\right)$	$\frac{l}{2}-3d=\frac{l}{2}-\frac{(2\,.\,7-2)}{4}\,.\,d$

Такимъ образомъ:

для n нечетнаго $A=P\left(n-\frac{nm}{l}-\frac{n(n-1)}{2}\cdot\frac{d}{l}\right)$.

$$m=\frac{l}{2}-\frac{(2\,.\,n-2)}{4}d.$$

$$x=m+\frac{(n-1)}{2}\,.\,d=\frac{l}{2}.$$

$$max.\,z=max.\,M=P\left[n\,.\,\frac{l}{4}-\frac{(n^2-1)}{8}\,.\,d\right] \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (99)$$

для n четнаго $A=P\left(n-\frac{nm}{l}-\frac{n(n-1)}{2}\cdot\frac{d}{l}\right)$.

$$m=\begin{cases}\frac{l}{2}-\frac{(2\,.\,n-3)}{4}\,.\,d\,.\\ \frac{l}{2}-\frac{(2\,.\,n-1)}{4}\,.\,d\,.\end{cases}$$

$$\left.\begin{aligned}x&=m+\frac{(2n-4)}{4}d=\frac{l}{2}-\frac{d}{4}\\ x&=m+\frac{2n}{4}\,.\,d=\frac{l}{2}+\frac{d}{4}\end{aligned}\right\}.$$

$$max.\,z=max.\,M=P\frac{n}{2}\left[\left(1-\frac{d}{2l}\right)\left(\frac{l}{2}-\frac{d}{4}\right)-\frac{(n-2)}{4}\,.\,d\right]. \quad (100$$

x.	*Max. z.*
$m = \frac{l}{2}$ . . .	$P\frac{l}{4} = P\left(\frac{1 \cdot l}{4} - \frac{(1^2-2)}{8} \cdot d\right)$
$m = \frac{l}{2} - \frac{d}{4}$ . . $m + d = \frac{l}{2} + \frac{d}{4}$ . .	$P\left(1 - \frac{d}{2l}\right)\left(\frac{l}{2} - \frac{d}{4}\right) = P \cdot \frac{2}{2}\left[\left(1 - \frac{d}{2l}\right)\left(\frac{l}{2} - \frac{d}{4}\right) - \frac{(2-2)}{4} \cdot d\right]$
$m + d = \frac{l}{2}$ . . .	$P\left(\frac{3}{4} \cdot l - d\right) = P\left[3 \cdot \frac{l}{4} - \frac{(3^2-1)}{8} \cdot d\right]$
$m + d = \frac{l}{2} - \frac{d}{4}$ . . $m + 2d = \frac{l}{2} + \frac{d}{4}$ . .	$P\left[\left(2 - \frac{d}{l}\right)\left(\frac{l}{2} - \frac{d}{4}\right) - d\right] = P \cdot \frac{4}{2}\left[\left(1 - \frac{d}{2l}\right)\left(\frac{l}{2} - \frac{d}{4}\right) - \frac{(4-2)}{4} \cdot d\right]$
$m + 2d = \frac{l}{2}$ . . .	$P\left(\frac{5 \cdot l}{4} - 3d\right) = P\left[\frac{5 \cdot l}{4} - \frac{(5^2-1)}{8} \cdot d\right]$
$m + 2d = \frac{l}{2} - \frac{d}{4}$ . . $m + 3d = \frac{l}{2} + \frac{d}{4}$ . .	$P\left[\left(3 - \frac{3}{2} \cdot \frac{d}{l}\right)\left(\frac{l}{2} - \frac{d}{4}\right) - 3d\right] = P \cdot \frac{6}{2}\left[\left(1 - \frac{d}{2l}\right)\left(\frac{l}{2} - \frac{d}{4}\right) - \frac{(6-2)}{5} \cdot d\right]$
$m + 3d = \frac{l}{2}$ . . .	$P\left(\frac{7 \cdot l}{4} - 6d\right) = P\left[\frac{7 \cdot l}{4} - \frac{(7^2-1)}{8} \cdot d\right]$.

Опредѣленіе признаковъ, указывающихъ предѣльное на пролетѣ число равныхъ, на одинаковомъ разстояніи разставленныхъ грузовъ, вызывающихъ тах. момента.

Съ увеличеніемъ числа грузовъ на данномъ пролетѣ численная величина момента вообще увеличивается; поэтому для полученія наибольшаго M располагаютъ на пролетѣ наибольшее возможное число грузовъ. Однако при извѣстномъ отношеніи между величиной пролета, численнымъ значеніемъ нагрузокъ и разстояніями между ними, наибольшее значеніе момента получается не въ томъ случаѣ, когда на пролетѣ помѣщается наибольшее возможное число грузовъ, а при сведеніи съ пролета одного или нѣсколькихъ крайнихъ грузовъ. Очевидно это случается тогда, когда крайніе грузы располагаются очень близко къ опорамъ, а остальные удалены отъ середины пролета.

То же самое случается при равныхъ сосредоточенныхъ грузахъ съ одинаковымъ между ними разстояніемъ, при чемъ вышеупомянутое отношеніе или зависимость выражается проще. Разсмотримъ этотъ случай.

Чтобы найти признаки, которые указывали бы, будетъ ли *тах.* M при нахожденіи на пролетѣ наибольшаго возможнаго числа *равныхъ* грузовъ съ *одинаковымъ* между ними разстояніемъ, или же при сведеніи одного изъ грузовъ,— достаточно приравнять аналитическія выраженія *тах.* M для даннаго возможнаго наибольшаго числа грузовъ и для числа грузовъ *однимъ меньше*. Изъ этого равенства мы найдемъ извѣстную зависимость:

$$d = \varphi(l)$$

между разстояніемъ одного груза отъ другого и величиною пролета, что́ и будетъ служить искомымъ признакомъ.

Если для какого нибудь даннаго случая удовлетворяется условіе:

$$d = \varphi\,(l),$$

то слѣд. безразлично, будетъ ли на пролетѣ наибольшее возможное число грузовъ, или же однимъ меньше. Если $d > \varphi\,(l)$, то необходимо свести одинъ изъ грузовъ, а при $d < \varphi\,(l)$, *max.* M получится при нахожденіи на пролетѣ всего числа грузовъ.

Прправняемъ поэтому одно другому выраженія *max.* M для четнаго (100) и нечетнаго (99) числа грузовъ, имѣя при томъ въ виду сдѣлать сравненіе четнаго числа съ предъидущимъ и послѣдующимъ нечетными числами.

Называя чрезъ n четное число грузовъ, необходимо слѣд. въ формулѣ (99) вмѣсто n поставить $(n-1)$ и $(n+1)$.

Тогда значеніе *max.* M для *предъидущаго нечетнаго числа* будетъ:

$$max.\ M = P\left[(n-1)\frac{l}{4} - \left\{\frac{(n-1)^2-1)}{8}\right\} . d\right] =$$

$$= P\left[(n-1)\frac{l}{4} - n\frac{(n-2)}{8}\right], \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (99')$$

и для *послѣдующаго нечетнаго числа*:

$$max.\ M = P\left[(n+1)\frac{l}{4} - \left\{\frac{(n+1)^2-1}{8}\right\} . d\right] =$$

$$= P\left[(n+1)\frac{l}{4} - n\frac{(n+2)}{8}\right]. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (99'')$$

Приравнявъ (99′) и (100), имѣемъ:

$$(n-1)\frac{l}{4} - n\frac{(n-2)}{8} . d = \frac{n}{2}\left\{\left(1-\frac{d}{2l}\right)\left(\frac{l}{2}-\frac{d}{4}\right) - \frac{(n-2)}{4} . d\right\}$$

или:

$$-\frac{l}{4} + \frac{nd}{4} = \frac{nd^2}{16l},$$

откуда:

$$d = 2l - \sqrt{4l^2 - \frac{4l^2}{n}} = 2l\left(1 - \sqrt{1-\frac{1}{n}}\right) \quad . \quad . \quad . \quad (101)$$

Приравнявъ (99″) и (100), получимъ:

$$(n+1)\frac{l}{4} - \frac{n(n+2)}{8} d = \frac{n}{2}\left\{\left(1-\frac{d}{2l}\right)\left(\frac{l}{2}-\frac{d}{4}\right) - \left(\frac{n-2}{4}\right) . d\right\}$$

или:

$$\frac{l}{4} - \frac{dn}{4} = \frac{nd^2}{16l},$$

откуда:

$$d = -2l + \sqrt{4l^2 + \frac{4l^2}{n}} = 2l\left(\sqrt{1+\frac{1}{n}} - 1\right) \quad . \quad . \quad . \quad (102)$$

Формулу (101) слѣдуетъ примѣнять при сравненіи *четнаго* числа грузовъ съ *предъидущимъ нечетнымъ*, т. е. 2 съ 1, 4 съ 3, 6 съ 5 и т. д.

Формула же (102) относится къ случаю сравненія *четнаго числа* грузовъ съ *послѣдующимъ нечетнымъ*, т. е. для сравненія 2 съ 3, 4 съ 5, 6 съ 7 и т. д.

Такимъ образомъ, поставивъ въ формулу (101), вмѣсто n, послѣдовательно: 2, 4, 6 и 8, получимъ:

$$\text{при } n = 2,\ d = 2l\left(1 - \sqrt{\frac{1}{2}}\right) = 0{,}586\,l$$

$$\text{» } n = 4,\ d = 2l\left(1 - \sqrt{\frac{3}{4}}\right) = 0.268\,l$$

$$\text{» } n = 6,\ d = 2l\left(1 - \sqrt{\frac{5}{6}}\right) = 0{,}174\,l$$

$$\text{» } n = 8,\ d = 2l\left(1 - \sqrt{\frac{7}{8}}\right) = 0{,}131\,l$$

а при постановкѣ тѣхъ же величинъ въ формулу (102), найдемъ:

$$\text{при } n = 2,\ d = 2l\left(\sqrt{\frac{3}{2}} - 1\right) = 0{,}449\,l$$

$$\text{» } n = 4,\ d = 2l\left(\sqrt{\frac{5}{4}} - 1\right) = 0{,}236\,l$$

$$\text{» } n = 6,\ d = 2l\left(\sqrt{\frac{7}{6}} - 1\right) = 0{,}160\,l$$

$$\text{» } n = 8,\ d = 2l\left(\sqrt{\frac{9}{8}} - 1\right) = 0{,}121\,l.$$

На основаніи вышеизложеннаго можемъ составить такую таблицу:

Наибольшее возможное число грузовъ на пролетѣ.	Признаки, указывающіе имѣетъ ли мѣсто *max. M* при полномъ числѣ грузовъ на пролетѣ или при сведеніи одного изъ грузовъ.	Соотвѣтствующее значеніе *max. M.*	Сѣченіе, въ которомъ имѣетъ мѣсто *max. M.*
1	. . . . .	$\frac{Pl}{4}$	$x = \frac{l}{2}$
2	при $d > 0{,}586l$. 1 гр.	$\frac{Pl}{4}$	$x = \frac{l}{2}$
	при $d < 0{,}586l$. 2 гр.	$P\left(1 - \frac{d}{2l}\right)\left(\frac{l}{2} - \frac{d}{4}\right)$ . .	$x = \frac{l}{2} - \frac{d}{4}$ и $x' = \frac{l}{2} + \frac{d}{4}$
3	при $d > 0{,}449l$. 2 гр.	$P\left(1 - \frac{d}{2l}\right)\left(\frac{l}{2} - \frac{d}{4}\right)$ . .	$x = \frac{l}{2} - \frac{d}{4}$ и $x' = \frac{l}{2} + \frac{d}{4}$
	при $d < 0{,}449l$. 3 гр.	$P\left(\frac{3}{4}l - d\right)$	$x = \frac{l}{2}$

Наибольшее возможное число грузовъ на пролетѣ.	Признаки, указывающіе имѣетъ ли мѣсто *max. M* при полномъ числѣ грузовъ на пролетѣ или при сведеніи одного изъ грузовъ.	Соотвѣтствующее значеніе *max. M.*	Сѣченіе, въ которомъ имѣетъ мѣсто *max. M.*
4	при $d > 0{,}268l$. 3 гр.	$P\left(\frac{3}{4}l - d\right)$	$x = \frac{l}{2}$
	при $d < 0{,}268l$. 4 гр.	$P\left[\left(2 - \frac{d}{l}\right)\left(\frac{l}{2} - \frac{d}{4}\right) - d\right]$	$x = \frac{l}{2} - \frac{d}{4}$ и $x' = \frac{l}{2} + \frac{d}{4}$
5	при $d > 0{,}236l$. 4 гр.	$P\left[\left(2 - \frac{d}{l}\right)\left(\frac{l}{2} - \frac{d}{4}\right) - d\right]$	$x = \frac{l}{2} - \frac{d}{4}$ и $x' = \frac{l}{2} + \frac{d}{4}$
	при $d < 0{,}236l$. 5 гр.	$P\left(\frac{5}{4}l - 3d\right)$	$x = \frac{l}{2}$
6	при $d > 0{,}174l$. 5 гр.	$P\left(\frac{5}{4}l - 3d\right)$	$x = \frac{l}{2}$
	при $d < 0{,}174l$. 6 гр.	$P\left[\left(3 - \frac{3}{2}\frac{d}{l}\right)\left(\frac{l}{2} - \frac{d}{4}\right) - 3d\right]$	$x = \frac{l}{2} - \frac{d}{4}$ и $x' = \frac{l}{2} + \frac{d}{4}$
7	при $d > 0{,}160l$. 6 гр.	$P\left[\left(3 - \frac{3}{2}\frac{d}{l}\right)\left(\frac{l}{2} - \frac{d}{4}\right) - 3d\right]$	$x = \frac{l}{2} - \frac{d}{4}$ и $x' = \frac{l}{2} + \frac{d}{4}$
	при $d < 0{,}160l$. 7 гр.	$P\left(\frac{7}{4}l - 6d\right)$	$x = \frac{l}{2}$
8	при $d > 0{,}131l$. 7 гр.	$P\left(\frac{7}{4}l - 6d\right)$	$x = \frac{l}{2}$
	при $d < 0{,}131l$. 8 гр.	$P\left[\left(4 - 2\frac{d}{l}\right)\left(\frac{l}{2} - \frac{d}{4}\right) - 6d\right]$	$x = \frac{l}{2} - \frac{d}{4}$ и $x' = \frac{l}{2} + \frac{d}{4}$

Опредѣленіе абсолютнаго max. момента при совмѣстномъ дѣйствіи сосредоточенныхъ грузовъ и равномѣрной сплошной нагрузки, покрывающей весь пролетъ.

Пусть (рис. 361): l—пролетъ балки; p—сплошная равномѣрно-распредѣленная нагрузка на единицу длины; P, P', P'', ... P^{n-1} и P^n—сосредоточенные грузы; d, d', d'' .... d^{n-1}—взаимное разстояніе между ними; m—перемѣнное разстояніе иерваго груза отъ лѣвой опоры.

Тогда сопротивленіе лѣвой опоры:

$$A = \frac{pl}{2} + P\left(1 - \frac{m}{l}\right) + P'\left(1 - \frac{m}{l} - \frac{d}{l}\right) + \ldots .$$

$$\ldots . + P^n\left(1 - \frac{m}{l} - \frac{d}{l} - \ldots . - \frac{d^{n-1}}{l}\right) . . . . . \quad (103)$$

Выраженіе моментовъ внѣшнихъ силъ въ различныхъ участкахъ балки:

$$(A)\begin{cases} I\ldots z = Ax - \dfrac{px^2}{2} = \left[\dfrac{pl}{2} + P + P'\left(1 - \dfrac{d}{l}\right) + P'\left(1 - \dfrac{d}{l} - \dfrac{d'}{l}\right) + \ldots\right]x \\ \qquad - \dfrac{m}{l}\left[P + P' + P'' + \ldots + P^n\right]x - \dfrac{px^2}{2}; \\ II\ldots z = Ax - P(x-m) - \dfrac{px^2}{2} = \left[\dfrac{pl}{2} + P + P'\left(1 - \dfrac{d}{l}\right) + \ldots \right. \\ \qquad \left. \ldots + P^n\left(1 - \dfrac{d}{l} + \ldots + \dfrac{d^{n-1}}{l}\right)\right]x - \dfrac{m}{l}\left[P + P' + \right. \\ \qquad \left. + P'' + \ldots + P^n\right]x - P(x-m) - \dfrac{px^2}{2}; \\ III\ldots z = Ax - P(x-m) - P'(x-m-d) - \dfrac{px^2}{2}; \\ \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ n+1\ldots z = Ax - P(x-m) - P'(x-m-d) - \ldots \\ \qquad \ldots - P^n(x - m - d - \ldots - d^{n-1}) - \dfrac{px^2}{2}. \end{cases}$$

Для изслѣдованія, что̀ представляютъ собою эти уравненія, разсмотримъ z, x и m, какъ координаты точки нѣкоторой поверхности, отнесенной къ тремъ взаимно-перпендикулярнымъ осямъ. Полагая: $x = \omega$, т. е. засѣкая поверхность плоскостью, параллельною плоскости координатъ zom, получимъ систему уравненій вида: $z = \alpha m + \beta$, что̀ есть уравненіе *прямой*. Полагая $m = \omega$, получимъ уравненіе вида: $z = \alpha x^2 + \beta x + \gamma$, т. е. уравненіе *параболы*. Полагая $z = \omega$, т. е. засѣкая плоскостью, параллельною плоскости координатъ xom, получимъ уравненіе вида: $\alpha x^2 + \beta x + \gamma xm + \delta m + \Sigma = 0$, что̀ представляетъ собою уравненіе *гиперболы*. Затѣмъ каждая смежная пара написанныхъ уравненій удовлетворяется въ послѣдовательномъ порядкѣ значеніями: $x = m$; $x = m + d$; $x = m + d + d'$ и т. д., при чемъ уравненія кривыхъ пересѣченія вида: $z = \alpha m^2 + \beta m + \gamma$, т. е. уравненія *параболы*. Наконецъ, засѣкая поверхности плоскостью, проходящею черезъ ось z-овъ и составляющей съ плоскостью координатъ zox уголъ, измѣряемый линейнымъ угломъ φ, $tang$ коего:

$$tang\,\varphi = \frac{m}{x} = -\frac{pl}{2}\left(\frac{1}{P + P' + \ldots + P^n}\right), \quad \text{(рис. 362)}$$

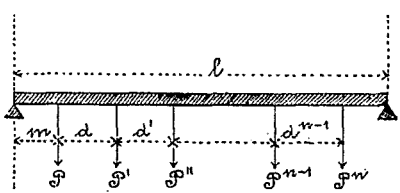


Рис. 361.

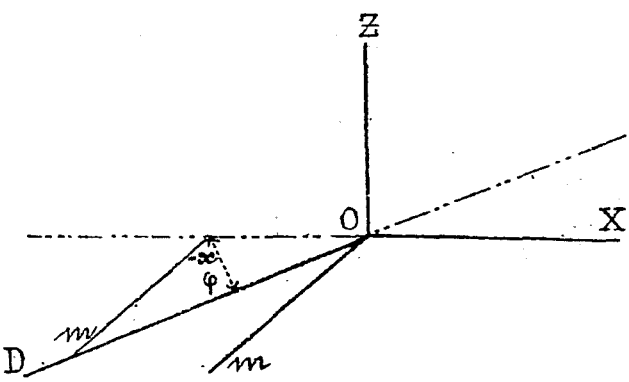


Рис. 362.

т. е. засѣкая плоскостью, уравненіе коей:

$$m = -\frac{pl}{2}\left(\frac{1}{P + P' + \ldots + P^n}\right)x,$$

получимъ, по совмѣстномъ рѣшеніи, уравненіе вида:

$$z = \alpha x + \beta,$$

что есть уравненіе *прямой*.

Того же вида уравненія получатся, если заѣчь поверхности плоскостями, параллельными этой плоскости, т. е. уравненіе которыхъ:

$$m = -\frac{pl}{2}\left(\frac{1}{P + P' + \ldots + P^n}\right)x + q.$$

Такимъ образомъ, группа уравненій (A) представляетъ собою поверхности *гиперболическихъ параболоидовъ*, пересѣкающихся попарно по параболамъ, расположеннымъ въ плоскостяхъ, параллельныхъ плоскости, равподѣлящей двугранный уголъ $xozm$. Производящія же прямыя расположены: одна система въ плоскостяхъ, параллельныхъ zom, а другая система—въ плоскостяхъ, параллельныхъ плоскости ZOD, уравненіе коей:

$$m = -\frac{pl}{2}\left(\frac{1}{P + P' + P'' + \ldots + P^n}\right)x.$$

Если бы не было сплошной нагрузки, то уравненія моментовъ, какъ извѣстно, также представляли бы собою поверхности гиперболическихъ параболоидовъ, отличающихся отъ предыдущихъ только тѣмъ, что обѣ системы производящихъ прямыхъ были бы расположены въ плоскостяхъ, параллельныхъ плоскостямъ координатъ zom и zox *). Слѣдовательно, въ послѣднемъ случаѣ выраженія мо-

---

*) Изъ нижеслѣдующаго расчета тоже можно видѣть, что группа уравненій (A) представляетъ собою уравненія гиперболическихъ параболоидовъ.

Если положить начало координатъ въ вершинѣ параболоида, ось коего направлена по оси z-овъ, при чемъ плоскость координатъ zom совпадаетъ съ діаметральной плоскостью, а ось x-овъ — нормальна къ этой плоскости, то, какъ извѣстно, уравненіе гиперболическаго параболоида: $am^2 - bx^2 = z$ (рис. 363). Измѣняя направленіе осей координатъ такъ, чтобы:

$$\left.\begin{aligned} m &= m' \cdot \cos\varphi + x' \cdot \sin\varphi \\ x &= m' \cdot \sin\varphi + x' \cdot \cos\varphi \\ z &= z' \cdot \ldots \end{aligned}\right\}$$

получимъ:

$$m'^2 (a \cdot \cos^2\varphi - b \cdot \sin^2\varphi) + x'^2 (a \cdot \sin^2\varphi - b \cdot \cos^2\varphi) - 2m'x' (a \cdot \cos\varphi \cdot \sin\varphi + b \cdot \sin\varphi \cdot \cos\varphi) = z'.$$

Полагая:

$$a \cdot \cos^2\varphi = b \cdot \sin^2\varphi$$

(такъ какъ φ—совершенно произвольно), получимъ:

$$x'^2 (a \cdot \sin^2\varphi - b \cdot \cos^2\varphi) - 2m'x' (a \cdot \cos\varphi \cdot \sin\varphi + b \cdot \sin\varphi \cdot \cos\varphi) = z' \ldots (a)$$

или

$$\alpha x'^2 + \beta m'x' = z'.$$

Измѣняемъ положеніе начала координатъ, полагая:

$$x' = x'' + p; \quad m' = m'' + q; \quad z' = z''.$$

Тогда предыдущее уравненіе обратится въ:

$$\alpha (x''^2 + 2x''p + p^2) + \beta (m''x'' + m''p + x''q + pq) = z'', \ldots (b)$$

или въ уравненіе вида:

$$z = \alpha x^2 + \beta x + \gamma mx + \delta m + \Sigma,$$

что есть общій видъ уравненій группы (A).

Если уравненіе параболоида содержитъ постоянный членъ, то, какъ извѣстно, начало

ментовъ внѣшнихъ силъ представляютъ собою уравненія *равнобочныхъ* гиперболическихъ параболоидовъ, а во второмъ случаѣ—обыкновеиныхъ гиперболическихъ параболоидовъ.

Такимъ образомъ и въ даиномъ случаѣ отысканіе абсолютнаго *maximum*'а момента сводится къ отысканію наивысшей ординаты въ системѣ попарно-пере-

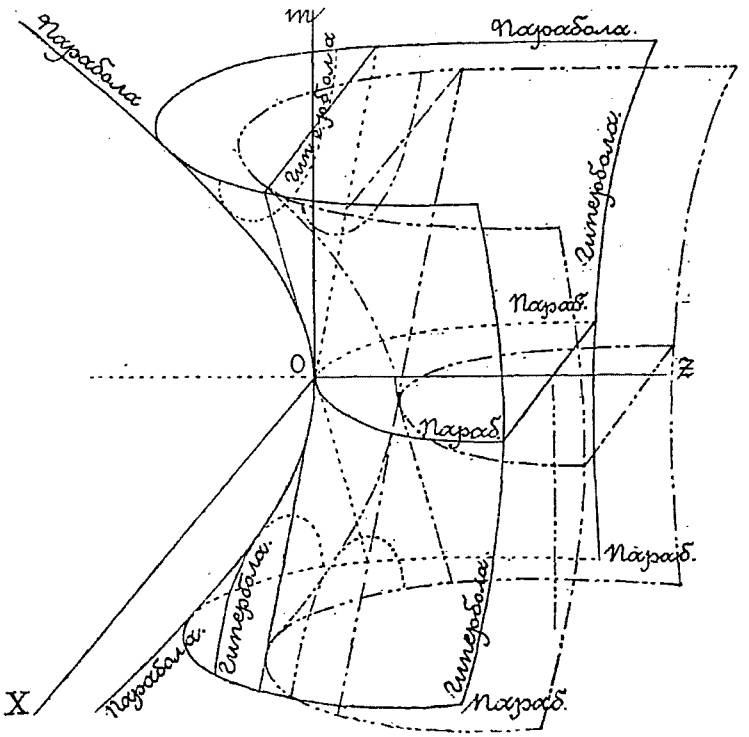


Рис. 363.

сѣкающихся гиперболическихъ параболоидовъ. Такъ какъ отъ пересѣченія данныхъ поверхностей плоскостями, параллельными плоскости *zom* или параллель-

---

координатъ O не лежитъ на поверхности параболоида, который можетъ принять тогда положеніе, показанное пунктиромъ на рис. 363.

Если въ уравненіи гиперболическаго параболоида:

$$am^2 - bx^2 = z$$

положимъ:

$$a = b,$$

то изъ условія:

$$a \cdot \cos^2\varphi = b \cdot \sin^2\varphi$$

вытекаетъ:

$$\cos\varphi = \sin\varphi,$$

и, слѣдовательно, уравненіе (a) обратится въ:

$$4m'x'a \cdot \cos\varphi \cdot \sin\varphi = z,$$

а уравненіе (b) приметъ видъ:

$$4a \cdot \cos\varphi \cdot \sin\varphi \ (x''m'' + x''q + pm'' + pq) = z,$$

или:

$$z = \alpha x + \beta mx + \gamma m + \delta,$$

что есть общій видъ уравненія моментовъ отъ дѣйствія однихъ только сосредоточенныхъ грузовъ.

Уравненіе же: $$a\ (m^2 - x^2) = z$$

представляетъ собою равнобочный гиперболическій параболоидъ.

ными плоскости, уравненіе коей:

$$m = -\frac{pl}{2}\left(\frac{1}{P + P' + \ldots + P^n}\right)x,$$

получаются въ сѣченіяхъ прямолинейные многоугольники, то наивысшая ордината будетъ находиться въ точкѣ пересѣченія какихъ-либо двухъ смежныхъ сторонъ многоугольника, т. е. гдѣ-нибудь на одной изъ кривыхъ пересѣченія двухъ смежныхъ поверхностей. Отсюда слѣдуетъ такое положеніе: *при дѣйствіи на балку системы сосредоточенныхъ грузовъ и сплошной нагрузки,—абсолютный максимумъ момента будетъ всегда имѣть мѣсто подъ какимъ-либо грузомъ, но*

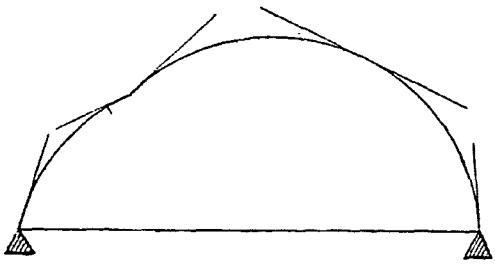


Рис. 364.



Рис. 365.

не въ промежуткѣ между грузами. Что же касается самаго пріема расчета, то онъ остается безъ измѣненія, сравнительно съ указаннымъ для одиихъ только сосредоточенныхъ грузовъ. Слѣдуетъ обратить вниманіе только на слѣдующія два обстоятельства. Если засѣкать поверхности плоскостями, параллельными плоскости координатъ *zoт*, то при опредѣленіи знаковъ *tang* угла наклоненія сторонъ многоугольника при предѣльныхъ значеніяхъ *m*,—необходимо для каждаго участка выписывать соотвѣтственные крайніе иредѣлы *x* въ зависимости отъ предѣловъ *m*. Засѣкая же поверхности плоскостями, параллельными плоскости координатъ *zox*, мы получимъ въ сѣченіяхъ криволинейный многоугольникъ и, очевидно, при предѣльныхъ значеніяхъ *m* — необходимо опредѣлить знакъ *tang* угла наклоненія касательныхъ, проведенныхъ въ начальной и въ конечной точкѣ къ каждой изъ криволинейныхъ сторонъ многоугольника (рис. 364). Если бы, напримѣръ, оказалось, что при предѣльныхъ значеніяхъ *m*, въ первой группѣ криволинейныхъ сторонъ многоугольника *tang* угла наклоненія касательной въ конечныхъ точкахъ криволинейной стороны сохраняетъ знакъ +, а во второй группѣ сохраняетъ знакъ —, тогда, очевидно, абсолютный максимумъ будетъ на кривой пересѣченія тѣхъ поверхностей, коимъ соотвѣтствуютъ криволинейныя стороны многоугольника, имѣющія въ точкѣ пересѣченія тангенсы съ противоположными знаками (рис. 365). Если же перемѣна знаковъ *tang* имѣетъ мѣсто въ нѣсколькихъ послѣдовательныхъ криволинейныхъ сторонахъ многоугольника, то казалось бы, съ перваго взгляда, что абсолютный *maximum* можетъ иахо-

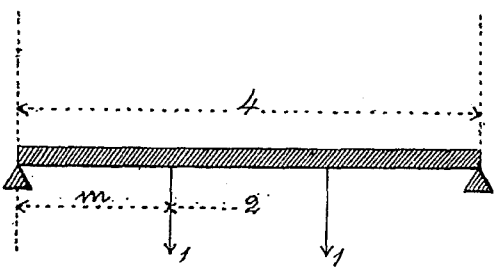


Рис. 366.

диться гдѣ-нибудь на кривой пересѣченія двухъ смежныхъ поверхностей (т. е. подъ какимъ-либо грузомъ), или въ промежуткѣ между ними (т. е. между двумя какимъ-либо грузами). Но на основаніи замѣчанія, приведеннаго выше, послѣднее предположеніе не можетъ имѣть мѣста и слѣдовательно остается по извѣстному пріему опредѣлить, на которой изъ кривыхъ пересѣченія долженъ находиться при этомъ *max*.

Поясникъ сказанное нѣсколькими примѣрами:

Первый примѣръ. Пусть равномѣрно распредѣленная нагрузка $p = 4$ пуд. на погонный футъ; остальныя данныя показаны на рис. 366. Сопротивленіе лѣвой опоры:

$$A = 8 + 1\left(1 - \frac{m}{4}\right) + 1\left(1 - \frac{m}{4} - \frac{2}{4}\right) = 9{,}5 - 0{,}5\,m;$$

$$I \ldots z = (9{,}5 - 0{,}5\,m)\ x - 2x^2;$$

$$II \ldots z = (9{,}5 - 0{,}5\,m)\ x - 1\ (x - m) - 2x^2;$$

$$III \ldots z = (9{,}5 - 0{,}5\,m)\ x - 1\ (x - m) - 1\ (x - m - 2) - 2x^2.$$

Засѣкаемъ плоскостями, параллельными плоскости *zom*, т. е. будемъ давать x—послѣдовательныя опредѣленныя значенія. Въ сѣченіяхъ получимъ прямолинейные многоугольники. Для опредѣленія знака *tang* угла наклоненія этихъ сторонъ, необходимо взять производную по m и изслѣдовать знаки при предѣльныхъ значеніяхъ x, соотвѣтствующихъ предѣльнымъ значевіямъ m. Въ зависимости отъ предѣльныхъ значеній m, то есть 0 и 2, предѣльныя значенія x для различныхъ участковъ слѣдующія:

Предѣльныя значенія x:		при $x = 0$	при $x = 2$
для I ... 0 и 2	$I \ldots \frac{dz}{dm} = -0{,}5x$	$= 0$	< 0
		при $x = 0$	при $x = 4$
для II ... 0 и 4	$II \ldots \frac{dz}{dm} = -0{,}5x + 1$	> 0	< 0
		при $x = 2$	при $x = 4$
для III ... 2 и 4	$III \ldots \frac{dz}{dm} = -0{,}5x + 2$	> 0	$= 0$

Слѣдовательно, абсолютный *maximum* можетъ быть или на кривой пересѣченія поверхностей I и II или на кривой пересѣченія поверхностей II и III. Уравненіе первой кривой:

$$z' = (9{,}5 - 0{,}5m)\ m - 2m^2.$$

Уравненіе второй кривой:

$$z'' = (9{,}5 - 0{,}5m)\ (m + 2) - 2 - 2\ (m + 2)^2.$$

Абсцисса m, соотвѣтствующая точкѣ пересѣченія обѣихъ кривыхъ, по ихъ совмѣщеніи, найдется изъ:

$$(9{,}5 - 0{,}5m)\ 2 - 2 - 2\ (4m + 4) = 0, \text{ откуда: } m = 1;$$

$$\left[\frac{dz'}{dm}\right]_{m=1} = [9{,}5 - m - 4m]_{m=1} = + 4{,}5$$

$$\left[\frac{dz''}{dm}\right]_{m=1} = [9{,}5 - m - 1 - 4m - 8]_{m=1} = - 4{,}5$$

} оба тангенса имѣютъ одинаковое численное значеніе;

слѣдовательно, абсолютный *maximum* можетъ находиться на каждой изъ кривыхъ. Приравнивая для сего нулю производную функціи, представляющей уравненіе первой кривой, получимъ:

$$\frac{dz'}{dm} = 9{,}5 - m - 4m = 0, \text{ откуда: } m = 1{,}9.$$

Кромѣ того, $x = m = 1{,}9$. Вставляя эти значенія m и x въ уравненіе первой кривой, получимъ:

$$max.\ z' = \text{абсол. } max.\ z = 8{,}55 \times 1{,}9 - 2 = 1{,}9^2 = 9{,}025 \text{ п. ф.}$$

Другой абсолютный maximum будетъ, очевидно, подъ вторымъ грузомъ, удаленнымъ отъ лѣвой опоры на разстояніе: $4 - 1{,}9 = 2{,}1$ ф., при чемъ численное значеніе абсолютнаго maximum'а будетъ тоже самое *).

Рѣшимъ ту же задачу, засѣкая поверхности плоскостями, параллельными плоскости координатъ zox. Взявъ производную по x, опредѣлимъ знаки *tang* угловъ наклоненія касательныхъ въ началѣ и концѣ каждой изъ криволинейныхъ сторонъ при предѣльныхъ значеніяхъ m, выписавъ соотвѣтственныя предѣльныя значенія x для начала и конца *каждой криволинейной* стороны многоугольника.

Такъ, напримѣръ, въ первомъ участкѣ:

для $m = 0$ . . . . . $x = 0$
» $m = 2$ . . . . . $x = 0$ и $x = 2$.

Во второмъ участкѣ:

для $m = 0$ . . . . . $x = 0$ и $x = 2$
» $m = 2$ . . . . . $x = 2$ и $x = 4$ и т. д.

Такимъ образомъ:

	$m = 0$		$m = 2$	
		$x = 0$	$x = 0,$	$x = 2$
I . . . . . $\frac{dz}{dx} = 9{,}5 - 0{,}5\,m - 4x$		> 0	> 0	> 0
	$x = 0,$	$x = 2$	$x = 2,$	$x = 4$
II . . . . . $\frac{dz}{dx} = 8{,}5 - 0{,}5\,m - 4x$	> 0	> 0	< 0	< 0
	$x = 2,$	$x = 4$	$x = 4$	
III . . . . . $\frac{dz}{dx} = 7{,}5 - 0{,}5\,m - 4x$	< 0	< 0	< 0	

*) Если бы разсматривать сосредоточенные грузы, независимо отъ сплошной нагрузки, то абсолютный maximum имѣлъ бы мѣсто подъ первымъ грузомъ, удаленнымъ отъ лѣвой опоры на разстояніе:

$$x = \frac{l}{2} - \frac{d}{4} = 2 - 0{,}5 = 1{,}5 \text{ ф.}$$

и численное значеніе момента:

$$z' = 1\left(\frac{2{,}5 + 0{,}5}{4}\right) \times 1{,}5 = 1{,}125 \text{ п. ф.}$$

Значеніе момента отъ сплошной нагрузки въ томъ же сѣченіи:

$$z'' = 8 \times 1{,}5 - \frac{4 \times 1{,}5^2}{2} = 7{,}5 \text{ п. ф. . .}$$

Итого:

$$z = 1{,}125 + 7{,}5 = 8{,}625 \text{ п. ф.}$$

Взявъ съ другой стороны сѣченіе, соотвѣтствующее наибольшему моменту отъ сплош-

Разсмотрѣніе знаковъ *tang* угловъ наклоненія показываетъ, что абсолютный maximum можетъ быть на кривой пересѣченія, I и II поверхностей, или II и III, или, наконецъ, гдѣ-нибудь въ промежуткѣ между обоими грузами, т. е. во второмъ участкѣ. Въ первомъ и въ третьемъ участкахъ этотъ maximum не можетъ имѣть мѣста, такъ какъ при обоихъ предѣльныхъ значеніяхъ m не происходитъ перемѣны знаковъ въ *tang* угловъ наклоненія касательныхъ, проведенныхъ къ концевымъ частямъ криволинейныхъ сторонъ.

Что касается изслѣдованія кривыхъ пересѣченія I и II, II и III поверхностей, съ цѣлью отысканія абсолютнаго maximum'а, то мы придемъ, очевидно, къ тому же выводу, какъ и ранѣе. Остается опредѣлить наибольшую ординату гиперболическаго параболоида, соотвѣтствующаго второму участку. Такъ какъ въ данномъ случаѣ:

$$\text{II} \ldots\ldots z = (9{,}5 - 0{,}5\,m)\ x = 1\ (x - m) - 2\,x^2$$

функція двухъ независимыхъ перемѣнныхъ, то условіе отысканія maximum'а сводится къ совмѣстному рѣшенію двухъ уравненій:

$$\frac{dz}{dm} = -0{,}5x + 1 = 0;\quad \frac{dz}{dx} = 9{,}5 - 0{,}5\,m - 1 - 4x = 0,$$

откуда:

$$x = 2;\ m = 1.$$

Оба значенія возможны, такъ какъ для второго участка должно быть $x > m$ и предѣлы для m: 0 и 2.

Вставляя найденныя значенія m во II, получимъ:

$$max.\ z = 18 - 1 - 8 = 9 \text{ и. ф.},$$

т. е. *max.* z въ промежуткѣ между грузами менѣе того, который имѣетъ мѣсто подъ грузомъ.

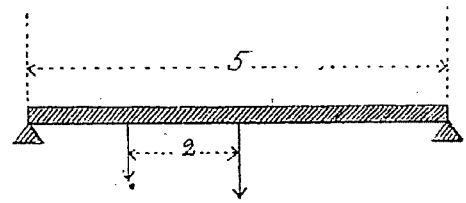


Рис. 367.

Второй примѣръ. Пусть сплошная нагрузка на погонную единицу: $p = 4$; остальныя данныя показаны на рис. 367.

$$A = 10 + 1\left(1 - \frac{m}{5}\right) + 3\left(1 - \frac{m}{5} - \frac{2}{5}\right) = 12{,}8 - 0{,}8\,m;$$

$$\text{I} \ldots\ldots z = (12{,}8 - 0{,}8\,m)\ x - 2\,x^2;$$

$$\text{II} \ldots\ldots z = (12{,}8 - 0{,}8\,m)\ x - 1\ (x - m) - 2\,x^2;$$

$$\text{III} \ldots\ldots z = (12{,}8 - 0{,}8\,m)\ x - 1\ (x - m) - 3\ (x - m - 2) - 2\,x^2.$$

ной нагрузки и соотвѣтственное значеніе момента отъ сосредоточенныхъ грузовъ, получимъ:

$$z = \frac{pl^2}{8} + \frac{Pl}{4} = 8 + \frac{1{,}4}{4} = 9 \text{ п. ф.}$$

Оба значенія мéньше, чѣмъ: $z = 9{,}025$ п. ф.

		При $m = 0$:	При $m = 3$:
		$x = 0$	$x = 3$
I	$\frac{dz}{dm} = -0{,}8\,x$	< 0	< 0
		$x = 0$	$x = 5$
II	$\frac{dz}{dm} = -0{,}8\,x + 1$	> 0	< 0
		$x = 2$	$x = 5$
III	$\frac{dz}{dm} = -0{,}8\,x + 4$	> 0	0.

Слѣдовательно, maximum можетъ быть на кривой пересѣченія I и II, или II и III поверхностей.

Уравненія этихъ кривыхъ:

$$z' = (12{,}8 - 0{,}8\,m)\ m - 2\,m^2;$$
$$z'' = (12{,}8 - 0{,}8\,m)\ (m + 2) - 2 - 2\ (m + 2)^2.$$

Абсцисса, соотвѣтствующая точкѣ пересѣченія обѣихъ кривыхъ, найдется изъ:

$$(12{,}8 - 0{,}8\,m)\ 2 - 2 - 2\ (4\,m + 4) = 0,$$

откуда:

$$m = 1{,}625.$$

Изслѣдуемъ численныя значенія *tang* угловъ наклоненія касательныхъ, проведенныхъ къ обѣимъ кривымъ въ ихъ общей точкѣ пересѣченія:

$$\left[\frac{dz'}{dm}\right]_{m=1{,}625} = [12{,}8 - 0{,}8 \times 2\,m - 4\,m]_{m=1{,}625} = +3{,}7.$$
$$\left[\frac{dz''}{dm}\right]_{m=1{,}625} = 12{,}8 - 1{,}6\,m - 1{,}6 - 4\,m - 8 = -5{,}9.$$

Слѣдовательно, абсолютный maximum долженъ находиться на второй кривой.

Отыскивая maximum для z'', приравниваемъ нулю первую производную:

$$\frac{dz''}{dm} = 12{,}8 - 1{,}6\,m - 1{,}6 - 4\,m - 8 = 0,$$

откуда:

$$m = 0{,}57142\ldots..$$

и кромѣ того:

$$x = m + 2 = 2{,}57142\ldots..$$

Такимъ образомъ:

$$max.\ z'' = \text{абсол. } max.\ z = (12{,}8 - 0{,}8 \times 0{,}57142)\ 2{,}5714 -$$
$$- 2 - 2 \times 2{,}\overline{5714}^2 = 16{,}52429 \text{ п. ф. *).}$$

---

*) Отыскивая абсолютный maximum отъ сосредоточенныхъ грузовъ, независимо отъ вліянія сплошной нагрузки, будемъ имѣть:

$$A = 2{,}8 - 0{,}8\,m.$$

			$m=0.$	$m=3.$
I	$z = (2{,}8 - 0{,}8\,m)\ x$	$\frac{dz}{dx} = 2{,}8 - 0{,}8\,m$	> 0	> 0
II	$z = (2{,}8 - 0{,}8\,m)\ x - 1\ (x - m)$	$\frac{dz}{dx} = 1{,}8 - 0{,}8\,m$	> 0	< 0
III	$z = (2{,}8 - 0{,}8\,m)\ x - 1\ (x - m) - 3\ (x - m - 2)$	$\frac{dz}{dx} = 1{,}2 - 0{,}8\,m$	< 0	< 0

Засѣкая плоскостями, параллельными плоскости координатъ xoz, получимъ криволинейные многоугольники. Изслѣдуемъ знаки $tang.$:

		При $m=0$:	При $m=3$:	
		$x=0$	$x=0$	$x=3$
I	$\frac{dz}{dx}=12{,}8-0{,}8\,m-4\,x$	>0	>0	<0
		$x=0$	$x=2$	$x=3$	$x=5$
II	$\frac{dz}{dx}=11{,}8-0{,}8\,m-4\,x$	>0	>0	<0	<0
		$x=2$	$x=5$	$x=5$	
III	$\frac{dz}{dx}=8{,}8-0{,}8\,m-4\,x$	>0	<0	$<0.$	

Слѣдовательно, абсол. max. можетъ находиться на кривыхъ пересѣченія I и II и II и III поверхностей.

Уравненія кривыхъ:

$$z'=(2{,}8-0{,}8\,m)\,m;\quad z''=(2{,}8-0{,}8\,m)\,.\,(m+2)-2.$$

Абсцисса, соотвѣтствующая точкѣ пересѣченія обѣихъ кривыхъ, найдется изъ:

$$(2{,}8-0{,}8\,m)\;2-2=0,\text{ откуда: } m=2{,}25.$$

Далѣе:

$$\left[\frac{dz'}{dm}\right]_{m=2{,}25}=\left[2{,}8-1{,}6\,m\right]_{m=2{,}25}=-0{,}8.$$

$$\left[\frac{dz''}{dm}\right]_{m=2{,}25}=\left[\begin{matrix}2{,}8-1{,}6\,m\\-1{,}6\end{matrix}\right]_{m=2{,}25}=-2{,}4.$$

Слѣдовательно, абсол. max. находится на второй кривой.

Приравнивая

$$\frac{dz''}{dm}=0,$$

получимъ:

$$\frac{dz''}{dm}=2{,}8-1{,}6\,m-1{,}6=0,$$

откуда:

$$m=0{,}75;$$

при этомъ:

$$x=m+2=2{,}75.$$

Слѣдовательно:

$$\text{max. } z''=\text{абсол. max. } z=(2{,}8-0{,}8\times 0{,}75)\,.\,2{,}75-2=4{,}05\text{ п. ф.}$$

Затѣмъ значеніе момента отъ сплошной нагрузки въ сѣченіи:

$$x=m+2=2{,}75;\; z=10\times 2{,}75-\frac{4\times\overline{2{,}75}^2}{2}=12{,}373\text{ п. ф.}$$

Итого общій max. $z=4{,}05+12{,}375=16{,}425$ п. ф.

Взявъ съ другой стороны наибо́льшій моментъ отъ сплошной нагрузки и соотвѣтственное этому сѣченію значеніе момента отъ сосредоточенныхъ грузовъ, найдемъ:

$$z'=\frac{pl^2}{8}=\frac{4\times 2{,}5}{8}=12{,}5\text{ п. ф.};$$

въ сѣченіи: $x=2{,}5$ наибо́льшій моментъ будетъ имѣть мѣсто, если помѣстить въ сѣченіи грузъ 3 Тогда:

$$z''=\left[\frac{1\times 4{,}5}{5}+\frac{3\times 2{,}5}{5}\right]2{,}5-12=4\text{ п. ф.}$$

Итого общій max. $z=12{,}5+4=16{,}5$ п. ф.

Слѣдовательно, въ обоихъ случаяхъ значеніе момента мéнѣе сравнительно съ тѣмъ, которое соотвѣтствуетъ:

$$x=m+2=2{,}5714\;.\;.\;.\;.\;.$$

Это изслѣдованіе показываетъ, что абсолютный maximum можетъ быть на кривыхъ пересѣченія I и II поверхностей, а также II и III-й, слѣдовательно, на основаніи предыдущаго, найдемъ, что max. $z = 16{,}52429$. Далѣе, изслѣдованіе знаковъ заставляетъ предполагать, что абсолютный maximum можетъ, повидимому, находиться въ каждомъ изъ трехъ параболоидовъ между точками приложенія грузовъ. Отыскивая этотъ maximum для перваго параболоида, имѣемъ:

$$\left.\begin{aligned} &\frac{dz}{dx} = 12{,}8 - 0{,}8\,m - 4x = 0 \\ &\frac{dz}{dm} = -\,0{,}8\,x = 0 \end{aligned}\right| \begin{aligned} &\text{откуда: } x = 0;\ m = 16, \\ &\text{что невозможно.} \end{aligned}$$

Для второго параболоида:

$$\left.\begin{aligned} &\frac{dz}{dx} = 12{,}8 - 0{,}8\,m - 1 - 4x = 0 \\ &\frac{dz}{dm} = -\,0{,}8\,x + 1 = 0. \end{aligned}\right| \begin{aligned} &\text{откуда: } x = 1{,}25;\ m = 8{,}5, \\ &\text{что также невозможно,} \end{aligned}$$

такъ какъ для втораго участка $x > m$.

Для третьяго параболоида:

$$\left.\begin{aligned} &\frac{dz}{dx} = 12{,}8 - 0{,}8\,m - 4 - 4x = 0 \\ &\frac{dz}{dm} = -\,0{,}8\,x + 4 = 0 \end{aligned}\right| \begin{aligned} &\text{откуда: } x = 5;\ m = -\,14, \\ &\text{что невозможно.} \end{aligned}$$

Слѣдовательно, дѣйствительный абсолютный maximum находится подъ грузомъ.

Та же задача въ случаѣ равныхъ грузовъ на одинаковомъ взаимномъ разстояніи.

Разсмотримъ сначала пролетъ, на которомъ помѣщаются только два сосредоточенныхъ груза при сплошной нагрузкѣ, покрывающей весь пролетъ, и найдемъ выраженіе *max.* момента.

Составляемъ выраженія сопротивленія лѣвой опоры *(A)* и моментовъ *(z)* для трехъ участковъ пролета.

$$A = \frac{pl}{2} + P\left(2 - \frac{2m}{l} - \frac{d}{l}\right). \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (107)$$

$$z_{\text{I}} = \left[\frac{pl}{2} + P\left(2 - \frac{2m}{l} - \frac{d}{l}\right)\right] x - \frac{px^2}{2},$$

$$z_{\text{II}} = \left[\frac{pl}{2} + P\left(2 - \frac{2m}{l} - \frac{d}{l}\right)\right] x - P\,(x - m) - \frac{px^2}{2},$$

$$z_{\text{III}} = \left[\frac{pl}{2} + P\left(2 - \frac{2m}{l} - \frac{d}{l}\right)\right] x - P\,(x - m) - P\,(x - m - d) - \frac{px^2}{2}.$$

(Каждое изъ написанныхъ трехъ выраженій представляетъ собою уравненіе гинерболическаго параболоида, отнесеннаго къ прямоугольнымъ осямъ координатъ, предполагая, что z, x и m — координаты точки поверхности. Всѣ эти параболоиды пересѣкаются по-парно по параболамъ, расположеннымъ въ плоскостяхъ параллельныхъ плоскости, равноудѣлящей плоскостной уголъ между плоскостями координатъ $Z0x$ и $Z0m$.

Ординаты z параболъ представляютъ величины моментовъ въ сѣченіяхъ подъ какимъ либо грузомъ, а ординаты остальныхъ точекъ поверхности выражаютъ величины моментовъ въ сѣченіяхъ между сосредоточенными грузами).

Опредѣлимъ знакъ производныхъ $\frac{dz}{dm}$ при предѣльныхъ значеніяхъ x, замѣчая, что въ каждомъ участкѣ предѣлы для x различны и находятся въ зависимости отъ двухъ крайнихъ предѣловъ m, которые будутъ очевидно: $m=0$ и $m=l-d$.

Соотвѣтственно сему предѣлы для x:

въ 1-мъ участкѣ $x=0$ и $x=l-d$

во 2-мъ » $x=0$ и $x=l$

въ 3-мъ » $x=d$ и $x=l$

Выписываемъ выраженія производныхъ $\frac{dz}{dm}$ и знаки ихъ при предѣльныхъ значеніяхъ x:

$$\frac{dz_{\text{I}}}{dm}=-\frac{2Px}{l} \qquad \overset{(x=0)}{0} \qquad \overset{(x=l-d)}{<0}$$

$$\frac{dz_{\text{II}}}{dm}=-\frac{2Px}{l}+P \qquad \overset{(x=0)}{>0} \qquad \overset{(x=l)}{<0}$$

$$\frac{dz_{\text{III}}}{dm}=-\frac{2Px}{l}+2P \qquad \overset{(x=d)}{>0} \qquad \overset{(x=l)}{0}$$

(Производныя $\frac{dz}{dm}$ представляютъ собою *tang* угла наклоненія къ оси m прямой, получившейся отъ пересѣченія поверхности гиперболическаго параболоида плоскостью $x=a$, т. е. плоскостью параллельной плоскости координатъ $z0m$).

Знаки производныхъ показываютъ, что абсолютный *max.* z можетъ находиться или на кривой пересѣченія поверхностей z_{I} и z_{II}, или на кривой пересѣченія поверхностей z_{II} и z_{III}.

Уравненіе первой кривой:

$$z'=z_{\text{I, II}}=\left[\frac{pl}{2}+P\left(2-\frac{2m}{l}-\frac{d}{l}\right)\right]m-\frac{pm^2}{2}.$$

Уравненіе второй кривой:

$$z''=z_{\text{II, III}}=\left[\frac{pl}{2}+P\left(2-\frac{2m}{l}-\frac{d}{l}\right)\right](m+d)-Pd-\frac{p(m+d)^2}{2}.$$

Чтобы найти, на которой изъ кривыхъ находится искомый *max.*, совмѣщаемъ обѣ кривыя на одну плоскость, находимъ значеніе абсциссы m точки пересѣченія обѣихъ кривыхъ, и изслѣдуемъ численное значеніе *tang* угловъ наклоненія къ оси m касательныхъ, проведенныхъ къ обѣимъ кривымъ въ точкѣ ихъ пересѣченія.

Искомая абсцисса m найдется, если приравнять выраженія: $z_{\text{I, II}}$ и $z_{\text{II, III}}$, т. е. найдется изъ уравненія:

$$0=\left[\frac{pl}{2}+P\left(2-\frac{2m}{l}-\frac{d}{l}\right)\right]d-Pd-\frac{p}{2}(2md+d^2),$$

откуда:

$$m=\frac{l-d}{2}.$$

Затѣмъ:

$$\frac{dz'}{dm} = \frac{d\,(z_{\text{I, II}})}{dm} = \frac{pl}{2} + P\left(2 - \frac{4m}{l} - \frac{d}{l}\right) - pm\,,$$

$$\frac{dz''}{dm} = \frac{d\,(z_{\text{II, III}})}{dm} = \frac{pl}{2} + P\left(2 - \frac{4m}{l} - \frac{3d}{l}\right) - p\,(m + d)\,;$$

Вставляя $m = \frac{l-d}{2}$, найдемъ:

$$\frac{dz'}{dm} = \frac{pd}{2} + \frac{Pd}{l},$$

$$\frac{dz''}{dm} = -\frac{pd}{2} - \frac{Pd}{l},$$

т. е. оба *tang* равны по значенію, но противоположны по знаку, что указываетъ, что *max.* z можетъ находиться какъ на той, такъ и на другой кривой.

Для отысканія *max.* z' имѣемъ условіе:

$$\frac{dz'}{dm} = \frac{pl}{2} + P\left(2 - \frac{4m}{l} - \frac{d}{l}\right) - pm = 0,$$

откуда:

$$m = \frac{l}{2} - \frac{Pd}{pl + 4P} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (108)$$

при чемъ для кривой z', $x = m$; слѣдовательно:

$$x = m = \frac{l}{2} - \frac{Pd}{pl + 4P} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (109)$$

и

$$max.\ z' = \text{абс. } max.\ z =$$

$$= \left[\frac{pl}{2} + P\left\{2 - \frac{2}{l}\left(\frac{l}{2} - \frac{Pd}{pl + 4P}\right) - \frac{d}{l}\right\}\right]\left(\frac{l}{2} - \frac{Pd}{pl + 4P}\right) - \frac{p}{2}\left(\frac{l}{2} - \frac{Pd}{pl + 4P}\right)^2 =$$

$$= \left[\frac{pl}{4} + P\left\{1 + \frac{4Pd + pdl}{2l\,(pl + 4P)} - \frac{d}{l}\right\}\right]\left(\frac{l}{2} - \frac{Pd}{pl + 4P}\right) =$$

$$= \left[\frac{pl}{4} + P\left(1 - \frac{d}{2l}\right)\right]\left(\frac{l}{2} - \frac{Pd}{4P + pl}\right) \quad \ldots\ldots \quad (110)$$

Для того, чтобы найти, при какомъ m получается второй *max.* и который, какъ предыдущія изслѣдованія показали, того же самаго числеииаго значенія, приравняемъ нулю выраженіе $\frac{dz''}{dm}$.

Имѣетъ поэтому:

$$\frac{dz''}{dm} = \frac{pl}{2} + P\left(2 - \frac{4m}{l} - \frac{3d}{l}\right) - p\,(m + d) = 0,$$

откуда;

$$m = \frac{l}{2} - \frac{(pl + 3P)\,d}{pl + 4P}, \quad \ldots\ldots\ldots \quad (108')$$

при чемъ *уравненіе* z'' *обусловлено тѣмъ*, что $x = m + d$. Слѣдовательно, второй

max. находится подъ вторымъ грузомъ, въ сѣченіи:

$$x = m + d = \frac{l}{2} - \frac{(pl + 3P)}{pl + 4P} \cdot d + \frac{(pl + 4P)}{pl + 4P} \cdot d = \frac{l}{2} + \frac{Pd}{pl + 4P}. \quad (109')$$

и

$$max.\ z'' =$$

$$\left[\frac{pl}{2} + P\left(2 - \frac{2}{l}\left\{\frac{l}{2} - \frac{(pl + 3P) \cdot d}{pl + 4P}\right\} - \frac{d}{l}\right)\right]\left(\frac{l}{2} + \frac{Pd}{pl + 4P}\right) - Pd -$$

$$- \frac{p}{2}\left(\frac{l}{2} + \frac{Pd}{pl + 4P}\right)^2 = \left[\frac{pl}{4} + P\left\{1 + \frac{2}{l}\frac{(pl + 3P)}{(pl + 4P)} \cdot d - \frac{d}{l} -\right.\right.$$

$$\left.\left. - \frac{pPd}{2\,(pl + 4P)}\right\}\right]\left(\frac{l}{2} + \frac{Pd}{pl + 4P}\right) - Pd = \left[\frac{pl}{4} + P\left(1 + \frac{d}{2l}\right)\right]\left(\frac{l}{2} + \frac{P}{pl + 4P}\right) -$$

$$- Pd = \left[\frac{pl}{4} + P\left(1 - \frac{d}{2l}\right)\right]\left(\frac{l}{2} - \frac{Pd}{pl + 4P}\right) - Pd +$$

$$2\left\{\frac{Pd}{2l} \cdot \frac{l}{2} + \frac{pl}{4} \cdot \frac{Pd}{pl + 4P} + \frac{P \cdot Pd}{pl + 4P}\right\}^{*}) = \left[\frac{pl}{4} + P\left(1 - \frac{d}{2l}\right)\right]\left(\frac{l}{2} - \frac{Pd}{pl + 4P}\right);$$

т. е., какъ и слѣдовало ожидать, значеніе *max.* момента подъ вторымъ грузомъ то же самое, какъ и подъ первымъ грузомъ.

Подобнымъ образомъ нашли бы, что при *четырехъ* равныхъ грузахъ имѣются два одинаковыхъ *max.* M подъ вторымъ и третьимъ грузами, при чемъ для второго груза:

$$m = \frac{l}{2} - d\frac{(pl + 10P)}{pl + 8P} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (111)$$

$$x = m + d = \frac{l}{2} - \frac{2Pd}{8P + pl}, \quad \ldots\ldots\ldots \quad (112)$$

а для третьяго груза:

$$m = \frac{l}{2} - 2d\frac{(pl + 7P)}{pl + 8P} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (111')$$

$$x = m + 2d = \frac{l}{2} + \frac{2Pd}{pl + 8P} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (112')$$

и общій *max.* момента:

$$max.\ z = \left[\frac{pl}{4} + P\left(2 - \frac{2d}{2l}\right)\right]\left(\frac{l}{2} - \frac{2Pd}{8P + pl}\right) - Pd \quad \ldots \quad (113)$$

Для *шести* равныхъ грузовъ два одинаковыхъ *max.* M будутъ подъ третьимъ и четвертымъ грузами, при чемъ для третьяго груза:

$$m = \frac{l}{2} - d\frac{(2pl + 27P)}{pl + 12P} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (114)$$

$$x = m + 2d = \frac{l}{2} - \frac{3Pd}{12P + pl} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (115)$$

---

*) $(a + b + x)\,(c + y) = (a + b - x)\,(c - y) + 2\,(x \cdot c + a \cdot y + b \cdot y)$

Для четвертаго груза:

$$m = \frac{l}{2} - 3d\frac{(pl + 11P)}{pl + 12P} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (114')$$

$$x = m + 3d = \frac{l}{2} + \frac{3Pd}{pl + 12P} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (115')$$

и

$$max.\ z = \left[\frac{pl}{4} + P\left(3 - \frac{3}{2}\frac{d}{l}\right)\right]\left(\frac{l}{2} - \frac{3Pd}{12P + pl}\right) - 3Pd. \quad . \quad . \quad (116)$$

Затѣмъ для *восьми* равныхъ грузовъ наибольшіе моменты получаются подъ четвертымъ и пятымъ грузами. Для четвертаго груза:

$$m = \frac{l}{2} - d\frac{(3pl + 52P)}{pl + 16P} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (117)$$

$$x = m + 3d = \frac{l}{2} - \frac{4Pd}{pl + 16P} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (118)$$

Для пятаго груза:

$$m = \frac{l}{2} - 4d\frac{(pl + 15P)}{pl + 16P} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (117')$$

$$x = m + 4d = \frac{l}{2} + \frac{4Pd}{pl + 16P} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (118')$$

Общее значеніе *max.* момента:

$$max.\ z = \left[\frac{pl}{4} + P\left(4 - \frac{4}{2}\cdot\frac{d}{l}\right)\right]\left(\frac{l}{2} - \frac{4Pd}{pl + 16P}\right) - 6Pd \quad . \quad . \quad (119)$$

Сравнивая между собою вышенаписанныя выраженія, заключаемъ по аналогіи, что для n равныхъ грузовъ, гдѣ n—четное число, имѣли бы для $\frac{n}{2}$-го груза:

$$m = \frac{l}{2} - \frac{d\left[\left(\frac{n}{2} - 1\right)pl + n\left(n - \frac{3}{2}\right)P\right]}{pl + \frac{n}{2}\cdot 4P} =$$

$$= \frac{l}{2} - \frac{d\left[(n-2)\,pl + n\,(2n-3)P\right]}{2pl + 4nP} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (120)$$

$$x = m + \left(\frac{n}{2} - 1\right)d = \frac{l}{2} - \frac{\frac{n}{2}\cdot P\cdot d}{pl + \frac{n}{2}\cdot 4P} = \frac{l}{2} - \frac{Pdn}{2pl + 4nP} \quad . \quad . \quad (121)$$

Для $\frac{n}{2} + 1$-го груза:

$$m = \frac{l}{2} - \frac{n}{2}\cdot\frac{d\left[pl + (2n-1)P\right]}{pl + \frac{n}{2}4P} = \frac{l}{2} - \frac{nd\left[pl + (2n-1)P\right]}{2pl + 4nP} \quad . \quad . \quad (120')$$

$$x = m + \frac{n}{2} d = \frac{l}{2} + \frac{\frac{n}{2} \cdot Pd}{pl + \frac{n}{2} 4P} = \frac{l}{2} + \frac{Pdn}{2pl + 4nP} \quad . \quad . \quad (121')$$

$$max.\ z = \left[\frac{pl}{4} + P\left\{\frac{n}{2}\left(1 - \frac{d}{2l}\right)\right\}\right]\left(\frac{l}{2} - \frac{\frac{n}{2} \cdot Pd}{pl + \frac{n}{2} \cdot 4P}\right) - \frac{n}{2}\frac{(n-2)}{4} \cdot Pd =$$

$$= \left[\frac{pl}{4} + P\left(\frac{n}{2} - \frac{dn}{4l}\right)\right]\left(\frac{l}{2} - \frac{Pdn}{2pl + 4Pn}\right) - \frac{n(n-2)}{8} \cdot P \cdot d \quad . \quad . \quad (122)$$

Здѣсь необходимо обратить вниманіе на одну особенность. При четномъ числѣ равныхъ грузовъ съ одинаковымъ взаимнымъ разстояніемъ, но безъ равномѣрной нагрузки, maximum момента всегда будетъ находиться подъ $\frac{n}{2}$ или $\frac{n}{2} + 1$ грузами, и при томъ въ сѣченіяхъ, удаленныхъ отъ лѣвой опоры на разстоянія: $\frac{l}{2} - \frac{d}{4}$ и $\frac{l}{2} + \frac{d}{4}$. Если же кромѣ сосредоточенныхъ грузовъ расположена еще равномѣрная нагрузка, то maximum момента также получается подъ $\frac{n}{2}$ или $\frac{n}{2} + 1$ грузами, но только не въ однихъ и тѣхъ же сѣченіяхъ, а въ перемѣнныхъ, выражаемыхъ формулою:

$$x = \frac{l}{2} - \frac{Pdn}{2pl + 4Pn} \text{ — для } \frac{n}{2}\text{-го груза;}$$

и

$$x = \frac{l}{2} + \frac{Pdn}{2pl + 4Pn} \text{ — для } \frac{n}{2} + 1\text{-го груза.}$$

Переходя затѣмъ къ случаю нечетнаго числа равныхъ грузовъ при одновременномъ дѣйствіи сплошной равномѣрной нагрузки, легко видѣть, что maximum момента будетъ посреднѣ пролета подъ $\frac{n+1}{2}$ грузомъ, если n — нечетное число.

Значеніе maximum момента:

$$max.\ M = max.\ z = P\left[\frac{nl}{4} - \frac{(n^2 - 1)\,d}{8}\right] + \frac{pl^2}{8} \quad . \quad . \quad . \quad (123)$$

Имѣя общія выраженія для maximum M — въ случаѣ n четнаго и нечетнаго—не трудно опредѣлить признаки, показывающіе, будетъ ли maximum момента при нахожденіи на пролетѣ наибольшаго возможнаго числа сосредоточенныхъ грузовъ, или же при сведеніи одного изъ грузовъ.

Если назвать чрезъ n данное четное число грузовъ, то сосѣднія нечетныя числа будутъ: $n - 1$ и $n + 1$. Въ такомъ случаѣ выраженіе (123) перепишется такъ:

Для $n - 1$ грузовъ:

$$Max.\ M = P\left[(n-1)\frac{l}{4} - n\frac{(n-2)}{8} \cdot d\right] + \frac{pl^2}{8} \quad . \quad . \quad . \quad (123')$$

Для $n + 1$ грузовъ:

$$Max.\ M = P\left[(n+1) \cdot \frac{l}{4} - n\frac{(n+2)}{8} \cdot d\right] + \frac{pl^2}{8} \quad . \quad . \quad . \quad (123'')$$

Приравнявъ (123′) и (122) одно другому, получимъ:

$$P\left[(n-1)\cdot\frac{l}{4}-n\frac{(n-2)}{8}\cdot d\right]+\frac{pl^2}{8}=$$

$$=\left[\frac{pl}{4}+P\left(\frac{n}{2}-\frac{nd}{4l}\right)\right]\left(\frac{l}{2}-\frac{Pdn}{2pl+4nP}\right)-n\frac{(n-2)}{8}\cdot P\cdot d,$$

или:

$$-\frac{Pl}{4}=-\frac{Pdn}{8}-\frac{pl\cdot Pdn}{4(2pl+4Pn)}-\frac{P^2dn^2}{2(2pl+4Pn)}+\frac{P^2d^2n^2}{4l\,(2pl+4Pn)};$$

$$d^2-l\frac{(2pl+4Pn)}{Pn}\cdot d=-l^2\frac{(2pl+4Pn)}{n^2}\cdot P,$$

откуда:

$$d=\frac{l\,(pl+2Pn)}{Pn}-\sqrt{\frac{l^2\,(pl+2Pn)^2}{P^2n^2}-\frac{l^2\,(2pl+4Pn)\,P}{n^2}}=$$

$$=\frac{l\,(pl+2Pn)}{P\cdot n}\left\{1-\sqrt{1-\frac{2P}{pl+2Pn}}\right\}\quad\ldots\ldots\quad(124)$$

Приравнявъ одно другому (123″) и (122), имѣемъ:

$$P\left[(n+1)\frac{l}{4}-\frac{n\,(n+2)}{8}\cdot d\right]+\frac{pl^2}{8}=$$

$$=\left[\frac{pl}{4}+P\left(\frac{n}{2}-\frac{dn}{4l}\right)\right]\left(\frac{l}{2}-\frac{Pdn}{2pl+4Pn}\right)-n\frac{(n-2)}{8}\cdot P\cdot d;$$

или:

$$\frac{Pl}{4}-\frac{Pdn}{4}=-\frac{Pdn}{8}-\frac{Pplnd}{4\,(2pl+4Pn)}-\frac{P^2dn^2}{2\,(2pl+4Pn)}+$$

$$+\frac{P^2\cdot d^2\cdot n^2}{4l\,(2pl+4Pn)}+\frac{Pnd}{4},$$

или:

$$\frac{Pl}{4}=\frac{3Pnd}{8}\cdot\frac{(2pl+4Pn)}{(2pl+4Pn)}-\frac{2Pplnd}{8(2pl+4Pn)}-\frac{4P^2dn^2}{8(2pl+4Pn)}+\frac{P^2d^2n^2}{4l\,(2pl+4Pn)};$$

$$\frac{Pl}{4}=\frac{(8P^2n^2+4Ppln)\,d}{8\,(2pl+4Pn)}+\frac{P^2d^2n^2}{4l\,(2pl+4Pn)}=\frac{Pnd}{4}+\frac{P^2d^2n^2}{4l\,(2pl+4Pn)};$$

$$d^2+\frac{l\,(2pl+4Pn)}{Pn}\cdot d=\frac{l^2\,(2pl+4Pn)}{Pn^2},$$

откуда:

$$d=-\frac{l\,(pl+2Pn)}{Pn}+\sqrt{\frac{l^2}{P^2n^2}\,(pl+2Pn)^2+\frac{l^2}{Pn^2}(2pl+4Pn)}=$$

$$=\frac{l\,(pl+2Pn)}{Pn}\left\{\sqrt{1+\frac{2P}{pl+2Pn}}-1\right\}\quad\ldots\ldots\quad(125)$$

Формулу (124) слѣдуетъ примѣнять при сравненіи четнаго числа грузовъ съ

предыдущимъ нечетнымъ числомъ, т. е. при сравненіи 2 съ 1, 4 съ 3, 6 съ 5 и т. д. Формула (125) относится къ случаю сравненія четнаго числа грузовъ съ *послѣдующимъ* нечетнымъ, т. е. при сравненіи 2 съ 3, 4 съ 5 и т. д.

Такимъ образомъ, поставивъ въ формулу (124) вмѣсто n числа 2, 4, 6, 8.... получимъ:

$$\text{для } n=2;\ d=\frac{l\,(pl+4P)}{2P}\left\{1-\sqrt{1-\frac{2P}{pl+4P}}\right\};$$

$$n=4;\ d=\frac{l\,(pl+8P)}{4P}\left\{1-\sqrt{1-\frac{2P}{pl+8P}}\right\};$$

$$n=6;\ d=\frac{l\,(pl+12P)}{6P}\left\{1-\sqrt{1-\frac{2P}{pl+12P}}\right\};$$

$$n=8;\ d=\frac{l\,(pl+16P)}{8P}\left\{1-\sqrt{1-\frac{2P}{pl+16P}}\right\};$$

а при постановкѣ тѣхъ же чиселъ въ формулу (125), найдемъ:

$$\text{при } n=2;\ d=\frac{l\,(pl+4P)}{2P}\left\{\sqrt{1+\frac{2P}{pl+4P}}-1\right\};$$

$$n=4;\ d=\frac{l\,(pl+8P)}{4P}\left\{\sqrt{1+\frac{2P}{pl+8P}}-1\right\};$$

$$n=6;\ d=\frac{l\,(pl+12P)}{6P}\left\{\sqrt{1+\frac{2P}{pl+12P}}-1\right\};$$

$$n=8;\ d=\frac{l\,(pl+16P)}{8P}\left\{\sqrt{1+\frac{2P}{pl+16P}}-1\right\};$$

На основаніи вышеизложеннаго можемъ составить таблицу, помѣщеиную на стр. 408—409.

Пусть $l=17$ ф.; $d=4^1/_3$ ф.; $P=7$ тоннъ; $p=0{,}1$ тоннъ, гдѣ p—равномѣрная сплошная нагрузка на пог. единицу пролета. Наибольшее число грузовъ, помѣщающихся на пролетѣ—4. Затѣмъ $\frac{d}{l}=\frac{4^1/_3}{17}=0{,}2549$, или $d=0{,}2549\ l$. Чтобы убѣдиться, будетъ ли *max.* M когда всѣ четыре колеса находятся на пролетѣ, или когда одно изъ колесъ сведено, обращаемся къ таблицѣ II и опредѣляемъ численное значеніе коэффиціента l въ неравенствахъ:

$$d\gtrless\frac{l\,(pl+8P)}{4P}\cdot\left\{1-\sqrt{1-\frac{2P}{pl+8P}}\right.,\quad\ldots\ldots\ (A)$$

а затѣмъ сравнимъ это значеніе коэффиціента съ 0,2549. Если 0,2549 будетъ болѣе коэффиціента, найденнаго по предыдущей формулѣ, то, какъ показываетъ таблица, на пролетѣ должно быть оставлено только три груза, а при обратномъ результатѣ слѣдуетъ оставить всѣ четыре груза.

Вставляя числеиныя значенія, найдемъ:

$$\left(\frac{pl+8P}{4P}\right)\left\{1-\sqrt{1-\frac{2P}{pl+8P}}\right\}=\left(\frac{1{,}7+56}{28}\right)\left\{1-\sqrt{1-\frac{14}{1{,}7+56}}\right\}=$$

$$=2{,}0607\left\{1-\sqrt{0{,}9757}\right\}=2{,}0607\times 0{,}13=0{,}2679.$$

Наибольшее возможное число грузовъ на пролетѣ.	Признаки, указывающіе имѣетъ ли мѣсто *max. M* при полномъ числѣ грузовъ на пролетѣ или при сведеніи одного изъ грузовъ.	Соотвѣтствующее значеніе *max. M.*	Сѣченіе, въ которомъ имѣетъ мѣсто *max. M.*
1	. . . . .	$\frac{Pl}{4}+\frac{pl^2}{8}$	$x=\frac{l}{2}$
2	$d>\frac{l\,(pl+4P)}{2P}\left\{1-\sqrt{1-\frac{2P}{pl+4P}}\right\}$ . . . 1 гр.	$\frac{Pl}{4}+\frac{pl^2}{8}$	$x=\frac{l}{2}$
	$d<\frac{l\,(pl+4P)}{2P}\left\{1-\sqrt{1+\frac{2P}{pl+4P}}\right\}$ . . . 2 гр.	$\left[\frac{pl}{4}+P\left(1-\frac{d}{2l}\right)\right]\left(\frac{l}{2}-\frac{Pd}{pl+4P}\right)$ . . .	$x=\frac{l}{2}-\frac{Pd}{pl+4P}$ и $x'=\frac{l}{2}+\frac{Pd}{pl+4P}$
3	$d>\frac{l\,(pl+4P)}{2P}\left\{\sqrt{1+\frac{2P}{pl+4P}}-1\right\}$ . . . 2 гр.	$\left[\frac{pl}{4}+P\left(1-\frac{d}{2l}\right)\right]\left(\frac{l}{2}-\frac{Pd}{pl+4P}\right)$ . . .	$x=\frac{l}{2}-\frac{Pd}{pl+4P}$ и $x'=\frac{l}{2}+\frac{Pd}{pl+4P}$
	$d<\frac{l\,(pl+4P)}{2P}\left\{\sqrt{1+\frac{2P}{pl+4P}}-1\right\}$ . . . 3 гр.	$P\left(\frac{3}{4}l-d\right)+\frac{pl^2}{8}$	$x=\frac{l}{2}$
4	$d>\frac{l\,(pl+8P)}{4P}\left\{1-\sqrt{1-\frac{2P}{pl+8P}}\right\}$ . . . 3 гр.	$P\left(\frac{3}{4}l-d\right)+\frac{pl^2}{8}$	$x=\frac{l}{2}$
	$d<\frac{l\,(pl+8P)}{4P}\left\{1-\sqrt{1-\frac{2P}{pl+8P}}\right\}$ . . . 4 гр.	$\left[\frac{pl}{4}+P\left(2-\frac{3d}{2l}\right)\right]\left(\frac{l}{2}-\frac{2Pd}{pl+8P}\right)-Pd$	$x=\frac{l}{2}-\frac{2Pd}{pl+8P}$ и $x'=\frac{l}{2}+\frac{2Pd}{pl+8P}$
5	$d>\frac{l\,(pl+8P)}{4P}\left\{\sqrt{1+\frac{2P}{pl+8P}}-1\right\}$ . . . 4 гр.	$\left[\frac{pl}{4}+P\left(2-\frac{2d}{2l}\right)\right]\left(\frac{l}{2}-\frac{2Pd}{pl+8P}\right)-Pd$	
	$d<\frac{l\,(pl+8P)}{4P}\left\{\sqrt{1+\frac{2P}{pl+8P}}-1\right\}$ . . . 5 гр.	$P\left(\frac{5}{4}l-3d\right)+\frac{pl^2}{8}$	$x=\frac{l}{2}$
6	$d>\frac{l\,(pl+12P}{6P}\left\{1-\sqrt{1-\frac{2P}{pl+12P}}\right\}$ . . . 5 гр.	$P\left(\frac{5}{4}l-3d\right)+\frac{pl^2}{8}$	
	$d<\frac{l\,(pl+12P)}{6P}\left\{1-\sqrt{1-\frac{2P}{pl+12P}}\right\}$ . . . 6 гр.	$\left[\frac{pl}{4}+P\left(3-\frac{3}{2}\frac{d}{l}\right)\right]\left(\frac{l}{2}-\frac{3Pd}{pl+12P}\right)-3Pd$	$x=\frac{l}{2}-\frac{3Pd}{pl+12P}$ и $x'=\frac{l}{2}+\frac{3Pd}{pl+12P}$
7	$d>\frac{l\,(pl+12P)}{6P}\left\{\sqrt{1+\frac{2P}{pl+12P}}-1\right\}$ . . . 6 гр.	$\left[\frac{pl}{4}+P\left(3-\frac{3}{2}\frac{d}{l}\right)\right]\left(\frac{l}{2}-\frac{3Pd}{pl+12P}\right)-3Pd$	
	$d<\frac{l\,(pl+12P)}{6P}\left\{\sqrt{1+\frac{2P}{pl+12P}}-1\right\}$ . . . 7 гр.	$P\left(\frac{7}{4}l-6d\right)+\frac{pl^2}{8}$	$x=\frac{l}{2}$
8	$d>\frac{l\,(pl+16P)}{8P}\left\{1-\sqrt{1-\frac{2P}{pl+16P}}\right\}$ . . . 7 гр.	$P\left(\frac{7}{4}l-6d\right)+\frac{pl^2}{8}$	
	$d<\frac{l\,(pl+16P)}{8P}\left\{1-\sqrt{1-\frac{2P}{pl+16P}}\right\}$ . . . 8 гр.	$\left[\frac{pl}{4}-P\left(4-\frac{4}{2}\frac{d}{l}\right)\right]\left(\frac{l}{2}-\frac{4Pd}{pl+16P}\right)-6Pd$	$x=\frac{l}{2}-\frac{4Pd}{pl+16P}$ и $x'=\frac{l}{2}+\frac{4Pd}{pl+16P}$

Слѣдовательно на пролетѣ должны быть оставлены всѣ четыре груза. Наибольшее значеніе момента:

$$max.\ M = \left[p\frac{l}{4} + P\left(2 - \frac{2d}{2l}\right)\right]\left(\frac{l}{2} - \frac{2Pd}{pl + 8P}\right) - Pd =$$

$$= \left[0{,}1 \times \frac{17}{4} + 7\left(2 - \frac{2 \times 4^1/_3}{2 \times 17}\right)\right]\left(\frac{17}{2} - \frac{2 \times 7 \times 4^1/_3}{0{,}1 \times 17 + 8 \times 7}\right) - 7 \times 4^1/_3 =$$

$$= [0{,}425 + 12{,}216]\,(8{,}5 - 1{,}051) - 30{,}333\ldots = 63{,}833 \text{ т.-ф.}$$

Сѣченія, гдѣ будетъ $max.\ M$:

$$x = \frac{l}{2} + \frac{2Pd}{pl + 8P} = \frac{17}{2} - \frac{2 \times 7 \times 4^1/_3}{0{,}1 \times 17 + 8 \times 7} = 7{,}449 \text{ ф.}$$

подъ вторымъ колесомъ;

$$x' = \frac{l}{2} + \frac{2Pd}{pl + 8P} = \frac{17}{2} + \frac{2 \times 7 \times 4^1/_3}{0{,}1 \times 17 + 8 \times 7} = 9{,}551 \text{ ф.}$$

подъ третьимъ колесомъ.

Для всякихъ другихъ положеній нагрузки значеніе момента будетъ очевидно менѣе. Такъ напр., если взять положеніе, соотвѣтствующее $max.\ M$ при отсутствіи сплошной нагрузки и опредѣлить моментъ подъ вторымъ грузомъ въ сѣченіи $x = 7{,}4175$ ф., найдемъ:

$$M = 8{,}6095\ .\ P + p\ .\ \frac{x}{2}(l - x) = 8{,}6095 \times 7 + \frac{0{,}1 \times 7{,}4175}{2}(17 - 7{,}4175) =$$

$$= 60{,}2665 + 3{,}554 = 63{,}8205 \text{ т.-ф.,}$$

т. е. меньше, чѣмъ въ предыдущемъ случаѣ.

Иногда наибольшій моментъ при совмѣстномъ дѣйствіи сосредоточенныхъ грузовъ и сплошной нагрузки опредѣляютъ такимъ образомъ, что складываютъ значенія наибольшихъ моментовъ отъ сосредоточенныхъ грузовъ и отъ сплошной нагрузки. Но пріемъ этотъ, хотя и даетъ преувеличиныя значенія, очевидно неправиленъ, такъ какъ нельзя складывать моменты, находящіеся въ различныхъ сѣченіяхъ. Такъ, напр., для предыдущаго примѣра имѣли бы:

$$M = 8{,}6095 \times P + \frac{p\ .\ l^2}{8} = 8{,}6095 \times 7 + 0{,}1 \times \frac{17^2}{8} =$$

$$= 60{,}2665 + 3{,}6125 = 63{,}8790 \text{ п.-ф.,}$$

т. е. болѣе дѣйствнтельнаго значенія.

Опредѣленіе абсолютнаго наибольшаго перерѣзывающаго усилія. Что касается опредѣленія наибольшаго значенія перерѣзывающаго усилія, то оно, очевидно, будетъ на опорѣ, когда весь пролетъ загруженъ наибольшимъ числомъ и наиболѣе тяжелыми и сближенными грузами, при чемъ наиболѣе тяжелые и сближенные грузы находятся около разсматриваемой опоры и предполагается, что первый грузъ только что сошелъ съ опоры. Это явствуетъ изъ аналитическаго выраженія сопротивленія опоры.

При этомъ, однакоже, при извѣстномъ относительномъ расположеніи нагрузокъ, можетъ быть такой случай, что по сведеніи съ пролета нѣсколькихъ гру-

зовъ—получается бо́льшее значеніе сопротивленія опоръ; поэтому слѣдуетъ опредѣлять сопротивленія опоръ при полиомъ числѣ грузовъ на пролетѣ и по сведеніи нѣкоторыхъ съ пролета и выбрать наибольшее.

Опредѣленіе наибольшаго момента и перерѣзывающаго усилія въ данномъ сѣченіи пролета.

Пусть имѣемъ на пролетѣ, длиною l, n неравныхъ грузовъ, неизмѣнно между собою связанныхъ; требуется найти наибольшій моментъ въ сѣченіи, отстоящемъ отъ лѣвой опоры на разстояніи: $x=a$.

Сопротивленіе лѣвой опоры:

$$A=P\left(1-\frac{m}{l}\right)+P'\left(1-\frac{m}{l}-\frac{d}{l}\right)+P''\left(1-\frac{m}{l}-\frac{d}{l}-\frac{d'}{l}\right)+\ldots$$

$$+P^{(n-1)}\left(1-\frac{m}{l}-\frac{d}{l}-\ldots-\frac{d^{(n-2)}}{l}\right)\ldots$$

Выписываемъ моменты и соотвѣтственные предѣлы величины x:

Моменты:

$$(A)\ldots\begin{cases} I\ldots Ax; \\ II\ldots Ax-P(x-m); \\ III\ldots Ax-P(x-m)-P'(x-m-d); \\ IV\ldots Ax-P(x-m)-P'(x-m-d)-P''(x-m-d-d'); \\ \ldots\ldots\ldots\

ставляютъ значеніе функцій, когда надъ сѣченіемъ $x = a$ находится какая-нибудь промежуточная точка между двумя смежными грузами. Наивысшая точка въ этомъ многоугольникѣ будетъ соотвѣтствовать точкѣ пересѣченія двухъ сторонъ, наклоненныхъ относительно горизонтальной оси въ противоположныя стороны. Съ этою цѣлью опредѣляемъ знакъ коэффиціента при второй перемѣнной m *) и пусть до функціи $(p+1)$ включительно всѣ коэффиціенты отрицательны, а отъ $(p+2)$ — положительны. Тогда:

$$II' \ldots \left(-\frac{Px}{l} - \frac{P'x}{l} - \frac{P''x}{l} - \ldots - \frac{P^{(n-1)}x}{l}\right) + P < 0;$$

$$III' \ldots \left(-\frac{Px}{l} - \frac{P'x}{l} - \ldots - \frac{P^{(n-1)}x}{l}\right) + (P + P') < 0;$$

$$\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots;$$

$$(p+1) \ldots \left(-\frac{Px}{l} - \frac{P'x}{l} - \ldots - \frac{P^{n-1}x}{l}\right) + (P + P' + \ldots + P^{(p-1)}) < 0;$$

$$(p+2) \ldots \left(-\frac{Px}{l} - \frac{P'x}{l} - \ldots - \frac{P^{n-1}x}{l}\right) + (P + P' + \ldots + P^{(p-1)} + P^{(p)}) > 0;$$

$$\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots;$$

$$(n+1) \ldots \left(-\frac{Px}{l} - \frac{P'x}{l} - \ldots - \frac{P^{n-1}x}{l}\right) + (P + P' + \ldots + P^{(p)} + \ldots + P^{n-1}) > 0.$$

Слѣдовательно, въ нашемъ случаѣ наибольшая ордината будетъ тогда, когда надъ сѣченіемъ $x = a$ помѣстится грузъ $P^{(p)}$.

Оба условныя неравенства напишутся такъ:

$$\left.\begin{aligned} \frac{P + P' + \ldots + P^{(p-1)}}{P + P' + \ldots + P^{(n-1)}} &< \frac{x}{l}; \\ \frac{P + P' + \ldots + P^{(p-1)} + P^{(p)}}{P + P' + \ldots + P^{(n-1)}} &> \frac{x}{l}. \end{aligned}\right\} \ldots\ldots\ldots (127)$$

Итакъ, при предположенномъ движеніи грузовъ отъ правой опоры къ лѣвой, наибольшій моментъ въ данномъ сѣченіи будетъ при проходѣ надъ нимъ того груза, при которомъ отношеніе прошедшихъ надъ сѣченіемъ грузовъ къ общей ихъ суммѣ сдѣлается больше отношенія разстоянія сѣченія отъ лѣвой опоры ко всей длинѣ балки. Если предположить движеніе происходящимъ отъ лѣвой опоры къ правой, то разстояніе нужно считать отъ правой опоры.

Остается еще разсмотрѣть *вопросъ объ опредѣленіи наибольшаго перерѣзывающаго усилія въ данномъ сѣченіи.*

Выписывасмъ значеніе перерѣзывающихъ усилій и соотвѣтственные предѣлы x, между которыми эти усилія имѣютъ мѣсто.

Оставляемъ только тѣ выраженія перерѣзывающихъ усилій, которыя могутъ имѣть мѣсто при $x = a$. Пусть это будетъ отъ (p) до (q). Ясно, что во всей группѣ выраженій между (p) и (q) наибольшимъ будетъ всегда одно изъ крайнихъ. Въ самомъ дѣлѣ, если вся группа даетъ положительныя значенія для предѣловъ m, то первое выраженіе въ группѣ будетъ наибольшимъ, такъ какъ въ немъ

*) Онъ и будетъ представлять величину тангенса угла, такъ какъ общій видъ уравненій группы (A), при $x = a$, будетъ: $z = am + \beta$.

наименьшее число *отрицательныхъ* членовъ P; если при предѣльныхъ значеніяхъ m группа имѣетъ отрицательное значеніе, то наибольшимъ будетъ послѣднее выраженіе, вслѣдствіе того, что въ немъ наибольшее число тѣхъ же *отрицательныхъ* членовъ.

Значенія перерѣзывающихъ усилій:

$$I' \ldots A = P\left(1 - \frac{m}{l}\right) + P'\left(1 - \frac{m}{l} - \frac{d}{l}\right) + P''\left(1 - \frac{m}{l} - \frac{d}{l} - \frac{d'}{l}\right) + \ldots +$$
$$+ P^{n-1}\left(1 - \frac{m}{l} - \frac{d}{l} - \ldots - \frac{d^{n-2}}{l}\right);$$

$$II' \ldots A - P = P\left(1 - \frac{m}{l}\right) + P'\left(1 - \frac{m}{l} - \frac{d}{l}\right) + \ldots +$$
$$+ P^{n-1}\left(1 - \frac{m}{l} - \frac{d}{l} - \ldots - \frac{d^{n-2}}{l}\right) - P;$$

$$III' \ldots A - P - P' = P\left(1 - \frac{m}{l}\right) + P'\left(1 - \frac{m}{l} - \frac{d}{l}\right) + \ldots +$$
$$+ P^{n-1}\left(1 - \frac{m}{l} - \frac{d}{l} - \ldots - \frac{d^{n-2}}{l}\right) - P - P';$$

. . . . . .

$$(p) \ldots A - P - P' - \ldots - P^{p-2} = P\left(1 - \frac{m}{l}\right) + P'\left(1 - \frac{m}{l} - \frac{d}{l}\right) +$$
$$+ P^{n-1}\left(1 - \frac{m}{l} - \frac{d}{l} - \ldots - \frac{d^{n-2}}{l}\right) - P - P' - \ldots - P^{p-2};$$

. . . . . .

$$(q) \ldots A - P - P' - \ldots - P^{q-2} = P\left(1 - \frac{m}{l}\right) + P'\left(1 - \frac{m}{l} - \frac{d}{l}\right) + \ldots +$$
$$+ P^{n-1}\left(1 - \frac{m}{l} - \frac{d}{l} - \ldots - \frac{d^{n-2}}{l}\right) - P - P' - P^{p-2} - \ldots - P^{q-2};$$

. . . . . .

$$(n+1) \ldots A - P - P' - \ldots - P^{n-1} = P\left(1 - \frac{m}{l}\right) + P'\left(1 - \frac{m}{l} - \frac{d}{l}\right) + \ldots +$$
$$+ P^{n-1}\left(1 - \frac{m}{l} - \frac{d}{l} - \ldots - \frac{d^{n-2}}{l}\right) - P - P' - \ldots - P^{n-1};$$

Предѣлы x:

$\ldots$ 0 и $l - (d + d' + \ldots + d^{n-2})$;

$\ldots$ 0 и $l - (d' + d'' + \ldots + d^{n-2})$;

$\ldots$ d и $l - (d'' + d''' + \ldots + d^{n-2})$;

. . . . . .

$$\ldots d + d' + \ldots + d^{p-3} \text{ и } l - (d^{p-2} + \ldots + d^{n-2});$$

$$\ldots d + d' + \ldots + d^{p-3} + d^{q-3} \text{ и } l - (d^{q-2} + \ldots + d^{n-2});$$

$$\ldots d + d' + \ldots + d^{n-2} \text{ и } l.$$

Наконецъ, если часть выраженій отрицательна, а другая—положительна, то наибольшими выраженіями, по той же причинѣ, будутъ опять оба крайнія, и придется только выбрать наибольшее изъ двухъ. Слѣдовательно, разсмотрѣнію подлежать, во всякомъ случаѣ, только крайнія выраженія.

Опредѣляемъ для каждаго изъ нихъ то значеніе m, при которомъ они имѣютъ наибольшую величину, при чемъ ни одинъ изъ грузовъ не долженъ перейти разсматриваемаго сѣченія.

Если (p) для обоихъ предѣловъ m положительная величина, или если при $m = 0$ оно > 0, а при $m = l - (d + d' + \ldots + d^{p-2})$ — оно < 0, но численное значеніе положительной величины болѣе отрицательной, то, очевидно, (p) будетъ тѣмъ болѣе, чѣмъ менѣе m; его наименьшее возможное значеніе опредѣлится изъ условія:

$$m + (d + d' + \ldots + d^{p-3}) = a.$$

Если же (p) при обоихъ предѣлахъ $m < 0$, или если при предѣлахъ значенія его имѣютъ противоположные знаки, но отрицательная численная величина болѣе положительной, то значеніе (p) тѣмъ больше, чѣмъ больше m: его наибольшее возможное значеніе найдется изъ условія:

$$m + (d + d' + \ldots + d^{p-3} + d^{p-2}) = a.$$

Потомъ повѣряемъ, возможны ли эти значенія m, т. е. не сходятъ ли нѣкоторые грузы съ пролета. Если m дѣйствительно таково, исключаемъ тѣ грузы и рѣшаемъ задачу снова. Въ противномъ случаѣ опредѣляемъ для обоихъ значеній m величины перерѣзывающихъ усилій и выбираемъ ббльшее, которое и будетъ искомымъ.

Примѣръ. Пусть имѣемъ пролетъ $l = 5$ метр. и шестиосный тендеръ-паровозъ Энгерта, съ давленіемъ на три первыя оси по 11760 кил., а на три заднія по 7000 кил. Разстояніе между передними осями 1,35 метр., а между задними—1,25 метр. Опредѣлимъ сверхъ того и *max. max.* момента и начнемъ съ этого расчета.

Замѣтимъ, что на пролетѣ въ 5 метровъ можетъ помѣститься, кромѣ переднихъ трехъ колесъ паровоза, еще первое заднее колесо тендера, такъ какъ разстояніе между ними 1,25 м. и сумма:

$$1{,}25 + 1{,}35 + 1{,}35 = 3{,}95 \text{ менѣе } 5 \text{ метровъ}.$$

Расчетъ же покажетъ, будетъ ли наибольшій моментъ при дѣйствіи трехъ или четырехъ грузовъ.

Итакъ, разсматриваемъ на пролетѣ четыре груза.

Для удобства вычисленія умеиьшимъ значенія грузовъ въ 20 разъ, а затѣмъ окончательный результатъ помножимъ па 20 и тогда вмѣсто 7000 и 11760 килограммовъ будемъ имѣть 350 и 588.

Составляемъ выраженія моментовъ:

$I \ldots Ax;$

$II \ldots Ax - 350\,(x - m);$

$III \ldots Ax - 350\,(x - m) - 588\,(x - m - 1{,}25);$

$IV \ldots Ax - 350\,(x - m) - 588\,(x - m - 1{,}25) - 588\,(x - m - 1{,}25 - 1{,}35);$

$V \ldots Ax - 350\,(x - m) - 588\,(x - m - 1{,}25) - 588\,(x - m - 1{,}25 - 1{,}35) - 588\,(x - m - 1{,}25 - 1{,}35 - 1{,}35),$

при чемъ сопротивленіе лѣвой оноры:

$$A = 350\left[1 - \frac{m}{5}\right] + 588\left[1 - \frac{m}{5} - \frac{1{,}25}{5}\right] + 588\left[1 - \frac{m}{5} - \frac{1{,}25 + 1{,}35}{5}\right] +$$

$$+ 588\left[1 - \frac{m}{5} - \frac{1{,}25 + 1{,}35 + 1{,}35}{5}\right] = 350\left[1 - \frac{m}{5}\right] + 588\left[1{,}44 - \frac{3m}{5}\right].$$

При $m = 0$,

$$A = 350 + 588 \times 1{,}44.$$

При $m = 1{,}05$,

$$A = 350 \times 0{,}79 + 588 \times 0{,}81.$$

Составляемъ выраженія коэффиціентовъ при x, и изслѣдуемъ ихъ знакъ при предѣльныхъ значеніяхъ m:

	$m = 0$	$m = 1{,}05$
$I' \ldots A$	> 0	> 0
$II' \ldots A - 350$	> 0	> 0
$III' \ldots A - 350 - 588$	> 0	< 0
$IV' \ldots A - 350 - 588 - 588$	< 0	< 0
$V' \ldots A - 350 - 588 - 588 - 588$	< 0	< 0

Постоянство знаковъ не сохранилось, и видно, что абсолютный *maximum* будетъ на одной изъ кривыхъ пересѣченія поверхностей *II* и *III*, или *III* и *IV*.

Уравненія кривыхъ будутъ:

$$z = \left[350\left(1 - \frac{m}{5}\right) + 588\left(1{,}44 - \frac{3m}{5}\right)\right].(m + 1{,}25) - 350 \times 1{,}25; \quad \ldots \quad (a)$$

$$z = \left[350\left(1 - \frac{m}{5}\right) + 588\left(1{,}44 - \frac{3m}{5}\right)\right].(m + 2{,}60) - 350 \times 2{,}60 - 588 \times 1{,}35. \quad \ldots \quad (b)$$

Значеніе m, при которомъ обѣ кривыя имѣютъ общую ординату, найдется изъ условія:

$$0 = \left[350\left(1 - \frac{m}{5}\right) + 588\left(1{,}44 - \frac{3m}{5}\right)\right] 1{,}35 - 350 \times 1{,}35 - 588 \times 1{,}35,$$

или:

$$0 = [350\,(5 - m) + 588\,(7{,}20 - 3m)] - 350 \times 5 - 588 \times 5,$$

откуда:

$$m = 0{,}61.$$

Опредѣляемъ значеніе производныхъ обѣихъ кривыхъ при этомъ значеніи m:

$$\frac{dz}{dm} = 350 - \frac{2\times 350\times 0{,}61}{5} + 588 \times 1{,}44 - \frac{2\times 588\times 3\times 0{,}61}{5} -$$

$$- 350 \times \frac{1{,}25}{5} - 588 \times \frac{3\times 1{,}25}{5} = + 159{,}40, \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (a')$$

$$\frac{dz}{dm} = 350 - \frac{2\times 350\times 0{,}61}{5} + 588 \times 1{,}44 - \frac{2\times 588\times 3\times 0{,}61}{5} -$$

$$- 350 \times \frac{2{,}60}{5} - 588 \times \frac{3\times 2{,}60}{5} = - 663{,}58. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (b')$$

Изъ сравненія этихъ двухъ выраженій видно, что первое изъ нихъ положительное, а второе отрицательное; но абсолютная величина второго больше перваго, а потому заключаемъ, что абсолютный *maximum* находится на кривой (b).

Величина m, при которой (b) имѣетъ наибольшее значеніе, найдется изъ условія:

$$\frac{dz}{dm} = 350 - \frac{2\times 350\times m}{5} + 588 \times 1{,}44 - \frac{3\times 588\times 2\times m}{5} - 350 \times \frac{2{,}60}{5} -$$

$$- 588 \times {}^3/_5 \times 2{,}60 = 350 - 140m + 846{,}72 - 705{,}60m - 182 - 917{,}28 = 0,$$

откуда:

$$m = 0{,}115.$$

При этой величинѣ m ни одинъ изъ четырехъ грузовъ не сходитъ съ пролета; слѣдовательно, для пролета въ 5 метровъ наибольшій моментъ имѣетъ мѣсто при дѣйствіи четырехъ осей теидеръ-паровоза Эпгерта.

Въ уравненіи кривой (b):

$$x = m + 1{,}25 + 1{,}35.$$

Слѣдовательно, наибольшій *maximum* будетъ подъ вторымъ колесомъ на разстояніи:

$$x = 0{,}115 + 2{,}60 = 2{,}715 \text{ метра отъ лѣвой опоры.}$$

Значеніе же абсолютнаго *maximum*'а найдется, если вставить полученную величину m въ уравненіе кривой (b), тогда получимъ:

$$max.\, z = (350\times 0{,}977 + 588\times 1{,}371)\, 2{,}715 - 350 \times 2{,}60 - 588 \times 1{,}35 = 1413{,}29,$$

по умноженіи на 20, получимъ, что:

$$max.\, z = 1413{,}29 \times 20 = 28265{,}80 \text{ килограммометр.}$$

Равнозначущая равномѣрно-распредѣленная нагрузка q на единицу длины найдется изъ условія:

$$28265{,}80 = q \times \frac{5}{2} \times 2{,}715 - q \times 2{,}715 \times \frac{2{,}715}{2} = 3{,}101\, q,$$

откуда:

$$q = \frac{28265{,}80}{3{,}10} = 9118 \text{ килограм.}$$

Опредѣляемъ теперь, помощью величины $q = 9118$ килограм., значенія моментовъ для сѣченій: $x = 1$; 2; 2,5; 3 и 4. Значенія слѣдующія:

$$\text{для } x = 1 \text{ и } x = 4; \quad M = 18236,$$
$$\text{для } x = 2 \text{ и } x = 3; \quad M = 27354,$$
$$\text{для } x = 2{,}5; \quad M = 28494.$$

Повѣримъ, получаются ли въ дѣйствительности при проходѣ поѣзда эти моменты.

Отыскиваемъ наибольшее значеніе момента для $x = 1$.

Составляя отношенія послѣдовательной суммы грузовъ къ общей суммѣ, получимъ:

$$\left.\begin{aligned} \frac{350}{350 + 3 \times 588} &= \frac{350}{2114} \\ \frac{350 + 588}{350 + 3 \times 588} &= \frac{938}{2114} \\ \frac{350 + 588 + 588}{350 + 3 \times 588} &= \frac{1526}{2114} \\ \frac{350 + 588 + 588 + 588}{350 + 3 \times 588} &= \frac{2114}{2114} \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (A)$$

и сравниваемъ съ отношеніемъ: $\frac{x}{l} = \frac{1}{5}$. Оказывается, что:

$$\frac{350}{2114} < \frac{1}{5} < \frac{938}{2114}.$$

Слѣдовательно, наибольшій моментъ будетъ для $x = 1$, когда первое изъ тяжелыхъ колесъ (588 к.) встанетъ на это сѣченіе; но въ этомъ случаѣ первое колесо (350 к.) будетъ внѣ пролета, такъ какъ $1{,}25 > 1$.

Поэтому, наибольшій моментъ для $x = 1$ будетъ при дѣйствіи трехъ, а не четырехъ грузовъ на пролетѣ.

Составляя отношенія грузовъ для этого случая, получимъ:

$$\left.\begin{aligned} \frac{588}{3 \times 588} &= \frac{588}{1764} \\ \frac{588 + 588}{3 \times 588} &= \frac{1176}{1764} \\ \frac{588 + 588 + 588}{3 \times 588} &= \frac{1764}{1764} \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (B)$$

Сравнивая ихъ съ отношеніемъ $\frac{x}{l} = \frac{1}{5}$, находимъ, что:

$$0 < \frac{1}{5} < \frac{588}{1764}.$$

Слѣдовательно, наибольшій моментъ будетъ, когда первое колесо встанетъ на сѣченіе $x = 1$:

$$z = \left[588 \times \frac{4}{5} + \frac{588 \times 2{,}65}{5} + \frac{588 \times 1{,}30}{5}\right] = 588 \times 1{,}59 = 934{,}92.$$

Умножая на 20, получимъ:

$$z = 934{,}92 \times 20 = 18698 \text{ к. м.}$$

Отыщемъ наибольшій моментъ для $x = 2$. Тогда: $\frac{x}{l} = \frac{2}{5}$. Сравнивая это отношеніе съ группою (A), находимъ, что:

$$\frac{350}{2114} < \frac{2}{5} < \frac{938}{2114}.$$

Слѣдовательно, наибольшій моментъ для $x = 2$ соотвѣтствуетъ проходу праваго тяжелаго колеса надъ сѣченіемъ, и въ этомъ случаѣ всѣ четыре колеса остаются на пролетѣ.

Значеніе момента будетъ:

$$z = \left(350 \times \frac{4{,}25}{5} + 588 \times \frac{3}{5} + 588 \times \frac{1{,}65}{5} + 588 \times \frac{0{,}30}{5}\right) 2 -$$

$$- 350 \times 1{,}25 = 1321{,}74.$$

Умножая на 20, получимъ:

$$z = 1321{,}74 \times 20 = 26435 \text{ к. м.}$$

Беремъ:

$$x = 2{,}5.$$

Сравнивая отношеніе $\frac{x}{l} = \frac{2{,}5}{5} = \frac{1}{2}$ съ группою (A), находимъ, что:

$$\frac{938}{2114} < \frac{1}{2} < \frac{1626}{2114}.$$

Слѣдовательно, наибольшій моментъ соотвѣтствуетъ проходу второго тяжелаго груза (588) надъ сѣченіемъ $x = 2{,}5$, но замѣтимъ, что въ этомъ случаѣ первый грузъ будетъ внѣ пролета, такъ какъ: $1{,}25 + 1{,}35 > 2{,}5$, а потому обращаемся къ группѣ (B), гдѣ находимъ, что:

$$\frac{588}{1764} < \frac{1}{2} < \frac{1176}{1764}.$$

Результатъ тотъ же, какъ и въ предыдущемъ случаѣ и значеніе момента:

$$z = \frac{3 \times 588}{2} \times 2{,}5 - 588 \times 1{,}35 = 1411{,}20.$$

Умножая на 20, получимъ:

$$z = 1411{,}20 \times 20 = 28224 \text{ к. м.}$$

Переходимъ къ $x = 3$.

Сравнивая отношеніе $\frac{x}{l} = \frac{3}{5}$ съ группою (A), находимъ:

$$\frac{938}{2114} < \frac{3}{5} < \frac{1526}{2114}.$$

Слѣдовательно, наибольшій моментъ соотвѣтствуетъ проходу второго тяжелаго колеса надъ сѣченіемъ $x = 3$, при чемъ ни одинъ изъ четырехъ грузовъ не сходитъ съ пролета.

Значеніе момента:

$$z = \left[350 \times \frac{4,6}{5} + 588 \times \frac{3,35}{5} + 588 \times \frac{2,00}{5} + 588 \times \frac{0,65}{5}\right] 3 -$$

$$- 350 \times 2,60 - 588 \times 1,35 = 1379,00.$$

Умножая на 20, получимъ:

$$z = 1379,00 \times 20 = 27580 \text{ к. м.}$$

Для $x = 4$, отношеніе: $\frac{x}{l} = \frac{4}{5}$ заключается между:

$$\frac{1526}{2114} < \frac{4}{5} < \frac{2114}{2114}.$$

Слѣдовательно, наибольшій моментъ получится при проходѣ послѣдняго тяжелаго колеса надъ еѣченіемъ, при чемъ веѣ грузы остаются на иролетѣ. Значеніе момента:

$$z = \left[350 \times \frac{4,95}{5} + 588 \times \frac{3,70}{5} + 588 \times \frac{2,35}{5} + 588 \times \frac{1}{5}\right] 4 -$$

$$- 350 \times 3,95 - 588 \times 2,70 - 588 \times 1,35 = 938,42.$$

Умножая на 20, получимъ:

$$z = 938,42 \times 20 = 18768 \text{ к. м.}$$

При обратномъ движеніи поѣзда получимъ обратныя значенія. Слѣдовательно дѣйствителѣныя значенія наиб. моментовъ въ сѣченіяхъ $x = 1$: 2; 2,5; 3 и 4 при движеніи поѣзда въ ту и другую сторону.

При $x = 1$ и $x = 4$; $M = 18768$;

» $x = 2$ и $x = 3$; $M = 27580$;

» $x = 2,5$; $M = 28224$.

Переходимъ теперь къ оиредѣленію перерѣзывающихъ усилій.

Наибольшее значеніе на опорѣ—которое будетъ вмѣстѣ съ тѣмъ *max. max.* иерерѣзывающаго усилія, получится при загрузкѣ всего пролета и при расположеніи около разсматриваемой опоры наиболѣе тяжелыхъ грузовъ. Для полученія наиб. иерерѣзывающаго усилія въ данномъ сѣченіи, необходимо такъ расположить грузы, чтобы сопротивленіе опоры имѣло наибольшее значеніе и чтобы между разсматриваемой опорой и даннымъ сѣченіемъ не было грузовъ, что явствуетъ изъ выраженія: $\mathfrak{B} = A - \Sigma P$.

Въ нашемъ случаѣ для лѣвой опоры:

$$max.\ \mathfrak{B} = 588\left(\frac{5 + 3,65 \times 2,30}{5}\right) + \frac{350 \times 1,05}{5} = 1361,22,$$

а умножая иа 20, $max.\ \mathfrak{B} = 27224,40$.

Находимъ теперь наибольшее перерѣзывающее усилїе въ сѣченіяхъ:

$$x = 1,\ 2,\ 2,5,\ 3 \text{ и } 4.$$

Для еѣченія $x = 1$:

$$A = \frac{588\ (4 + 2,65 + 1,30)}{5} + \frac{350 \times 0,05}{5} = 938,42.$$

Слѣдовательно:

$$max.\ \mathfrak{B} = A = 938{,}42 \times 20 = 18168{,}4.$$

При обратномъ движеніи поѣзда при $x = 1$, $max.\ \mathfrak{B} = 18768{,}40$.

Подобнымъ образомъ найдемъ:

для $x = 2$: $max.\ \mathfrak{B} = 11642{,}40$;

» $x = 2{,}5$: $max.\ \mathfrak{B} = 8584{,}8$.

Опредѣленіе въ данномъ сѣченіи пролета при помощи инфлюэнтныхъ кривыхъ, наибольшаго момента и наибольшаго перерѣзывающаго усилія, вызываемыхъ системою подвижныхъ неизмѣнно-связанныхъ сосредоточенныхъ грузовъ, при непосредственномъ дѣйствіи и при узловой передачѣ.

Инфлюэнтной кривой моментовъ или перерѣзывающихъ усилій для даннаго сѣченія называется кривая, показывающая законъ измѣненія численнаго значенія моментовъ и перерѣзывающихъ усилій въ *данномъ сѣченіи*, при перемѣщеніи груза вдоль пролета.

Такъ, напримѣръ, еслибы требовалось найти инфлюэнтную кривую *моментовъ* для сѣченія $x = a$ *однопролетной* балки, при перемѣщеніи груза P, то слѣдовало бы помѣщать этотъ грузъ въ разныхъ сѣченіяхъ пролета и для каждаго такого положенія опредѣлить численное значеніе момента въ сѣченіи $x = a$. Откладывая эти значенія въ видѣ ординатъ противъ соотвѣтственныхъ абсциссъ: $x = An$, Am, a, Ap, Aq и l, опредѣлили бы рядъ точекъ: A, n', m', B, p', q', C, которыя оставалось бы соединить непрерывной кривой и получили бы такъ называемую инфлюэнтную кривую. Чѣмъ чаще взяты абсциссы, тѣмъ точнѣе опредѣляется очертаніе кривой.

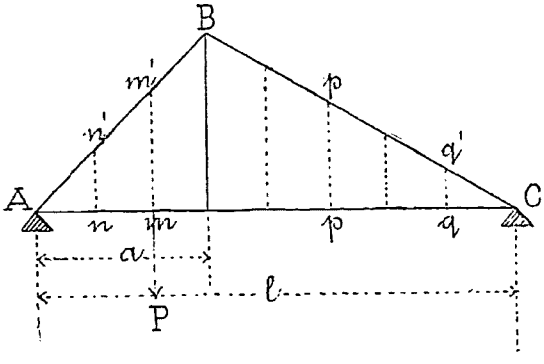


Рис. 368.

Въ данномъ случаѣ, т. е. при однопролетной балкѣ, моментъ въ сѣченіи $x = a$ отъ груза P, помѣщеннаго влѣво отъ сѣченія, въ какомъ либо разстояніи $m = Am$ отъ лѣвой опоры, равенъ (рис. 368):

$$M = P\left(\frac{l-m}{l}\right)a - P(a-m) = P\left(m - \frac{ma}{l}\right) = Pm\left(1 - \frac{a}{l}\right).$$

Пусть численное значеніе этого момента выражается ординатой mm'. Если грузъ помѣщенъ вправо отъ сѣченія $x = a$, напримѣръ, въ $p = Ap$, то:

$$M = P\left(\frac{l-p}{l}\right).a = Pa\left(1 - \frac{p}{l}\right).$$

Пусть это численное значеніе выражается ординатой: pp'.

Выраженіе:

$$M = Pm\left(1 - \frac{a}{l}\right)$$

примѣняется для всѣхъ положеній груза между $m = 0$ и $m = a$, при чемъ пре-

дѣльныя значенія момента:

$$M = 0 \quad \text{и} \quad M = Pa\left(1 - \frac{a}{l}\right).$$

Выраженіе: $M = Pa\left(1 - \frac{p}{l}\right)$ примѣняется для всѣхъ положеній груза, заключающихся между: $p = a$ и $p = l$, при этомъ численное значеніе постепенно уменьшается вмѣстѣ съ увеличеніемъ p. Предѣльныя значенія M:

$$M = Pa\left(1 - \frac{a}{l}\right) \text{ и } M = 0$$

Видъ выраженій: $M = Pm\left(1 - \frac{a}{l}\right)$ и $M = Pa\left(1 - \frac{p}{l}\right)$ показываетъ, что въ данномъ случаѣ инфлюэнтная кривая обращается въ двѣ взаимно пересѣкающіяся прямыя и для очертанія достаточно поэтому опредѣлить значеніе ординаты для $x = a$, отложить на ординатѣ значеніе ея въ извѣстномъ масштабѣ и затѣмъ соединить вершину ординаты съ опорными точками прямыми линіями.

Этимъ чертежемъ можно воспользоваться для опредѣленія наибольшаго значенія момента въ сѣченіи $x = a$, при перемѣщеніи по пролету l нѣсколькихъ равныхъ между собой сосредоточенныхъ грузовъ P. Очевидно, что для каждаго изъ этихъ грузовъ инфлюэнтная кривая выразится той же ломанной линіей ABC и каждая изъ ординатъ, напримѣръ, mm' и pp' (рис. 369), представитъ численное значеніе момента въ сѣченіи $x = a$, когда грузъ P занимаетъ на пролетѣ положеніе въ точкахъ m или p.

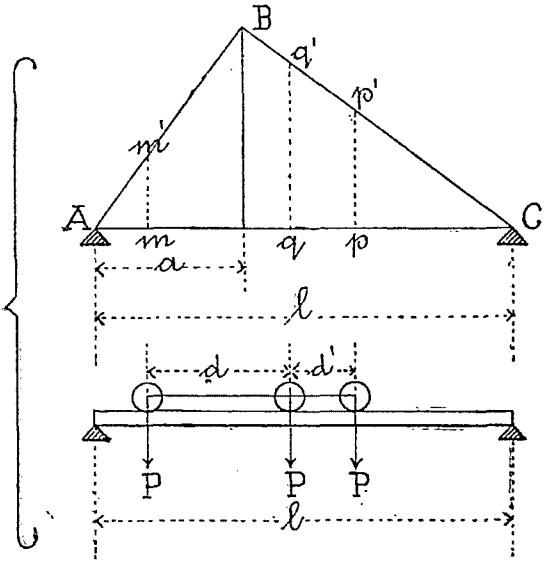


Рис. 369.

Слѣдовательно, сумма ординатъ mm' и pp' изобразитъ численное значеніе момента въ сѣченіи $x = a$, когда въ точкахъ m и p одновременно находится по грузу P. Отсюда слѣдуетъ, что, если требуется найти наибольшее значеніе момента въ $x = a$ при перемѣщеніи по пролету нѣсколькихъ равныхъ грузовъ, напримѣръ, трехъ грузовъ, съ взаимнымъ разстояніемъ d и d' (рис. 369), то достаточно вырѣзать полоску бумаги длиною l (въ томъ же масштабѣ, въ какомъ изображены на чертежѣ абсциссы и пролетъ), намѣтить на ней относительное положеніе грузовъ и, передвигая полоску по чертежу, найти такое положеніе, при которомъ сумма трехъ ординатъ (напримѣръ, mm', qq' и pp') получилась бы наибольшая.

Если бы мы имѣли нѣсколько неравныхъ грузовъ, напримѣръ, три груза: P, P' и P'' (рис. 370), то каждому изъ этихъ грузовъ для еѣченія $x = a$ соотвѣтствовала бы своя инфлюэнтная кривая, которая въ данномъ случаѣ построилась бы очень просто—послѣ нахожденія одной изъ ординатъ по формулѣ:

$$M = Pa\left(1 - \frac{a}{l}\right),$$

такъ какъ, очевидно, между ординатами должна существовать зависимость:

$$NB : NE : ND = P : P' : P'',$$

т. е. ординаты въ сѣченіи $x = a$ пропорціональны численному значенію грузовъ: P, P' и P''. Если (рис. 370) кривая ABC есть инфлюэнтная кривая для груза P, кривая AEC—для груза P', а кривая ADC—для груза P'', то, имѣтивъ на полоскѣ бумаги относительное положеніе этихъ трехъ грузовъ, необходимо путемъ передвиганія найти положеніе полосы, при которомъ сумма ординатъ: mm', qq' и pp' окажется наибольшей.

Тотъ же пріемъ сохраняется, когда имѣется нѣсколько группъ одинаковыхъ грузовъ, какъ напримѣръ на рис. 371, гдѣ изображенъ случай съ тремя группами грузовъ и въ каждой группѣ по

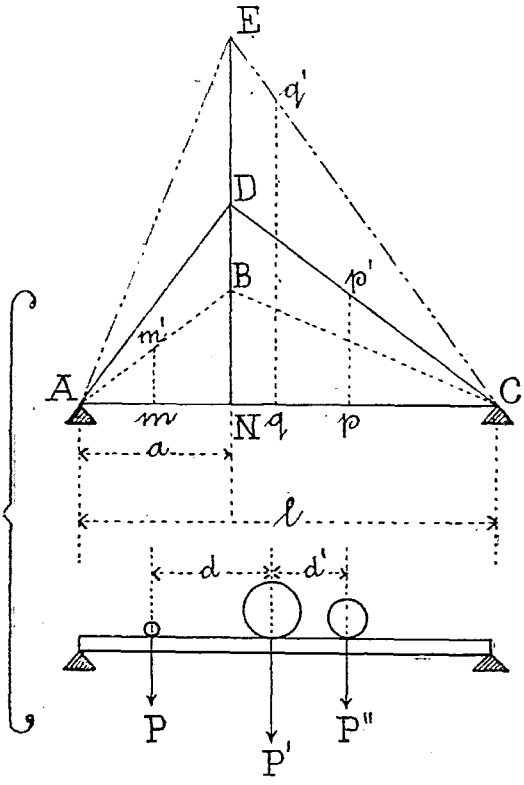


Рис. 370.

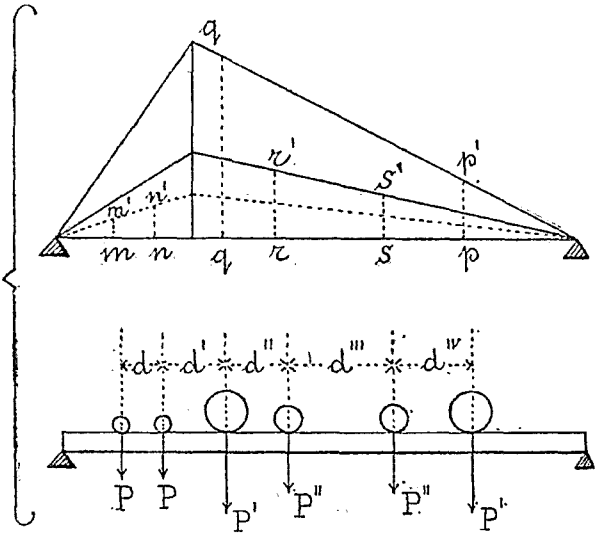


Рис. 371.

два груза, или когда разсматривается нормальный желѣзнодорожный поѣздъ съ тремя группами грузовъ (давленіе колесъ паровоза, тендера и вагона), разставленныхъ въ извѣстномъ порядкѣ.

Если требуется имѣть наибольшія значенія моментовъ для нѣсколькихъ сѣченій пролета, то инфлюэитныя кривыя вычерчиваются для всѣхъ этихъ сѣченій.

На рис. 372 изображены инфлюэитныя кривыя для пяти различныхъ сѣченій пролета, соотвѣтствующія одному грузу или нѣсколькимъ одинаковымъ грузамъ.

На рис. 373 представлены инфлюэитныя кривыя для трехъ сѣченій пролета для трехъ группъ различныхъ грузовъ.

Чтобы не затемнять чертежа, вычерчиваютъ иногда кривыя только для одной группы грузовъ и примѣияютъ ихъ и для остальныхъ группъ, пользуясь неодинаковыми масштабами при измѣреніи длины ординатъ.

Построеніе инфлюэнтныхъ кривыхъ для *перерѣзывающихъ усилій* производится подобнымъ же образомъ. Такъ, напримѣръ (рис. 374), для всѣхъ сѣченій

$m = Am$, меньшихъ $x = a$, выраженіе перерѣзывающаго усилія:

$$\mathfrak{B} = \frac{P(l-m)}{l} - P = -\frac{Pm}{l}.$$

При $m = 0$, $\mathfrak{B} = 0$; при $m = a$, $\mathfrak{B} = -\frac{Pa}{l}$.

Для сѣченій $p = Ap$, большихъ $x = a$, выраженіе перерѣзывающаго усилія:

$$\mathfrak{B} = \frac{P(l-p)}{l} = P\left(1 - \frac{p}{l}\right).$$

При $p = a$, $\mathfrak{B} = P\left(1 - \frac{a}{l}\right)$; при $p = l$, $\mathfrak{B} = 0$.

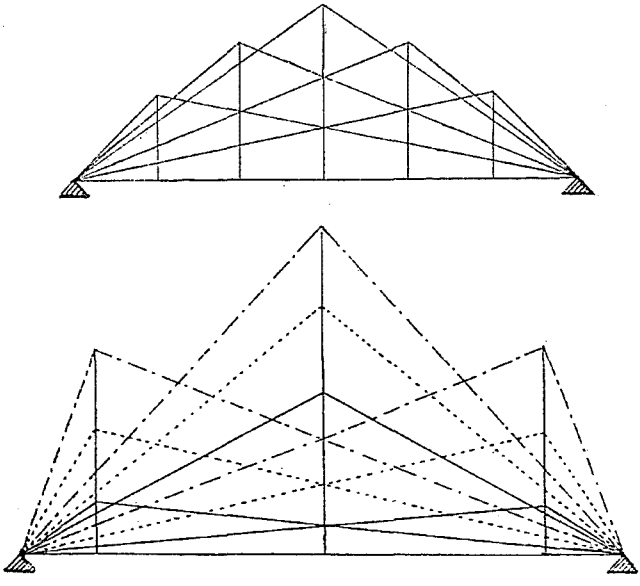


Рис. 372 и 373.

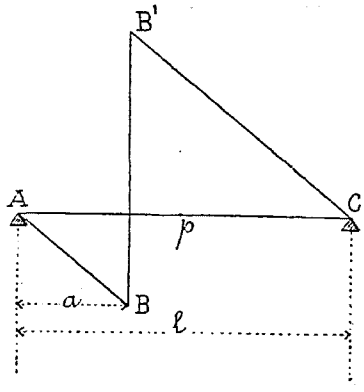


Рис. 374.

Слѣдовательно, инфлюэитныя кривыя выразятся ломанными $ABB'C$ (рис. 374).

На рис. 375 изображены инфлюэитныя кривыя перерѣзывающихъ усилій для четырехъ сѣченій пролета для двухъ группъ различныхъ грузовъ. Отысканіе наибольшаго перерѣзывающаго усилія

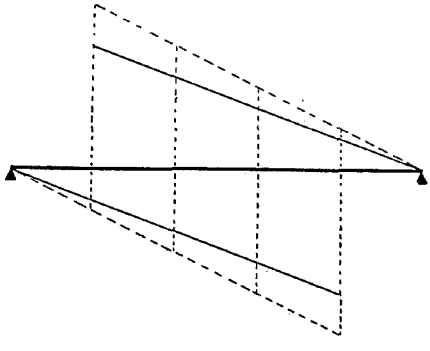


Рис. 375.

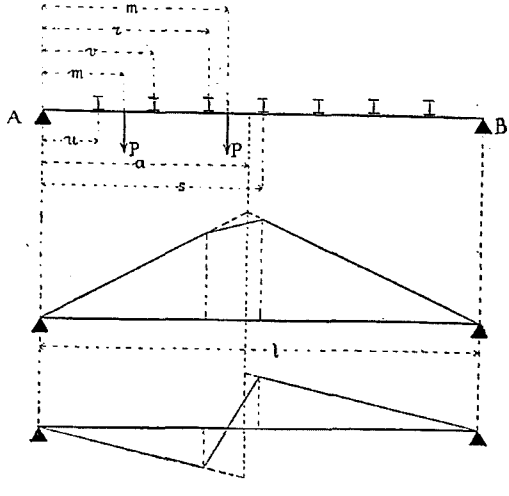


Рис. 376.

въ данномъ сѣченіи производится при помощи вышеупомянутой полоски бумаги, на которой наносится относительное положеніе грузовъ.

Если грузъ дѣйствуетъ *не* непосредственно на балку или ферму, а имѣетъ

мѣсто такъ-называемая *узловая передача*, (напр. грузъ перемѣщается по продольнымъ балкамъ, прикрѣпленнымъ къ поперечнымъ балкамъ, а эти послѣднія прикрѣплены къ разсматриваемой балкѣ или фермѣ), то для сѣченій, заключающихся между узловыми точками, видъ инфлюэнтныхъ кривыхъ моментовъ и перерѣзывающихъ усилій нѣсколько иной. Пусть требуется построить инфлюэнтную кривую моментовъ и перерѣзывающихъ усилій для сѣченія $x = a$, заключающагося между двумя узловыми сѣченіями $x = r$ и $x = s$ (рис. 376).

Легко видѣть, что для всякаго положенія m груза, при чемъ: $r > m > s$, моментъ и перерѣзывающее усиліе въ сѣченіи $x = a$ выражается такъ, какъ еслибы не было узловой передачи, что слѣдуетъ изъ того, что въ аналитическія выраженія разсматриваемыхъ величинъ войдутъ въ видѣ вычитаемыхъ *обѣ* составляющія, на которыя разобьется данный грузъ P.

Дѣйствительно, пусть грузъ находится на разстояніи m отъ лѣвой опоры, при чемъ $m < r$. Еслибы не было узловой передачи, то:

$$A = P\left(1 - \frac{m}{l}\right); \text{ и при } m < a, \quad M = Pm\left(1 - \frac{a}{l}\right); \quad \mathfrak{B} = -P\frac{m}{l}.$$

При узловой передачѣ грузъ P разложится на смежные узлы въ доляхъ:

$$P\frac{v - m}{v - u} \quad \text{и} \quad P\frac{m - u}{v - u}.$$

Слѣдовательно:

$$A = P\frac{v - m}{v - u}\left(1 - \frac{u}{l}\right) + P\frac{m - u}{v - u}\left(1 - \frac{v}{l}\right) =$$

$$= P\left(v + \frac{mu}{l} - u - \frac{mv}{l}\right) \cdot \frac{1}{v - u} = P\left(1 - \frac{m}{l}\right).$$

$$M = P\left(1 - \frac{m}{l}\right)a - P\frac{v - m}{v - u}(a - u) - P\frac{m - u}{v - u}(a - v) = P\left(1 - \frac{m}{l}\right)a -$$

$$- P\left(\frac{va + mu - ua - mv}{v - u}\right) = P\left(1 - \frac{m}{l}\right)a - P(a - m) = Pm\left(1 - \frac{a}{l}\right).$$

$$\mathfrak{B} = P\left(1 - \frac{m}{l}\right) - P\frac{(v - m)}{v - u} - P\frac{(m - u)}{v - u} = -P\frac{m}{l}.$$

Если же: $r < m < s$, то въ виду того, что въ выраженіе момента и перерѣзывающаго усилія въ сѣченіи $x = a$ войдетъ въ видѣ вычитаемаго только *одна* составляющая,—выраженіе будетъ иное.

Дѣйствительно, еслибы не было узловой передачи, опять имѣли бы:

$$A = P\left(1 - \frac{m}{l}\right); \text{ и для } m < a, \; M = Pm\left(1 - \frac{a}{l}\right); \quad \mathfrak{B} = -P\frac{m}{l}.$$

Въ данномъ случаѣ P разложится на двѣ составляющія (рис. 376):

$$P\frac{s - m}{s - r} \quad \text{и} \quad P\frac{m - r}{s - r}.$$

$$A = P\frac{s - m}{s - r}\left(1 - \frac{r}{l}\right) + P\frac{m - r}{s - r}\left(1 - \frac{s}{l}\right) = P\left(1 - \frac{m}{l}\right).$$

$$M' = P\left(1 - \frac{m}{l}\right)a - P\frac{s-m}{s-r}(a-r).$$

$$\mathfrak{B}' = P\left(1 - \frac{m}{l}\right) - P\frac{s-m}{s-r} = -P\frac{m}{l} +$$

$$+ P\left(1 - \frac{s-m}{s-r}\right) = -P\frac{m}{l} + P\frac{m-r}{s-r}.$$

$$\Delta M = M - M' = Pm\left(1 - \frac{a}{l}\right) - P\left(1 - \frac{m}{l}\right)a + P\frac{s-m}{s-r}(a-r) =$$

$$= P(m-a) + P\frac{s-m}{s-r}(a-r) = P\frac{(m-a)(s-r) + P(s-m)(a-r)}{s-r} =$$

$$= P\frac{ms + ar - ma - rs}{s-r} = P\frac{s(m-r) - a(m-r)}{s-r}\Bigg] =$$

$$= P(m-r)\frac{s-a}{s-r} = P(m-r)\left(1 - \frac{a-r}{s-r}\right).$$

$$\Delta\mathfrak{B} = \mathfrak{B} - \mathfrak{B}' = -P\frac{m}{l} + P\frac{m}{l} - P\frac{m-r}{s-r} = -P\frac{m-r}{s-r}.$$

Такъ какъ $m > r$, $a > r$, то для $m < a$, $\Delta M > 0$, $\Delta\mathfrak{B} < 0$. При $m = r$, $\Delta M = 0$, $\Delta\mathfrak{B} = 0$. Далѣе $\mathfrak{B}' = 0$, при $m(s-r) = l(m-r)$, откуда:

$$m = \frac{lr}{l - s + r}.$$

Сравнивая затѣмъ выраженія ΔM и $\Delta\mathfrak{B}$ съ M и $\mathfrak{B}$ при неузловой передачѣ, т. е. съ $M = Pm\left(1 - \frac{a}{l}\right)$, $\mathfrak{B} = -P\frac{m}{l}$, мы замѣчаемъ, что, если считать за пролетъ разстояніе между двумя разсматриваемыми узлами, т. е. если $l = s - r$, $m = m - r$, $a = a - r$, то выраженія ΔM и M, $\Delta\mathfrak{B}$ и $\mathfrak{B}$—тождественны. Слѣдовательно, если: $r < a < s$ и $r < m < s$, то для сѣченія $x = a$ *разность ординатъ инфлюэнтныхъ кривыхъ при непосредственномъ дѣйствіи груза и при узловой передачѣ—представляетъ собою ординаты инфлюэнтныхъ кривыхъ при величинѣ пролета, равной разстоянію между двумя разематриваемыми узлами.* Въ разсматриваемой задачѣ построеніе можетъ быть упрощено тѣмъ, что достаточно построить для $x = a$ инфлюэнтныя кривыя (въ данномъ случаѣ прямыя линіи) и сохранить только тѣ части инфлюэнтной кривой, которыя заключаются между $m = o$ и $m = r$, межд $m = s$ и $m = l$. Для полученія же инфлюэнтной кривой въ предѣлахъ между $m = r$ и $m = s$, соединить прямой линіей ординаты кривой при $m = r$ и $m = s$.

Опредѣленіе абсолютнаго наибольшаго момента. Имѣя инфлюэнтныя кривыя, вычерченныя для нѣсколькихъ сѣченій, взятыхъ на одинаковыхъ взаимныхъ разстояніяхъ (рис. 372), не трудно съ достаточною точностью опредѣлить абсолютный наибольшій моментъ сравнивъ для нѣсколькихъ сѣченій пролета сумму ординатъ, соотвѣтствующихъ разнымъ грузамъ, при нѣсколькихъ послѣдовательныхъ положеніяхъ полоски.

Примѣненіе инфлюэнтныхъ кривыхъ къ опредѣленію въ данномъ сѣченіи неразрѣзной балки наибольшихъ моментовъ и перерѣзывающихъ усилій, а также

къ опредѣленію въ данномъ сѣченіи кривого бруса наибольшаго момента и наибольшаго нормальнаго и продольнаго усилій. Сущность пріема остается безъ измѣненій. Такъ напримѣръ, если имѣемъ неразрѣзную двухпролетную балку съ равными пролетами, то выраженія сопротивленія опоръ отъ сосредоточеннаго груза, помѣщеннаго въ первомъ пролетѣ на разстояніи: $m = Am$ отъ лѣвой опоры (рис. 377):

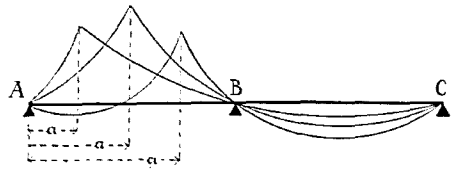


Рис. 377.

$$A = P\left(1 - \frac{5}{4}\cdot\frac{m}{l} + \frac{1}{4}\cdot\frac{m^3}{l^3}\right);$$

$$B = P\left(\frac{3}{2}\cdot\frac{m}{l} - \frac{1}{2}\cdot\frac{m^3}{l^3}\right);$$

$$C = P\left(-\frac{1}{4}\cdot\frac{m}{l} + \frac{1}{4}\cdot\frac{m^3}{l^3}\right).$$

Поэтому, если $x = a$—сѣченіе, для котораго строится пифлюэтная кривая моментовъ, то выраженіе *момента* отъ груза, помѣщеннаго на разстояніи m отъ лѣвой опоры, при $m \begin{matrix} > o \\ < a \end{matrix}$:

$$M = P\left(1 - \frac{5}{4}\cdot\frac{m}{l} + \frac{1}{4}\cdot\frac{m^3}{l^3}\right) \times a - P(a - m) =$$

$$= P\left[m - \frac{5}{4}\cdot\frac{ma}{l} + \frac{1}{4}\cdot\frac{m^3}{l^3}\cdot a\right].$$

Выраженіе это, при $m = a$, всегда положительное, такъ какъ въ:

$$M = Pa\left(1 - \frac{5}{4}\cdot\frac{a}{l} + \frac{1}{4}\cdot\frac{a^3}{l^3}\right)$$

величина въ скобкахъ всегда положительная (при $a = l$ она обращается въ 0, а при $a < l$ положительные члены преобладаютъ надъ отрицательными).

Для малыхъ значеній a, а слѣдовательно и малыхъ m—такъ какъ $m < a$, выраженіе:

$$M = Pm\left(1 - \frac{5}{4}\cdot\frac{a}{l} + \frac{1}{4}\cdot\frac{m^2}{l^3}\cdot a\right)$$

также положительное. При достаточно большихъ значеніяхъ a и незначительныхъ m—выраженіе M—отрицательное.

Если грузъ помѣщенъ вправо отъ сѣченія $x = a$, т. е. если $m \begin{matrix} > a \\ < l \end{matrix}$, то выраженіе момента:

$$M = P\left(1 - \frac{5}{4}\cdot\frac{m}{l} + \frac{1}{4}\cdot\frac{m^3}{l^3}\right) \times a,$$

которое всегда положительное, такъ какъ при $m = l$, $M = 0$ и при $m < l$ положительные члены преобладаютъ надъ отрицательными.

Если грузъ помѣщенъ во второмъ пролетѣ, т. е. $m \begin{matrix} > l \\ < 2l \end{matrix}$, то:

$$M = -P\left[\frac{1}{4}\cdot\frac{(2l - m)}{l} - \frac{1}{4}\cdot\frac{(2l - m)^3}{l^3}\right]\cdot a;$$

выраженіе это всегда отрицательное. Поэтому инфлюэитныя кривыя для трехъ сѣченій, взятыхъ на разныхъ разстояніяхъ отъ лѣвой опоры (A), примутъ очертаніе, изображенное на рис. 377. Слѣдовательно, если разсматриваемое сѣченіе расположено въ первомъ пролетѣ вблизи второй опоры (какъ увидимъ впослѣдствіи, при $a > 0{,}8\,l$), то для полученія наибольшаго положительнаго момента участокъ пролета, отвѣчающій положительнымъ ординатамъ кривой, слѣдуетъ загрузить наиболѣе тяжелыми и наиболѣе сближенными грузами, выбирая такое ихъ относительное положеніе, чтобы сумма ординатъ получилась наибольшая. Для полученія наибольшаго отрицательнаго момента слѣдуетъ, обратно, загрузить участокъ перваго пролета, гдѣ ординаты кривой отрицательныя, а также весь второй пролетъ—гдѣ также всѣ ординаты кривой отрицательныя.

Выраженіе *перерѣзывающихъ усилій*, при помѣщеніи груза въ сѣченіяхъ $m \begin{matrix} > 0 \\ < a \end{matrix}$:

$$\mathfrak{B} = P\left(1 - \frac{5}{4}\cdot\frac{m}{l} + \frac{1}{4}\cdot\frac{m^3}{l^3}\right) - P = P\left(-\frac{5}{4}\cdot\frac{m}{l} + \frac{1}{4}\cdot\frac{m^3}{l^3}\right)$$

всегда отрицательное.

Когда грузъ занимаетъ положеніе между разсматриваемымъ сѣченіемъ и второй опорой, т. е. когда $m \begin{matrix} > a \\ < l \end{matrix}$:

$$\mathfrak{B} = P\left(1 - \frac{5}{4}\cdot\frac{m}{l} + \frac{1}{4}\cdot\frac{m^3}{l^3}\right)$$ — всегда положительное.

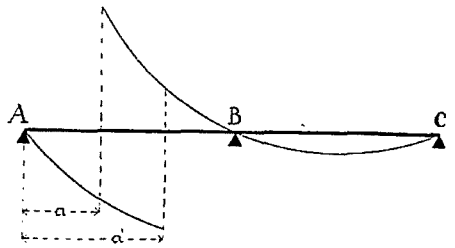


Рис. 378.

Наконецъ, при помѣщеніи груза во второмъ пролетѣ, при $m \begin{matrix} > l \\ < 2l \end{matrix}$:

$$\mathfrak{B} = -P\left[\frac{1}{4}\cdot\frac{(2l-m)}{l} - \frac{1}{4}\cdot\frac{(2l-m)^3}{l^3}\right]$$ — всегда отрицательное.

Поэтому инфлюэнтная кривая для сѣченія $x = a$ будетъ имѣть видъ, изображенный на рис. 378.

Дальнѣйшія подробности указаны въ статьѣ Г. Аврпнскаго (Ж. М. П. С., 1891 г. Сент.—Окт.), въ которой приведены численныя значенія коэффиціентовъ въ выраженіяхъ сопротивленій опоръ для двухъ и трехпролетной балки для различныхъ значеній $\frac{m}{l} = \lambda$, начиная отъ 0,1; 0,2; 0,3 до 1.

Для сбереженія времени при подсчетѣ численнаго значенія коэффиціентовъ въ выраженіяхъ сопротивленій опоръ: A, B, C, при различныхъ значеніяхъ $\frac{m}{l} = \lambda$—можно пользоваться вышеуказанными таблицами Г. Аврпнскаго. Само собою разумѣется, что, при помѣщеніи груза во второмъ пролетѣ, когда $m > l$, таблица сохраняетъ свое значеніе, такъ какъ: $\frac{m'}{l} = \frac{l-m}{l}$ менѣе 1.

Для трехпролетной балки значеніе коэффиціентовъ въ выраженіяхъ сопротивленій опоръ: A, B, C, D вычислены для различныхъ положеній груза: въ первомъ пролетѣ между O и l, и во второмъ пролетѣ между l и $2l$; случай, когда грузъ занимаетъ положеніе въ третьемъ пролетѣ, очевидно, аналогиченъ съ первымъ случаемъ.

Равнымъ образомъ, если требуется построить инфлюэитныя кривыя для опредѣленія *наибольшихъ моментовъ, нормальныхъ и продольныхъ усилій въ данномъ сѣченіи плоской параболической арки съ двумя шарнирами*, то въ виду того, что въ подобной аркѣ выраженія составляющихъ сопротивленія опоръ отъ

сосредоточеннаго вертикальнаго груза, находящагося на растояніи m отъ лѣвой опоры: *)

$$A = \frac{P(l-m)}{l},$$

$$H = \frac{5}{8fl^3} Pm(l-m)(l^2 + ml - m^2),$$

инфлюэнтная кривая для моментовъ построится по уравненіямъ:

при $m < a$: $$M = Aa - Hb - P(a-m),$$

при $m > a$: $$M = Aa - Hb,$$

гдѣ a и b—абсцисса и ордината ц. т. сѣченія аркп, проведеннаго пормально къ продольной оси аркп. Инфлюэнтныя кривыя для опредѣленія пормальныхъ усилій.

при $m < a$: $$T = (A-P)\cos\alpha - H\sin\alpha,$$

при $m > a$: $$T = A\cos\alpha - H\sin\alpha,$$

гдѣ α—острый уголъ, составленный осью аркп въ данномъ сѣченіи съ положительнымъ направленіемъ горизонтальной оси.

Инфлюэнтная кривая для опредѣленія продольныхъ усилій:

при $m < a$: $$N = (A-P)\sin\alpha + H\cos\alpha,$$

при $m > a$: $$N = A\sin\alpha + H\cos\alpha.$$

Примѣненіе инфлюэнтныхъ кривыхъ для опредѣленія наибольшихъ значеній опорныхъ сопротивленій и усилій въ элементахъ любой фермы. Построеніе аналитическаго выраженія опорнаго сопротивленія при перемѣнномъ значеніи точки приложенія сосредоточеннаго груза выразится напр. для неразрѣзной балки нѣкоторой кривой съ положительными и отрицательными ординатами. Имѣя такую эпюру, легко найти съ достаточнымъ приближеніемъ такое положеніе группы неизмѣнно-связанныхъ сосредоточенныхъ грузовъ, которое отвѣчало бы наибольшему значенію суммы всѣхъ ординатъ.

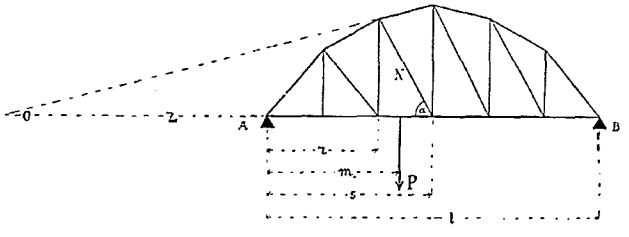


Рис. 379.

Усилія въ элементахъ фермы могутъ быть выражены въ функціи моментовъ, взятыхъ относительно опредѣленныхъ сѣченій, а въ извѣстныхъ случаяхъ въ функціи перерѣзывающихъ усилій. Откладывая въ опредѣленномъ масштабѣ эти усилія, можемъ съ достаточнымъ приближеніемъ найти и численныя значенія наибольшаго усилія, передвигая систему грузовъ такъ, чтобы получить наибольшую сумму однозначныхъ ординатъ.

Такъ напр., если имѣемъ балочную ферму съ верхнимъ криволинейнымъ поясомъ (рис. 379), то усиліе раскоса найдется, если составить выраженіе момента относительно точки O. Для груза, помѣщеннаго въ предѣлахъ той панели, къ которой относится раскосъ, получаемъ:

$$A = P\left(1 - \frac{m}{l}\right);$$

*) См. далѣе Плоскія параболическія аркп.

$$M = -P\left(1 - \frac{m}{l}\right)z + P\frac{s-m}{s-r}(z+r) + N(z+s)\sin\alpha = 0;$$

$$N = \left[P\left(1 - \frac{m}{l}\right)z - P\frac{(s-m)}{s-r}(z+r)\right]\frac{1}{(z+s)\sin\alpha}.$$

При $m = r$:

$$N = \left[-P\frac{r}{l}z - Pz\right]\frac{1}{(z+s)\sin\alpha} = -Pz\left(1 + \frac{r}{l}\right)\frac{1}{(z+s)\sin\alpha}.$$

При $m = s$: $$N = P\left(1 - \frac{s}{l}\right)z \cdot \frac{1}{(z+s)\sin\alpha}.$$

Соединивъ прямыми линіями послѣдовательно точки: лѣвую опору, вершину ординаты N при $m=r$, затѣмъ вершину ординаты при $m=s$ и, наконецъ, правую опору—получимъ искомую инфлюэнтную линію для опредѣленія наибольшаго значенія N.

Подвижная нагрузна для мостовъ подъ обыкновенную дорогу.—Нормы М-ва П. С.—Общія нормы нагрузокъ для проѣзжей части и для главныхъ фермъ.—Нормы для мостовъ подъ конно-желѣзную дорогу, для пѣшеходныхъ и скотопрогонныхъ мостовъ.—Данныя относительно заграничныхъ нормъ.

Нормы М-ва П. С. Бывшимъ Департаментомъ Шоссейныхъ и Водяныхъ Сообщеній нашего Министерства Путей Сообщенія рекомендованы слѣдующія временныя нагрузки для расчета мостовъ на шоссейныхъ дорогахъ:

«Временная нагрузка предполагается или въ видѣ грузовыхъ экипажей, или въ видѣ сплошной толпы людей, или въ видѣ возможной совокупности толпы и экипажей, смотря по тому, какое изъ этихъ предположеній даетъ наибольшее напряженіе матеріала. Нагрузка отъ толпы людей принимается равною 2,5 пуд. на квадр. футъ поверхности моста. Наибольшій же вѣсъ грузовыхъ экипажей устанавливается въ зависимости отъ положенія и матеріала моста. На шоссейныхъ дорогахъ безъ тяжелаго грузового движенія за самый тяжелый экипажъ принимается четырехъ-колесная фура вѣсомъ 300 пудовъ; размѣры такой фуры слѣдующіе: длина фуры 2,3 саж., ширина 1,2 саж., разстояніе между осями 1,3 саж. и разстояніе между колесами 0,6 саж.; взаимное разстояніе такихъ фуръ въ направленіи ихъ движенія (для помѣщенія запряжки) — 1,3 саж., а наименьшее разстояніе между краями двухъ продольныхъ рядовъ фуръ 0,1 сажени. На шоссейныхъ дорогахъ съ тяжелымъ грузовымъ движеніемъ самымъ тяжелымъ экипажемъ считается фура вѣсомъ 500 пуд.; размѣры такой фуры принимаются слѣдующіе: длина 3 саж., ширина 1,3 саж., разстояніе между осями 1,5 саж. и разстояніе между колесами 0,65 саж.; взаимное разстояніе такихъ фуръ въ направленіи движенія ихъ 3,1 саж., а наименьшее разстояніе между краями двухъ продольныхъ рядовъ фуръ 0,1 саж.».

«При обыкновенныхъ величинахъ продольныхъ уклоновъ, для перемѣщенія по шоссе такихъ фуръ нужно не менѣе 4 лошадей при первомъ типѣ и не менѣе 8 лошадей при второмъ».

«Для расчета деревянныхъ мостовъ примѣняется, смотря по мѣстнымъ условіямъ, первый или второй типъ фуры; для расчета же желѣзныхъ мостовъ — только второй типъ».

«Для расчета мостовъ на такихъ дорогахъ, по которымъ предстоитъ перевозка грузныхъ нераздѣльныхъ предметовъ, наибольшій вѣсъ грузового экипажа опредѣляется каждый разъ особо, для чего собираются свѣдѣнія о вѣсѣ предполагаемыхъ къ перевозкѣ грузныхъ предметовъ и о размѣрахъ экипажей».

Общія нормы нагрузокъ для проѣзжей части и для главныхъ фермъ. Для расчета *проѣзжей части* (то-есть, настила, консолей, продольныхъ и поперечныхъ балокъ) принимаютъ или: 1) сплошную нагрузку въ 560 килограм. на квадратный метръ, что приблизительно равно 3 пудамъ на 1 квадратный футъ, или 2) нагрузку отъ самыхъ тяжелыхъ фуръ, которыя могутъ проходить по мосту. Для обыкновенныхъ шоссейныхъ мостовъ можно принять наиболѣе тяжелую фуру, показанную на рис. 380, шириною 2—2,5 метра. На шоссе вблизи большихъ городовъ, гдѣ можно предположить перевозку тяжелыхъ паровиковъ и проч., типомъ тяжелой фуры можетъ служить изображенная на рис. 381. По Винклеру нагрузку самой тяжелой фуры слѣдуетъ принять въ 10 тоннъ на ось. Вольшею частью находятъ достаточнымъ ограничиться фурой типа рис. 380. Разстояніе между колесами 1,53 метра; ширина фуры — 2—2,3 метра. Для конножелѣзныхъ дорогъ, по которымъ предполагается перемѣщеніе товарныхъ вагоновъ паровыхъ желѣзныхъ дорогъ, можно также принять давленіе на ось въ 10 тоннъ; въ противномъ случаѣ не болѣе 4 — 5 тоннъ. Для расчета *продольныхъ балочекъ* нужно расположить наиболѣе невыгоднымъ образомъ колеса наиболѣе тяжелой фуры или предположить, что балка нагружена толпою людей въ 3 пуда на квадратный футъ, и изъ двухъ предположеній выбрать самое невыгодное. Для расчета *поперечныхъ балокъ* слѣдуетъ помѣстить надъ нею по серединѣ балки и параллельно ей ось самой тяжелой фуры, по бокамъ оси двухъ менѣе тяжелыхъ (типа рис. 380), а остальную часть мостового полотна, давленіе отъ котораго передается на поперечную балку, заставить задними осями фуръ и толпою людей по 3 пуда на квадратный футъ; или-же надъ поперечной балкой помѣстить заднія оси, а остальную часть заставить толпою людей и выбрать изъ двухъ нагрузокъ наиболѣе невыгодную.

Рис. 380.

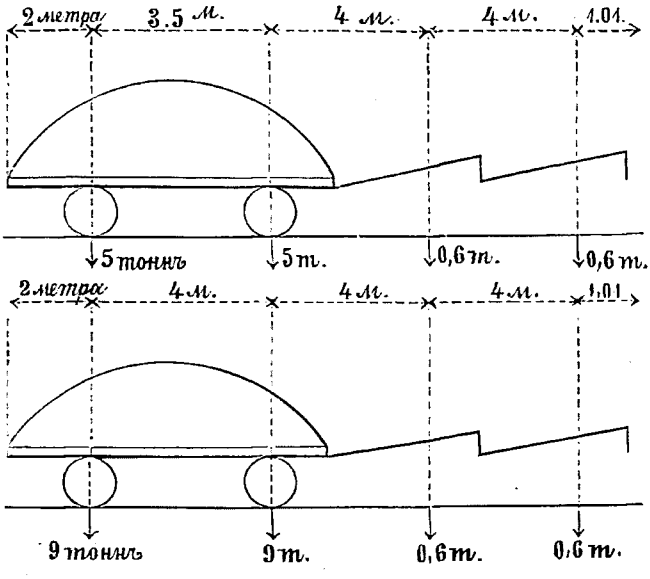


Рис. 381.

Если пролетъ не великъ, *менѣе 20 метровъ*, то для *расчета усилій въ главныхъ фермахъ* слѣдуетъ по серединѣ моста помѣстить одну тяжелую фуру, по бокамъ (если позволяетъ ширина) двѣ менѣе тяжелыя; остальную часть моста предположить нагруженной толпою людей въ 400 килограммовъ на квадратный метръ. По Винклеру для фуръ типа рис. 380 равнозначащая равномѣрная сплошная нагрузка на той же площади, какъ и фура съ лошадьми, составляетъ

394 килогр. на квадр. метръ, а для типа рис. 381 — 584 килогр. По другимъ даннымъ его для фуръ типа рис. 381:

$$k = \left(0{,}49 + \frac{7{,}0}{l}\right) b_1 + 0{,}4\, b_2$$

тоннъ на погонный метръ моста шириною: $b = b_1 + b_2$, гдѣ b_1 и b_2 — ширины экипажнаго проѣзда и тротуаровъ. Для фуръ типа рис. 380 подвижная нагрузка:

$$k = \left(0{,}49 + \frac{3{,}0}{l}\right) b_1 + 0{,}4\, b_2.$$

Для легкихъ фуръ:

$$k = \left(0{,}44 + \frac{1{,}1}{l}\right) b_1 + 0{,}4\, b_2.$$

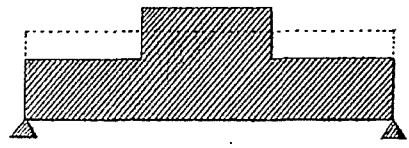


Рис. 382.

Получивъ вдоль моста (рис. 382) двѣ неодинаковыя сплошныя нагрузки, слѣдуетъ ихъ замѣнить одной общей равнозначащей имъ нагрузкой, относительно которой и расчитать главныя фермы.

Если пролетъ *болѣе 20 метровъ*, то для опредѣленія усилій въ *главныхъ фермахъ* принимаютъ по всему мосту равномѣрную сплошную нагрузку въ 400—440 килогр. на квадратный метръ, или 2,25—2,50 пуда на квадратный футъ.

Подвижную нагрузку на квадратный метръ полотна опредѣляютъ иногда по формуламъ, составленнымъ въ зависимости отъ типа фуръ и величины пролета. Въ случаѣ примѣненія очень тяжелыхъ фуръ, съ нагрузкой на ось не менѣе 10 тоннъ, нагрузка въ кил. на кв. м. полотна:

$$k = 450 + \frac{5000}{l};$$

при тяжелыхъ фурахъ съ нагрузкой на ось не менѣе 5 тоннъ:

$$k = 440 + \frac{2000}{l};$$

при легкихъ фурахъ:

$$k = 430 + \frac{800}{l}.$$

Въ отношеніи *каменныхъ* моетовъ условія дѣйствія подвижной нагрузки нѣсколько иныя, такъ какъ тамъ проѣзжая часть и главныя фермы составляютъ одно цѣлое. Все зависитъ отъ толщины засыпки надъ сводомъ: чѣмъ толще этотъ слой, тѣмъ вѣроятнѣе равномѣрное распредѣленіе давленія, принимаемое обыкновенно не менѣе 400 кил. на кв. м. Если засыпка не велика, то слѣдуетъ брать въ расчетъ отдѣльные сосредоточенные грузы. По Bauernfeind'y — фуры съ нагрузкой на ось въ 5 т., 9 т. и 12 т. — длиною 7,5 м.—8 м.—8,8 м. и шириною отъ 2 до 2,5 м.—соотвѣтствуютъ равномѣрно распредѣленной нагрузкѣ на кв. м. площади, покрываемой фурой, въ 0,67—0,9—1,09 тоннъ. При малой высотѣ засыпки и это предположеніе не вполнѣ вѣроятно. Такъ напр. если толщина засыпки 0,3 м. и толщина свода — 0,3 м., то, расчитывая на передачу давленія подъ угломъ 45° до половины толщины свода, т. е. всего на толщину 0,45 м., давленіе отъ колеса съ площадью сопрнкасаніа въ 0,1 кв. м. передается всего лишь на площадь въ 1 кв. м.; а такъ какъ разстояніе между осями болѣе

1 метра, то давленіе не распространяется равномѣрно на площадь, покрываемую фурой. Во всякомъ случаѣ оцѣнивать это вліяніе можно только приблизительно.

Въ желѣзнодорожныхъ моетахъ, гдѣ нагрузка передается черезъ шпалы — условія нѣсколько благопріятнѣе. Если напр. толщина балласта подъ подошвой шпалы: 0,45 м., толщина свода 0,4 м., ширина шпалы 0,26 м., длина ея 2,5 м.— то площадь, на которую передается давленіе отъ нагруженной шпалы:

$$(2{,}5 + 2 \times 0{,}65)\ (0{,}26 + 2 \times 0{,}65) = 3{,}8 \times 1{,}56 = 5{,}928 \text{ кв. м.}$$

Если нагрузка на ось 14 тоннъ, то давленіе на кв. м. 2360 кил. А такъ какъ разстояніе между осями паровоза 1,5 м., что менѣе 1,56,—то эту нагрузку слѣдуетъ считать равномѣрно распредѣленной по всей длинѣ паровоза; для тендера и вагоновъ можно подобнымъ же образомъ найти эквивалентную нагрузку. Иногда впрочемъ примѣняютъ эту нагрузку, соотвѣтствующую высотѣ каменной кладки въ 0,8 м., на всю длину моста.

Нормы для мостовъ подъ конно-желѣзную дорогу. Если мостъ устраивается подъ *конножелѣзную дорогу* для перевозки пассажирскихъ и товарныхъ вагоновъ съ нагрузкою на ось въ 10 тоннъ, то проѣзжая часть расчитывается относительно сосредоточенной нагрузки, а для расчета главныхъ фермъ слѣдуетъ установить вдоль моста такое колличество вагоновъ, какое предполагается отправить за одинъ разъ, то-есть положить на извѣстномъ протяженіи и на полотнѣ шириною 2,5 метра нагрузку въ 584 килограм. на квадратный метръ, а на остальной части всего моста 400 килограм. на кв. метр., и затѣмъ обѣ сплошныя нагрузки замѣнить одной общей, имъ равнозначащей.

Нормы для пѣшеходныхъ и скотопрогонныхъ мостовъ и для акведуковъ. Для пѣшеходныхъ и скотопрогонныхъ мостовъ принимается нагрузка въ 400 килогр. на кв. метръ; для *бичевниковъ* внѣ городовъ съ малымъ проѣздомъ—150 килограм., а въ городахъ—400 килогр. на кв. метръ.

Для *акведуковъ* временная нагрузка расчитывается въ зависимости отъ наибольшей глубины воды въ мосту.

Данныя относительно заграничныхъ нормъ нагрузокъ мостовъ подъ обыкновенную дорогу. Приводимъ установленныя въ другихъ государствахъ нормы подвижныхъ нагрузокъ мостовъ подъ обыкновенную дорогу.

Австрія (15 сент. 1887 г.). При опредѣленіи усилій въ частяхъ фермъ предполагается два нижеуказанные способа загрузки и изъ двухъ предположеній выбирается наиболѣе невыгодное:

А) На полотнѣ моста, во всю длину и ширину, располагается возможно большее число фуръ, при чемъ на оставшейся не занятой фурами части моста, а также на тротуарахъ предполагается нагрузка толпою людей.

Б) Нагрузка толпою людей—всего экипажнаго проѣзда и тротуаровъ.

Нагрузки толпою людей и фурами принимаются слѣдующія:

Классы дорогъ.	Нагрузка толпою людей.	Четырехколесныя фуры.							
		Общій вѣсъ.	Длина.	Ширина.	Разстояніе между осями.	Ширина колеи.	Число лошадей.	Вѣсъ лошадей.	Занимаемыя запряжкой (лошадьми) протяженія.
		тон.	метр.	метр.				тон.	метр.
1-го класса . .	460 кил. на кв. м.	12	7,8	2,5	3,8	1,6	4	3	7,2
2-го класса . .	400 кил. на кв. м.	6	5,4	2,4	2,8	1,5	2	1,5	3,6
3-го класса . .	340 кил. на кв. м.	3	4,8	2,3	2,4	1,4	2	1,0	3,2

Франція (29 авг. 1891 г.). Предполагается два рода нагрузки и изъ двухъ предположеній выбирается наиболѣе невыгодное.

А) Равномѣрная загрузка—экипажнаго проѣзда и тротуаровъ—грузомъ въ 400 кил. на кв. м.

Б. а) Загрузка экипажнаго проѣзда во всю длину и ширину моста нижеуказаннаго типа двухколесными фурами (рис. 383) съ запряжкой въ двѣ лошади, поставленныя одна впереди другой:

Вѣсъ двухколесной фуры	6 тон.
Длина	3 метр.
Ширина фуры	2,25 метр.
Ширина колеи	1,70 метр.
Вѣсъ одной лошади	0,7 тон.
Длина, занимаемая запряжкой, ...	2,5 метр.

б) Загрузка тротуаровъ, грузомъ въ 400 кил. на кв. м.

Во всякомъ случаѣ размѣры отдѣльныхъ частей моста, расчитанные относительно вышеуказанныхъ нагрузокъ, должны удовлетворять, съ допускаемымъ перенапряженіемъ въ 1 $\frac{\text{кил.}}{\text{мил.}^2}$ противъ нормъ, возможности замѣны одной двухколесной фуры двухколесною фурою вѣсомъ 11 тон.

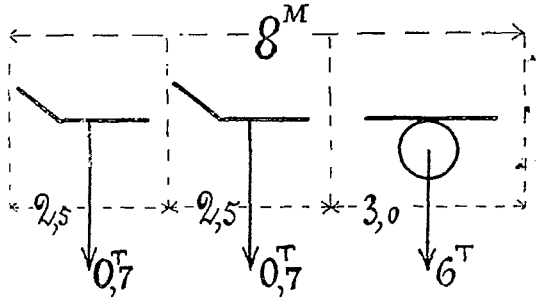


Рис. 383.

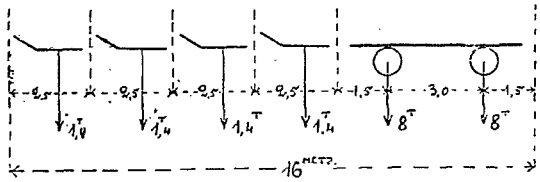


Рис. 384.

съ запряжкой въ 5 лошадей, поставленныхъ одна впереди другой, а также возможности загрузки всего экипажнаго проѣзда слѣдующими четырехколесными фурами (рис. 384) съ запряжкой въ 8 лошадей, поставленныхъ попарно въ четыре ряда:

Вѣсъ четырехколесной фуры.	16 тон.
Длина	6 метр.
Ширина фуры	2,25 метр.
Ширина колеи	1,70 метр.
Разстояніе между осями . .	3,00 метр.
Разстояніе осей отъ края фуры по	1,50 метр.
Вѣсъ пары лошадей	1,4 тон.
Длина запряжки	2,5 метр.

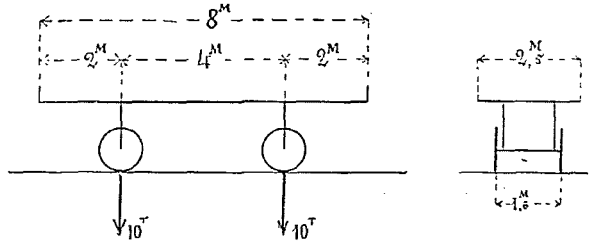


Рис. 385.

На дорогахъ съ крутымъ уклономъ, гдѣ нельзя ожидать обращенія фуръ указанныхъ размѣровъ, Управленію предоставляется въ зависимости отъ мѣстныхъ условій примѣнять меньшія нормы. Во всякомъ случаѣ, равномѣрная нагрузка должна быть не менѣе 300 кил. на кв м., а отдѣльная сосредоточенная нагрузка можетъ быть уменьшена не болѣе, какъ на половину.

Швейцарія (19 авг. 1892 г.). Усилія опредѣляются въ предположеніи загрузки моста сплошной нагрузкой или фурами (рис. 385) нижеуказанныхъ размѣровъ и изъ двухъ предположеній выбирается наиболѣе невыгодное.

Классы дорогъ.	Равномѣрная нагрузка на кв. метръ.	Четырехколесныя фуры. Общій вѣсъ.	Длина.	Ширина фуры.	Ширина колеи.	Разстояніе между осями.	Разстояніе осей отъ края фуръ по
	кил.	тон.	метр.	метр.	метр.	метр.	метр.
1) Для мостовъ въ населенныхъ центрахъ на дорогахъ 1-го класса	450	20	8	2,5	1,6	4	2
2) Для мостовъ въ населенныхъ центрахъ на дорогахъ 2-го класса, а также на Государственныхъ дорогахъ внѣ населенныхъ центровъ .	350	12	6	2,2	1,6	3	1,5
3) Для мостовъ на остальныхъ дорогахъ	250	6	4,6	2,0	1,4	2,4	1,1

Тротуары предполагаются всегда загруженными сплошной нагрузкой соотвѣтственно въ 450, 350 и 250 кил. на кв. м.

Саксонія (окт. 1893 г.). Для отдѣльныхъ частей тротуаровъ временная нагрузка составляетъ 560 кил. на кв. м. Для главныхъ фермъ и проѣзжей части моста 400 кил. на кв. м., при чемъ во всякомъ случаѣ отдѣльныя части моста должны удовлетворять возможности нагрузки одной или нѣсколькими фурами нижеуказанныхъ размѣровъ:

на дорогахъ 1-го класса: (рис. 386 *a*).
на дорогахъ 2-го класса: (рис. 386 *b*).
на дорогахъ 3-го класса: (рис. 386 *c*).

[Вѣсъ пары лошадей, повидимому, показанъ ошибочно въ 0,8 т.; должно быть $2\times0{,}8=1{,}6$ т.].

Въ случаѣ, если по мосту предполагается передвиженіе большихъ тяжестей (паровые катки,

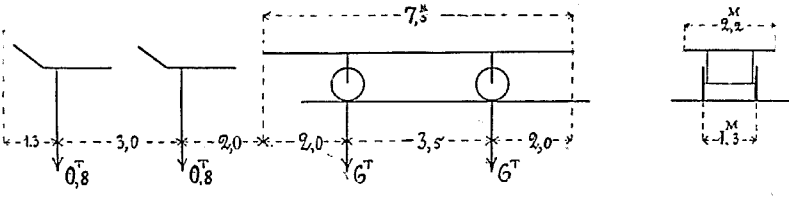


Рис. 386 *a*.

паровозы-рутьеры и пр.) съ нагрузкой на ось въ 10 тон., необходимо дѣлать добавочную провѣрку предполагая, что на мосту находится одна такая фура, а остальная часть загружена толпой людей

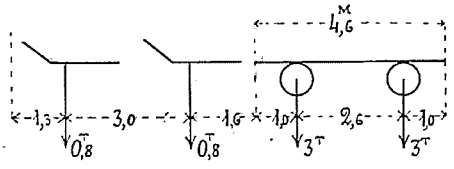


Рис. 386 *b*.

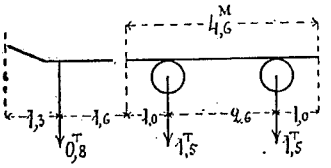


Рис. 386 *c*.

(400 кил. на кв. м.), при чемъ, въ виду исключительности нагрузки, напряженіе матеріала можно допускать въ $1^1/_2$ раза болѣе противъ нормальнаго.

Вертикальные удары.—Вліяніе скорости подвижного груза.—Сопротивленіе опоръ.

Вертикальные удары зависятъ отъ состоянія рельсоваго пути на мосту, отъ состоянія мостового полотна, отъ конструкціи подвижного состава, скорости движенія и проч. и за малыми исключеніями не могутъ подлежать точному расчету;

они покрываются уменьшеніемъ коэффиціента допускаемаго напряженія. Такъ напр., въ отношеніи мсталличсскихъ мостовъ при напряженіи не болѣе 6—7 килограммовъ на квадратный миллиметръ можно считать части моста обезпеченными отъ вреднаго вліянія этихъ ударовъ (см. далѣе о «коэффиціентахъ допускаемыхъ напряженій»).

Вліяніе скорости подвижного груза. Вопросъ о вліяніи скорости перемѣщающагося груза на усилія въ элементахъ фермъ не достаточно еще изученъ. Основываясь на извѣстномъ положеніи теоріи живого упругаго сопротивленія, что мгновенно приложенная сила вызываетъ вдвое бо́льшее напряженіе, чѣмъ сила постоянно дѣйствующая, а также имѣя въ виду опыты Fairbairn'a *), нѣкоторые американскіе инженеры, какъ напр. Unwin, предлагаютъ вдвое увеличивать расчетную подвижную нагрузку. Подтвержденіе этому они находятъ въ сравненіи наблюдаемыхъ прогибовъ мостовыхъ фермъ подъ дѣйствіемъ движущагося и неподвижнаго поѣзда; отношеніе прогибовъ составляетъ 1.50 — 1,75. Для оцѣнки вліянія подвижного груза, Bresse предложилъ особое выраженіе для сгибающаго момента по серединѣ однопролетной балки надъ дѣйствіемъ постояннаго и движущагося сосредоточеннаго груза. Если p — постоянная нагрузка на пог. ед.; Q — сосредоточенный подвижной грузъ, перемѣщающійся со скоростью v; g — ускореніе силы тяжести; l — пролетъ; E и J — модуль упругости и моментъ инерціи всего сѣченія, то:

$$M = \frac{pl^2}{8}\left(1 + \frac{Qlv^2}{2EJ2g}\right) + \frac{Ql}{4}\left(1 + {}^2/_3\,\frac{Qlv^2}{EJ2g}\right).$$

По Winkler'y вліяніе скорости на сгибающій моментъ выражается формулой:

$$M' = M\left(1 + \frac{Mv^2}{EJg}\right),$$

гдѣ M' и M — моменты при динамическомъ и статическомъ дѣйствіи груза. Gerber и Winkler предлагаютъ допускать различные коэффиціенты напряженій для усилій отъ постоянной и подвижной нагрузокъ или же, какъ напр., американскіе инженеры, а также Weyrauch и Häseler оцѣниваютъ вліяніе подвижного груза по сравненію съ постоянной нагрузкой различными коэффиціентами, т. е. умножаютъ усилія отъ подвижного груза на эти коэффиціенты и прибавляютъ ихъ къ усиліямъ отъ постоянной нагрузки съ общимъ коэффиціентомъ допускаемаго напряженія,—что сводится очевидно къ одному и тому же. Такъ напр. американскіе инженеры пользуются коэффиціентомъ 1,5—2,0; Weyrauch—коэффиціентомъ 1,25 для желѣзнодорожныхъ мостовъ и 1,20—для шоссейныхъ мостовъ; Häseler (см. гл. V) предлагаетъ коэффиціентъ $1{,}20 + \frac{1}{n}$, гдѣ n—число осей незагруженной части пролета и т. д.

Теоретическія изслѣдованія Zimmermann'a и инж. Соловьева, а также разсмотрѣніе графическаго изображенія прогиба мостовой фермы при проходѣ поѣзда приводятъ къ заключенію, что при проходѣ подвижного груза по первой половинѣ (приблизительно) мостовой фермы дѣйствіе его нѣсколько менѣе статическаго

*) Модель желѣзной фермы подвергалась дѣйствію повторной нагрузки, вызывавшей напряженіе въ 11,25 $\frac{\text{кил.}}{\text{м.м.}^2}$; послѣ приложенія нагрузки 300.000 разъ ферма разрушилась. При нагрузкѣ, вызывавшей напряженіе до 6 $\frac{\text{кил.}}{\text{мм.}^2}$, ферма не разрушилась даже послѣ 3.000.000 разъ повторенной нагрузки.

дѣйствія и тѣмъ менѣе, чѣмъ больше скорость; перейдя середину пролета, грузъ начинаетъ вызывать рядъ колебательныхъ движеній, причемъ въ теченіе извѣстнаго періода въ элементахъ фермы получаются усилія, превосходящія наибольшія усилія при статическомъ дѣйствіи груза и нерѣдко противоположнаго знака. Вообще отрицательная въ первомъ случаѣ или положительная во второмъ случаѣ разность между динамическимъ и статическимъ дѣйствіемъ груза увеличивается съ увеличеніемъ скорости движенія, съ уменьшеніемъ жесткости и уменьшается съ увеличеніемъ пролета.

(Работы Phillips'a, Cooke, St.-Venant, Zimmermann'a и Соловьева).

Сопротивленія опоръ. Мостовыя фермы опираются на опоры. *Данныя* (активныя) *внѣшнія* силы, дѣйствующія на фермы, вызываютъ въ этихъ опорахъ сопротивленія, реакціи, которыя въ свою очередь дѣйствуютъ на ферму какъ *внѣшнія сопротивляющіяся* (реактивныя) силы и находящіяся въ равновѣсіи съ данными силами. Аналитическія выраженія *сопротивленія опоръ* въ фермахъ статически опредѣлимыхъ относительно опорныхъ сопротивленій (балочныя однопролетныя фермы и фермы системы Гербера; арочныя и висячія трехшарнирныя: однопролетныя, со свѣсами и неразрѣзныя) находятся на основаніи законовъ статики, на основаніи условій равновѣсія свободнаго твердаго тѣла. Хотя фермы сплошного или сквознаго сѣченія представляютъ собою упругое тѣло, но въ данномъ случаѣ деформаціями пренебрегаютъ. Въ фермахъ статически неопредѣлимыхъ относительно опорныхъ сопротивленій выраженія опорныхъ сопротивленій находятся различными пріемами, какъ напр., путемъ интегрированія диффер. уравненія упругой линіи, на основаніи начала наименьшей работы и проч.,—о чемъ сказано будетъ при опредѣленіи усилій въ элементахъ такихъ фермъ.

Тормаженіе.—Распоръ земли.—Давленіе вѣтра.—Нормы Министерства п. с. относительно оцѣнки вліянія вѣтра.—Нормы Винклера и заграничныя нормы.—Боковыя начанія.—Центробѣжная сила.

Вліяніе тормаженія. Сила, развивающаяся при тормаженіи поѣзда, дѣйствуетъ по направленію горизонтальному и вдоль оси моста. Если P давленіе тормазныхъ колесъ на рельсы, f — коэффиціентъ тренія между колесами и рельсами, то полное тормазящее усиліе $= \Sigma Pf$. Значеніе F увеличивается вмѣстѣ съ уменьшеніемъ скорости; наибольшее его значеніе $f = 0{,}25$.

Распоръ земли. Горизонтальный распоръ земли выражается формулой: $E = \frac{\delta h^2}{2}\psi$, гдѣ δ—вѣсъ куб. ед. земли; h—высота засыпки; $\psi = tg^2\left(45 - \frac{\varphi}{2}\right)$. φ—уголъ естественнаго откоса. Для $\varphi = 0^0$; 24^0; 45^0, ψ составляетъ соотвѣтственно: 1; 0,42 и 0,17. Для обыкновенныхъ грунтовъ: $\psi = 0{,}25$.

Давленіе вѣтра. Давленіе w на квадратную единицу поверхности при скорости вѣтра v выражается формулой:

$$w = Av^2,$$

гдѣ A при единицахъ метръ и тонна равно 0,00012.

Такимъ образомъ составляется слѣдующая таблица:

Скорости.	Давленіе на 1 квадр. метръ.
Метры.	Тонны.
5	0.003
10	0.012
15	0.027
20	0.040
25	0.075
30	0.108
40	0.192
48	0.276

При расчетѣ усилій въ мостовыхъ фермахъ достаточно припять въ среднемъ: $w = 0{,}15 - 0{,}2$ топны на квадратный метръ (около 0,75 — 1 пуда на квадратный футъ).

а) *Министерствомъ п. с.* указаны слѣдующія нормы для *желѣзнодорожныхъ* мостовъ (циркуляръ отъ 5 ян-

варя 1884 года, № 60), примѣняемыя и къ мостамъ подъ *обыкновенную* дорогу:

Усилія въ поясахъ и въ связяхъ, зависящія отъ давленія вѣтра на боковую поверхность пролетныхъ частей и подвижной нагрузки, расчитываются при двухъ предположеніяхъ, изъ которыхъ затѣмъ выбирается невыгоднѣйшее:

α) при отсутствіи поѣзда на мосту, съ принятіемъ давленія вѣтра въ $1^1/_3$ пуда на квадратный футъ боковой поверхности, и

β) въ случаѣ нагруженія моста поѣздомъ съ принятіемъ давленія вѣтра въ $^3/_4$ пуда на квадратный футъ поверхности *).

Въ первомъ случаѣ за боковую поверхность, подвергающуюся дѣйствію вѣтра, слѣдуетъ брать въ фермахъ со сплошной стѣнкой полную поверхность одной фермы, а въ фермахъ со сквозной стѣнкой, сверхъ дѣйствительной боковой поверхности одной фермы, еще часть поверхности другой фермы, такъ какъ при наклонномъ или косомъ направленіи вѣтра объ фермы не будутъ взаимно покрывать одна другую. Подверженную дѣйствію вѣтра поверхность двухъ фермъ со сквозной стѣнкой можно принять приблизительно для рѣшетчатыхъ фермъ въ 0,6 отъ сплошной площади, ограниченной наружнымъ очертаніемъ одной фермы, а для раскосныхъ — въ $^1/_2$, предполагая при этомъ, что строеніе проѣзжей части помѣщается между поясами. Давленіе вѣтра на боковую поверхность фермы распредѣляется въ этомъ случаѣ поровну между верхними и нижними горизонтальными связями. Если строеніе проѣзжей части помѣщается не между поясами фермъ, а надъ поясами, тогда слѣдуетъ взять въ расчетъ еще давленіе вѣтра на сплошную боковую поверхность строенія проѣзжей части, относя таковое добавочное давленіе полностью на верхнія или нижнія связи, смотря по расположенію проѣзжей части.

Во второмъ случаѣ, при нахожденіи на мосту поѣзда, полная боковая поверхность, подверженная давленію вѣтра, получается отъ прибавленія къ исчисленной согласно вышеизложенному поверхности фермы:

1) 10 квадратныхъ футъ на погонный футъ моста, въ мостахъ съ ѣздою поверху, относя при этомъ $^3/_5$ отъ давленія, принимаемаго боковой поверхностью поѣзда, на верхнія связи и $^3/_5$ **) — на нижнія;

2) въ мостахъ съ ѣздою по-низу, отъ 10 до 7,5 квадратн. футъ на погонный футъ, соотвѣтственно высотѣ фермъ, измѣняющейся отъ 0,5 с. до 3 саж. и болѣе, при чемъ все давленіе на эту добавочную площадь относится на нижнія связи.

Величины добавочной площади въ 10 и 7,5 кв. фута получаются изъ полной боковой поверхности поѣзда на погонный футъ моста, за вычетомъ промежутковъ между смежными вагонами, между головкой рельса и поломъ вагона; при этомъ первая величина относится къ тому случаю, когда поверхность поѣзда не прикрыта фермой, вторая предполагаетъ поверхность поѣзда, прикрытаго во всю высоту фермой, что будетъ имѣть мѣсто въ мостахъ съ ѣздою по-низу при фермахъ высотою болѣе 3 саж.

---

*) Такое различіе въ нагрузкахъ объясняется тѣмъ, что при пятифутовой колеѣ и при вѣсѣ порожняго вагона въ 400 пуд., давленіе вѣтра въ $^3/_4$ пуд. на квадратный футъ можетъ вызвать опрокидываніе вагона, и поэтому естественно предположить, что при болѣе сильномъ вѣтрѣ поѣздъ не рискнетъ быть въ движеніи.

**) Въ виду неопредѣленности распредѣленія давленія между верхними и нижними связями предполагаютъ, для запаса, что $^3/_5$ полнаго давленія передается на верхнія связи и столько же — на нижнія.

Вліяніе вѣтра сказывается, очевидно, въ проявленіи усилій въ поясахъ фермъ, въ верхнихъ и нижнихъ горизонтальныхъ связяхъ и въ поперечныхъ вертикальныхъ или наклонныхъ связяхъ; (въ мостахъ съ ѣздою по-низу промежуточныя рамы, образуемыя стойками, подвергаются также напряженіямъ, особенно если опорная стоiка пе достаточно жестка).

Для опредѣленія наибольшаго усилія отъ дѣйствія вѣтра въ поясахъ и въ горизонтальныхъ связяхъ предполагаютъ мостъ незагруженнымъ съ давленіемъ вѣтра въ $1^1/_3$ п. на кв. футъ боковой поверхности фермъ, или заставленнымъ наиболѣе невыгоднымъ образомъ подвижнымъ составомъ съ давленіемъ вѣтра въ $^3/_4$ пуд. на боковую поверхность фермы и поѣзда.

Поперечныя вертикальныя связи (за исключеніемъ опорныхъ) расчитываются относительно передаваемаго ими на нижніе узлы $^3/_5$ полнаго усилія отъ давленія вѣтра на подвижной составъ. При такихъ условіяхъ усилія во всѣхъ поперечныхъ связяхъ получились бы одинаковыми (въ зависимости отъ нагрузки на панель); но для запаса, въ виду неопредѣленности передачи усилій, слѣдуетъ поперечную связь въ каждомъ узлѣ расчитывать относительно $^3/_5$ полнаго усилія, которое испытывали бы распорки верхнихъ связей, если бы давленіе вѣтра па подвижной составъ было исключительно принимаемо одпѣми верхними связями, т. е. слѣдуетъ брать въ расчетъ постепенное накопленіе усилій въ распоркахъ. Связи въ плоскости опорныхъ стоекъ слѣдуетъ во всякомъ случаѣ расчитывать относительно усилія, которому подвергается опорная распорка. (Если разсматривать мостовыя фермы, связанныя связями, какъ объемное тѣло, усилія въ поперечныхъ связяхъ могутъ быть опредѣлены съ бо́льшею точностью). Само собою разумѣется, что всѣ усилія должны быть увеличены въ зависимости отъ угла наклоненія раскоса къ горизонтали. Кромѣ того, предполагается обыкновенно, что изъ двухъ крестообразно-расположенныхъ раскосовъ работаетъ всегда одпнъ только раскосъ и при томъ на растяженіе.

Объ оцѣнкѣ напряженія въ промежуточныхъ рамахъ въ мостахъ съ ѣздою по-низу сказано будетъ при опредѣленіи усилій въ связяхъ.

Переносъ давленія вѣтра на подвижной составъ полностью на нижнія связи (при ѣздѣ по-низу) или частью на верхнія и частью па нижнія связи (при ѣздѣ по-верху), вслѣдствіе образующейся при этомъ пары силъ или даже прямого разложенія силъ (при передачѣ поперечными связями), сопровождается *перегрузкой* подвѣтрепиой фермы,—что̀ слѣдовало бы брать въ расчетъ.

Эти же самыя нормы можно примѣнить и для мостовъ подъ обыкновенную дорогу.

б) *Винклеръ* даетъ слѣдующія указанія отиосительно оцѣнки боковой поверхности фермъ и подвижпого состава, а также давленія вѣтра.

Если ферма со *сплошной* стѣнкой, то слѣдуетъ принимать, что вся площадь подвергается дѣйствію вѣтра.

Въ фермѣ со *сквозной* стѣнкой высотою h площадь f одиой фермы, подвергающаяся дѣйствію вѣтра, составляетъ на пог. метръ:

$$f = 0{,}20 + 0{,}33h \text{ квадр. метровъ.}$$

Если же обѣ фермы передвинуты одна относительно другой, такъ что пе всѣ части взаимно перекрываются, то:

$$f_1 = 0{,}32 + 0{,}48h \text{ квадр. метровъ,}$$

каковой формулой и слѣдуетъ всегда пользоваться. Изъ этой площади $55^0/_0$ относятся на тотъ поясъ, къ которому прикрѣплепа проѣзжая часть, а $45^0/_0$—па другой.

Высота фуръ принимается въ 3 метра, а высота подвижного состава—около 3,8 метра. По исключеніи изъ общей боковой поверхности поѣзда промежутковъ между вагонами и подъ ними, что составляетъ около 15%, остающаяся площадь боковой поверхности поѣзда на погонный метръ составляетъ:

$$f_2 = 3{,}2 \text{ квадратнаго метра.}$$

Если мостъ съ ѣздою по-низу, то часть поѣзда прикрыта фермою моста и въ этомъ случаѣ при:

$h = 0{,}6$ до 6 метровъ $f_2 = 3{,}2 - 0{,}15h$ квадр. метра;

$h > 6$ метровъ . . . . $f_2 = 2{,}4$ квадратнаго метра.

При нагруженномъ мостѣ давленіе вѣтра принимается Вииклеромъ въ 150 килограммовъ на квадратный метръ, при ненагруженномъ — въ 250 килограммовъ на квадратный метръ.

При трехъ фермахъ площадь, подвергающаяся дѣйствію вѣтра, увеличивается на 25%, а при четырехъ фермахъ — на 40% сравнительно съ площадью при двухъ фермахъ. Въ мостахъ подъ два пути предполагается, что промежутки между вагонами одного поѣзда могутъ быть перекрыты вторымъ поѣздомъ. Въ этихъ случаяхъ полезно увеличить f_2 на 25%.

в) Приведемъ въ заключеніе установленныя въ *другихъ государствахъ* нормы для оцѣнки вліянія вѣтра:

Пруссія. Давленіе вѣтра оцѣнивается въ 270 кил. на кв. м. при незагруженномъ мостѣ и въ 170 кил. на кв. м. при загруженномъ мостѣ.

При незагруженномъ мостѣ за поверхность, подвергающуюся дѣйствію вѣтра, принимаютъ *дѣйствительную* (netto) поверхность первой фермы съ прибавленіемъ 0,2, 0,4 или 1,0 отъ дѣйствительной поверхности второй фермы, если площадь просвѣтовъ первой фермы составляетъ соотвѣтственно: 0,40, 0,60 и 1,0 отъ площади по наружному контуру фермы. При загруженномъ мостѣ— площадь перемѣщающейся нагрузки опредѣляется площадью сплошного прямоугольника, длина котораго равна занимаемому подвижной нагрузкой протяженію, а высота составляетъ 2 метр. съ прибавленіемъ, согласно вышеуказанному, дѣйствительной поверхности фермъ за предѣлами контура подвижной нагрузки.

Франція. Давленіе вѣтра оцѣнивается въ 270 кил. на кв. метръ при незагруженномъ мостѣ. (Опредѣленіе усилій при загруженномъ мостѣ съ давленіемъ въ 170 кил. на кв. метръ дѣлается только для желѣзнодорожныхъ мостовъ). За поверхность, подвергающуюся дѣйствію вѣтра, принимаютъ дѣйствительную (netto) поверхность первой фермы съ прибавленіемъ дѣйствительной (netto) поверхности второй фермы, умноженной на отношеніе поверхности netto къ поверхности brutto въ первой фермѣ. Поверхность слѣдующихъ фермъ: третьей, четвертой—не принимается въ расчетъ.

Швейцарія. Давленіе вѣтра принимается въ 150 кил. на кв. м. при незагруженномъ мостѣ. (Опредѣленіе усилій при давленіи вѣтра въ 100 кил. на кв. м. при загруженномъ мостѣ требуется только для желѣзнодорожныхъ мостовъ). Площадь, подвергающаяся дѣйствію вѣтра опредѣляется по формулѣ:

$$F = (F_{g'} - F_{m'}) + (F_{g''} - F_{m''})\frac{F_{m'}}{F_{g'}} + (F_{g'''} - F_{m'''})\frac{F_{m''}}{F_{g''}} \cdot \frac{F_{m''}}{F_{g''}} + \ldots,$$

гдѣ $F_{g'}$, $F_{g''}$, $F_{g'''}$.... полныя по наружному контуру площади фермъ первой, второй, третьей и т. д. $F_{m'}$, $F_{m''}$, $F_{m'''}$.... площади просвѣтовъ тѣхъ же фермъ. Коэффиціентъ устойчивости на опрокидываніе долженъ быть не менѣе 2.

Давленіе снѣга не принимается въ расчетъ.

Низкая норма для давленія вѣтра (150 кил. на кв. м.) вмѣсто обыкновенной нормы 270 кил. на кв. м., вѣроятно, объясняется мѣстными условіями (гористой мѣстностью).

Саксонія. Давленіе вѣтра оцѣнивается въ 250 кил. на кв. м. дѣйствительной поверхности (netto) незагруженнаго моста и 150 кил. на кв. м. загруженнаго моста, при чемъ высота подвижной нагрузки принимается въ 2 метр.

Боковыя колебанія паровоза и вагоновъ зависятъ, какъ отъ скорости, такъ и вѣса и конструкціи подвижного состава. Колебанія бываютъ около горизонтальной продольной оси (перегрузки правыхъ и лѣвыхъ колесъ), около горизонтальной поперечной оси (перегрузка осей), около вертикальной оси (синусоидальное движеніе). Вліяніе этихъ колебаній на усилія въ частяхъ фермы можно оцѣнить лишь приблизительно. Перегрузки правыхъ или лѣвыхъ колесъ доходятъ по опытамъ Weber'a до 100%. При расчетѣ стѣнки поперечной балки обыкновенно допускаютъ перегрузку въ 40%. Въ мостахъ съ ѣздою по-верху вредное вліяніе синусоидальнаго направленія движенія умѣряется присутствіемъ связей не только въ горизонтальныхъ, но и въ поперечныхъ вертикальныхъ плоскостяхъ. Такимъ образомъ, если не опредѣлять отдѣльно усилій, проявляющихся въ связяхъ отъ этой причины, то сѣченія связей, проектированныя лишь по усиліямъ отъ дѣйствія вѣтра, должны быть увеличены. Въ мостахъ же съ ѣздою по-низу и особенно безъ верхнихъ связей боковое колебаніе фермъ ослабляется приклепываніемъ къ стойкамъ сплошныхъ консолей и проч.

Центробѣжная сила опредѣляется по формулѣ:

$$z = \frac{\gamma c^2}{gr},$$

гдѣ: γ — подвижная нагрузка на погонную единицу, c — наибольшая скорость, g — ускореніе силы тяжести, r — радіусъ закругленія.

Если γ_1 — сплошная нагрузка, соотвѣтствующая товарнымъ поѣздамъ, то для пассажирскихъ приблизительно:

$$\gamma = 0{,}75 \cdot \gamma_1.$$

Слѣдовательно, при $g = 9{,}81$ метра:

$$z = 0{,}0764 \frac{\gamma_1 c^2}{r}.$$

При $c = 18, 14, 10$ метрамъ, допускаемыхъ при $r = 600, 400, 200$ метрамъ, получается въ среднемъ: $z = 0{,}04\gamma_1$, т. е. разсматриваемое горизонтальное давленіе составляетъ около 4% отъ наибольшаго вертикальнаго давленія.

Вліяніе температуры. — Данныя относительно линейнаго расширенія металловъ, растворовъ, камней и кладки.

Въ фермахъ статически опредѣлимыхъ относительно опорныхъ сопротивленій, *одинаковое* измѣненіе температуры *всѣхъ* элементовъ фермы не вызываетъ никакого добавочнаго опорнаго сопротивленія, а слѣд. и добавочнаго усилія въ элементахъ; при неодинаковомъ измѣненіи температуры (напр. верхній поясъ металлической фермы нагрѣтъ болѣе нижняго пояса) проявляются добавочныя усилія. Что же касается фермъ статически неопредѣлимыхъ, то въ нихъ одинаковое и неодинаковое измѣненіе температуры всегда вызываетъ добавочное усиліе.

Приведемъ данныя относительно коэффиціента линейнаго расширенія на 1° Cels. наиболѣе употребительныхъ матеріаловъ:

Желѣзо	0,00001235
Незакаленная сталь	0,00001076
Закаленная сталь	0,00001240
Чугунъ	0,00001110
Свинецъ	0,00002848
Цинкъ	0,00002942

По Bouniceau *): Растворъ изъ цемента 0,0000107
Растворъ изъ цемента и песку 0,0000118
Кирпичная кладка тычками на цементномъ растворѣ . . 0,0000089
Тоже при кладкѣ ложками 0,0000046
Бетонъ изъ цементнаго раствора и кремнистыхъ камней . 0,0000143
Различные строительные камни . . . . . { 0,0000075 / 0,0000089 / 0,0000079
Мраморъ 0,0000054
Гипсовыя отливки 0,0000166

По опытамъ Meier'a **) коэффиціентъ расширенія цементнаго раствора въ составѣ 1 : 1 до 1 : 4 въ предѣлахъ отъ — 5° С. до + 25° С., имѣетъ ту же величину, какъ и желѣзо, т. е. отъ 0,0000122 до 0,0000145.

По Lang'y ***) коэффиціенты расширенія:

гранита 0,00000371
сѣраго мрамора 0,00000584
песчаника 0,00001116
каррарскаго мрамора 0,0000119

V.

Коэффиціенты допускаемыхъ напряженій.

Дерево.—Коэффиціенты допускаемыхъ напряженій по Журавскому, по циркуляру М-ва П. С. и по заграничнымъ даннымъ.—Сварочное желѣзо. Коэффиціенты допускаемыхъ напряженій по цирнуляру М-ва П. С.—Данныя о напряженіи въ существующихъ желѣзныхъ, цѣпныхъ и проволочныхъ мостовыхъ фермахъ.—Литое желѣзо. Коэффиціенты допускаемыхъ напряженій по цирнуляру М-ва П. С.—Оцѣнка вліянія продольнаго изгиба по Ясинскому, Грасгофу, Шюблеру и Лове. Коэффиціенты допускаемыхъ напряженій по заграничнымъ постановленіямъ.—Сталь. Коеффиціенты допускаемыхъ напряженій въ опорныхъ подушкахъ. Заграничныя данныя о напряженіи въ существующихъ мостовыхъ фермахъ нанъ балочныхъ, такъ и висячихъ (проволочныхъ).—Чугунъ. Коэффиціенты допускаемыхъ напряженій. Данныя **Resal'я** о сопротивленіяхъ и допускаемыхъ напряженіяхъ для жепѣза, стали, чугуна и дерева. Формулы **Launhardt'a** и **Weyrauch'a** для оцѣнки вліянія повторныхъ, одноименныхъ и разноименныхъ напряженій на основаніи опытовъ Вёлера. Положенія **Bauschiager'a**, дополняющія выводы Вёлера. Формула и коэффиціенты **Häseler'a**—для оцѣнки вліянія различныхъ обстоятельствъ движенін и побочныхъ условій на напряженіе матеріала въ мостовыхъ фермахъ.—Камни, растворы, бетонъ и каменная кладка. Данныя о допускаемомъ прочномъ сопротивленіи въ Россіи и заграницей. Данныя о временномъ сопротивленіи растворовъ, бетона, камней, кирпичей и каменной кладни.—Грунты. Данныя о коэффиціентахъ допускаемыхъ напряженій.

Дерево. а) По Журавскому для деревянныхъ частей фермъ системы Гау могутъ быть допущены слѣдующія напряженія:

Для сосны: сопротивленіе	растяженіе (въ поясахъ)	45	пуд. на квадратный дюйм.
»	сжатію (въ поясахъ)	20	»
»	» (въ раскосахъ)	20	»
»	скалыванію (въ раскосахъ)	4	»

*) Annales des ponts et chanssées. 1862. P. 78.
**) Portland-Cement und seine Anwendungen. Berlin 1882.
***) Zeits. des Arch, u. Ing. Ver. zu Hannover. 1874, S. 319.

Для сосны:	сопротивленіе смятію при глубинѣ врубки въ 1 дм. .	20	пуд.
	» смятію при глубинѣ врубки въ $1^1/_2$ дм. .	15	»
	» смятію по направленію, перпендикулярному къ фибрамъ	8	»
Для дуба:	сопротивленіе скалыванію	6	»
	» смятію по направленію вдоль фибръ и перпендикулярно къ нимъ	15	»

Пудовъ на квадратный дюймъ.

б) Тѣ же коэффиціенты могутъ быть допущены и для деревянныхъ фермъ балочной и подкосной системъ, при чемъ коэффиціентъ напряженія сосны при изгибѣ опредѣляется отъ 24—30 пуд. на квадратный дюймъ.

Вообще для дерева можно принять въ среднемъ, что, если R' — допускаемое напряженіе для растяженія, R'' — для сжатія, R''' — для изгиба, то:

$$R'' = \frac{R'}{2}; \quad R''' = \frac{2}{3} R'.$$

Для дуба коэффиціенты сопротивленія растяженію, сжатію и изгибу могутъ быть приняты въ 1,25 отъ соотвѣтственныхъ коэффиціентовъ для сосны.

в) Циркуляромъ Министерства Путей Сообщенія, отъ 1 Іюня 1895 г. № 8929, предписано руководствоваться слѣдующими нормами прочнаго сопротивленія дерева при расчетѣ поперечныхъ сѣченій частей деревянныхъ мостовъ:

α) для хвойнаго лѣса обыкновеннаго качества на непосредственное растяженіе — 40 пуд. на кв. дюймъ, а для лѣса лучшаго качества съ временнымъ сопротивленіемъ не менѣе 320 пуд. на кв. дюймъ — 45 пуд. на кв. д.; на непосредственное сжатіе — 20 пуд. на кв. д., а для лучшаго качества — 25 пуд. на кв. д.; на изгибъ — 25 пуд. на кв. д., а для лѣса лучшаго качества — 30 пуд. на кв. д.; на смятіе перпендикулярно къ волокнамъ — 6 пуд. на кв. д., для лѣса лучшаго качества — 8 пуд. на кв. дюймъ.

β) Для дуба (съ временнымъ сопротивленіемъ разрыву не менѣе 380 пуд. на кв. д. и въ предположеніи, что временное сопротивленіе сжатію и изгибу составляетъ $\frac{1}{2}$ и соотвѣтственно $\frac{2}{3}$ отъ вышеуказанной нормы) на непосредственное растяженіе — 55 пуд. на кв. д., на непосредственное сжатіе — 30 пуд. на кв. д., на изгибъ — 40 пуд. на кв. д., на смятіе перпендикулярно къ волокнамъ — 15 пуд. на кв. дюймъ.

γ) При расчетѣ на совмѣстное дѣйствіе вертикальной нагрузки и вѣтра, вышеуказанные коэффиціенты допускаемаго напряженія увеличиваются на 5 пуд. на квадратный дюймъ.

δ) Для временныхъ мостовъ коэффиціенты прочнаго сопротивленія могутъ быть увеличены на 25%.

г) Допускаемое напряженіе сжатію въ дугѣ арочной фермы составляетъ или 5—8 пудовъ или 14—17 пуд. на кв. дюймъ, смотря по тому, расчитана ли арка, какъ плоская параболическая арка, подверженная дѣйствію сплошной равномѣрной нагрузки, покрывающей весь пролетъ, а потому не производящей въ аркѣ изгиба, или же арка разсчитана относительно несимметричной нагрузки, вызывающей изгибъ въ аркѣ. Такое незначительное напряженіе объясняется тѣмъ, что, вслѣдствіе искусственнаго изгиба брусьевъ арки, матеріалъ и помимо нагрузки находится уже въ извѣстномъ напряженіи, и, кромѣ того, тѣмъ что нельзя разсчитывать на совершенную передачу давленія въ виду того, что стыки не перекрыты.

д) По заграничнымъ даннымъ: $R = 70\ \frac{\text{кил.}}{\text{см.}^2}$ для постоянныхъ мостовъ и $R = 120 - 130\ \frac{\text{кил.}}{\text{см.}^2}$ для временныхъ мостовъ.

По Винклеру допускаемое напряженіе исчисляется по формулѣ: $R = N_0 + mN_1$, гдѣ N_0 — напряженіе отъ постоянной нагрузки, а N_1 — напряженіе отъ подвижной нагрузки, при чемъ для желѣзнодорожныхъ мостовъ $m = 1{,}3 - 1{,}4$, а для мостовъ иодъ обыкновенную дорогу: $m = 1{,}2 - 1{,}3$ (первое число относится къ главнымъ фермамъ, а второе — къ проѣзжей части). Въ окончательномъ результатѣ, при запасѣ прочности въ $\frac{1}{5} - \frac{1}{7{,}5}$, R не должно быть болѣе:

РОДЪ НАПРЯЖЕНІЙ.	Сосна. въ $\frac{\text{кил.}}{\text{см.}^2}$	Дубъ.
При растяженіи	105	120
» сжатіи	70	80
» изгибѣ	90	105
» скалываніи вдоль волоконъ . .	6	10
» срѣзываніи	35	35

Во всѣхъ вышеуказанныхъ нормахъ допускаемое напряженіе при сжатіи предполагаетъ короткіе элементы. При значительной длинѣ, когда предвидится продольный изгибъ, слѣдуетъ уменьшить коэффиціенты по формулѣ Rondelet, Schübler'a и др.

Сварочное желѣзо. а) Министерствомъ Путей Сообщенія предписаны циркуляромъ 1875 г. за № 54 для частей фермъ изъ сварочнаго желѣза слѣдующія предѣльныя напряженія, выраженныя въ килограммахъ на 1 квадратный миллиметръ поперечнаго сѣченія и въ пудахъ на квадратный дюймъ:

α) въ мостахъ менѣе 7-ми саж. отверстіемъ и въ мелкихъ частяхъ, подверженныхъ непосредственнымъ ударамъ:

для растяженія и сжатія (netto)	6	$\frac{\text{кил.}}{\text{на кв. м.м.}}$	(236 пуд. на кв. д.)
для перерѣзыванія въ заклепкахъ	6	»	(236 » » » »)
для разслаиванія вертикальныхъ стѣнокъ .	3,5	»	(140 » » » »)
для перерѣзыванія въ заклепкахъ, соединяющихъ поперечины съ фермами и продольныя балочки съ поперечинами	5	»	(200 » » » »)
β) въ большихъ мостахъ, отверстіемъ болѣе 7-ми саж.:			
для растяженія (netto)	7	»	(275 » » » »)
для сжатія (brutto)	7	»	(275 » » » »)
в) въ мостахъ рѣшетчатой и раскосной системъ:			
въ поясахъ:			
для растяженія (netto)	7,25	»	(285 » » » »)
для сжатія (brutto)	7,25	»	(285 » » » »)
въ раскосахъ и стойкахъ:			
для растяженія (netto)	7,25	»	(285 » » » »)
для сжатія (brutto)	7,00	»	(275 » » » »)
въ вертикальныхъ листахъ для продольнаго разслаиванія	4,50	»	(175 » » » »)
для перерѣзыванія въ заклепкахъ	6,00	»	(236 » » » »)

γ) въ горизонтальныхъ и вертикальныхъ связяхъ:

для растяженія . . . . . $9{,}00 \frac{\text{кил.}}{\text{на кв. м.м.}}$ (350 пуд. на кв. д.)

для перерѣзыванія (въ заклепкахъ) . . . . 7,50 » (295 » » » »)

Нормы эти устарѣли и требуютъ пересмотра. По постановленію Инженернаго Совѣта (28 Авг. 1896 г., № 133) при проектированіи мостовъ для Пермь-Котласской и Сибирской жел. дорогъ разрѣшено было временно пользоваться нижеприведенными нормами для литого желѣза, съ замѣной основныхъ формулъ: $R=6{,}75+0{,}02l$ и $R=6{,}75+0{,}04l$ формулами: $R=6{,}00+0{,}02l$ и $R=6{,}00+0{,}04l$, а также назначеніемъ для проѣзжей части $R=6$ кил. на кв. м. вмѣсто: $R=6{,}5$ кил. на кв. м.м.

Для смятія Министерствомъ не установлено предѣльнаго напряженія. Примѣняясь къ заграничнымъ нормамъ и къ существующимъ сооруженіямъ, слѣдуетъ допустить:

$$(8{,}4 - 10)\,\frac{\text{кгр.}}{\text{м.м.}^2},\ \text{или}\ (350 - 400)\ \text{пуд. на кв. дюймъ.}$$

По Герберу сопротивленіе смятію можно считать вдвое болѣе сопротивленія разрыву.

Что касается оцѣнки вліянія продольнаго изгиба при сжатіи и вліянія разноименныхъ усилій, то слѣдуетъ пользоваться формулами, указанными въ слѣдующемъ параграфѣ (Литое желѣзо).

Затѣмъ, по Журавскому, для *болтовъ въ фермахъ системы Гау* коэффиціентъ допускаемаго напряженія не долженъ превосходить 250 пуд. и 180 пуд. на квадратный дюймъ, смотря по тому, одиночные или двойные болты.

б) Въ *висячихъ* мостахъ, въ виду особенно высокаго качества матеріала, употребляемаго для звеньевъ цѣпей, для полосоваго желѣза и особенно для проволоки, допускаются болѣе высокіе коэффиціенты *прочнаго* сопротивленія.

Приведемъ нѣсколько примѣровъ.

Въ Николаевскомъ цѣпномъ мосту черезъ р. Днѣпръ въ г. Кіевѣ допущено напряженіе въ звеньяхъ привѣсныхъ цѣпей: $R=485$ *пуд. на кв. дюймъ*, въ томъ числѣ отъ собственнаго вѣса—*305 пуд. на кв. д.* Подвижная нагрузка посчитана была въ $1\frac{3}{4}$ пуда на кв. футъ полотна.

Во Франціи, при подвижной нагрузкѣ въ 200 кил. на кв. метръ, или около 1,25 пуд. на кв. футъ, принимаютъ:

Для звеньевъ цѣпей . . . . . $R=520$ пуд. на кв. дюймъ.

Для каната изъ полосоваго желѣза . . . . . $R=600$ » » » »

Для проволочнаго каната . . . . . $R=770$ » » » »

Въ цѣпномъ мосту черезъ р. Моноигаэла въ Америкѣ наибольшее напряженіе цѣпи допущено въ 333 пуда.

Въ *желѣзныхъ проволочныхъ* канатахъ нѣкоторыхъ мостовъ допущено напряженіе отъ 600 до 700 пудовъ на кв. дюймъ съ временнымъ сопротивленіемъ въ 3000 пудовъ (Ла-Рошъ-Бернарскій и Лоріонскій мосты). Во Фрейбургскомъ мосту напряженіе допущено въ 940 пудовъ на квадратный дюймъ при временномъ сопротивленіи въ 3225 пудовъ. Въ мосту черезъ р. Огіо напряженіе составляетъ 1090 пуд., съ коэффиціентомъ запаса въ 2,66; въ Ніагарскомъ (двухъярусномъ) — 771 пуд., съ коэффиціентомъ запаса въ 3,57; въ удерживающихъ цѣпяхъ коэффиціентъ запаса всего 2,69.

Выше предѣла 500 пуд. на кв. д. для звеньевъ цѣпей и 650 пуд. на кв. д. для проволочнаго каната едва ли слѣдуетъ итти, при временномъ сопротивленіи въ *2000 и соотвѣтственно 2500 пудовъ;* во всякомъ случаѣ коэффиціентъ запаса долженъ быть не менѣе 3,5—4.

в) Въ Америкѣ различныя желѣзнодорожныя общества предписываютъ неодинаковыя допускаемыя напряженія. Такъ, напримѣръ, при проектированіи Ніагарскаго (системы Гербера) моста, было принято для желѣза: $R = 200\left(1 + \frac{3}{4} \cdot \frac{min.\ S}{max.\ S}\right)$ пуд. на квадр. дюймъ, съ уменьшеніемъ напряженія для разноименныхъ напряженій по формулѣ Вейрауха.

На Нью-Іоркъ-Эрійской желѣзной дорогѣ приняты слѣдующія нормы:

На растяженіе:

Въ связяхъ		10,5 кил. на кв. миллим.
Въ поясахъ и въ раскосахъ главныхъ фермъ цѣльныхъ, прокатныхъ, не склепанныхъ		7 » » » »
Въ подвѣскахъ, тяжахъ		5,6 » » » »
Въ поясахъ главныхъ фермъ, склепанныхъ изъ нѣсколькихъ листовъ	(netto)	5,6 » » » »
Тоже для пролета менѣе 6,00 метр.	(netto)	4,9 » » » »
Въ проѣзжей части		4,2 » » » »

На сжатіе:

Части, подвергающіяся сжатію, должны допускать предѣльныя напряженія, опредѣляемыя по слѣдующимъ формуламъ:

$$R = 0{,}007 + 40.000 \times 5{,}6\ \frac{\rho^2}{L^2},$$

если оба конца прямоугольнаго сѣченія (не допускающаго вращенія);

$$R = 0{,}007 + 30.000 \times 5{,}6\ \frac{\rho^2}{L^2},$$

если одинъ конецъ имѣетъ возможность свободно вращаться;

$$R = 0{,}007 + 20.000 \times 5{,}6\ \frac{\rho^2}{L^2},$$

если оба конца свободно вращаются, гдѣ: R — наибольшее допускаемое напряженіе въ килограммахъ на квадратный миллиметръ; L — длина сжимаемой части; ρ — наименьшій радіусъ инерціи сѣченія.

Вообще же въ главныхъ фермахъ допускается на сжатіе для цѣльныхъ (прокатныхъ сѣченій)		7 кил. на кв. миллим.
Для склепанныхъ поясовъ фермъ съ пролетомъ болѣе (6,0 метра	(brutto)	4,2 » » » »
Тоже для пролетовъ менѣе 6,0 метра	(brutto)	3,5 » » » »

Части, подвергающіяся перемѣнному дѣйствію сжатія и вытягиванія, должны удовлетворять обоимъ напряженіямъ порознь, съ прибавленіемъ 0,8 отъ наименьшаго изъ двухъ усилій.

На срѣзываніе:

Для заклепокъ и болтовъ допускается	5,25	кил. на кв. миллим.
Для листовъ	4,2	» » » »
Для вертикальной стѣнки сплошной балки	2,8	» » » »
На смятіе краевъ листа въ заклепочныхъ отверстіяхъ	8,4	» » » »
Тоже въ болтовыхъ отверстіяхъ	4,9—5,6	» » » »

Для мостовъ подъ обыкновенную дорогу установлены (1885 г.) слѣдующія общія предѣльныя напряженія для желѣза съ временнымъ сопротивленіемъ не менѣе 1200 пудовъ на квадратный дюймъ.

Для связей	375	пуд.	на	кв.	дюймъ.
Для проѣзжей части	300	»	»	»	»
Для поясовъ и раскосовъ (въ видѣ звеньевъ)	315	»	»	»	»
Для поясовъ и раскосовъ склепанныхъ	250	»	»	»	»
Для обратныхъ раскосовъ	250	»	»	»	»
Для стоекъ	200	»	»	»	»
Для подвѣсокъ проѣзжей части изъ цѣльныхъ частей . . .	360	»	»	»	»
Для подвѣсокъ составныхъ	280	»	»	»	»

Уголки, подвергающіеся вытягиванію, должны быть приклепаны обѣими полками; въ противномъ случаѣ сѣченіе одной изъ полокъ не принимаютъ въ расчетъ.

Дополнительныя данныя о коэффиціентахъ допускаемаго напряженія для сварочнаго желѣза въ *другихъ странахъ* приведены въ слѣдующемъ параграфѣ, гдѣ онѣ сгруппированы вмѣстѣ съ данными о допускаемомъ напряженіи для литого желѣза и чугуна.

Литое желѣзо. Для *литого* желѣза выработаны у насъ въ недавнее время новые коэффиціенты допускаемаго напряженія, при чемъ проведенъ принципъ, что съ увеличеніемъ пролета коэффиціентъ допускаемаго напряженія непрерывно увеличивается.

а) Въ *проѣзжей части* мостовъ—*на изгибъ*: $R = 6{,}5$ кил.

Въ *главныхъ фермахъ*—*на растяженіе* (основное напряженіе):

б) въ *поясахъ* и въ *частяхъ рышетки* при дѣйствіи вертикальной нагрузки:

$$R = (6{,}75 + 0.02l)\ \frac{\text{кил.}}{\text{мм.}^2}\ ^{*)} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (95)$$

[но во всякомъ случаѣ слѣдовало бы не болѣе: $R = 10\ \frac{\text{кил.}}{\text{мм.}^2}$],

гдѣ l—расчетный пролетъ въ метрахъ.

в) въ *поясахъ* при совмѣстномъ дѣйствіи вертикальной нагрузки и вѣтра:

$$R = (6{,}75 + 0{,}04l)\ \frac{\text{кил.}}{\text{мм.}^2}\ ^{*)} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (96)$$

но не болѣе: $R = 12\ \frac{\text{кил.}}{\text{мм.}^2}$,

при чемъ опредѣленное отъ дѣйствія вѣтра усиліе прибавляется *полностью* къ усилію отъ вертикальной нагрузки.

г) *въ связяхъ:*

$$R = (6{,}75 + 0{,}04l)\ \frac{\text{кил.}}{\text{мм.}^2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (97)$$

но не болѣе: $R = 12\ \frac{\text{кил.}}{\text{мм.}^2}$.

д) въ *сжатыхъ* частяхъ, подвергающихся продольному изгибу, значенія допускаемыхъ напряженій опредѣляются изъ соотвѣтственныхъ допускаемыхъ напряженій на растяженіе (основныхъ напряженій) съ умеиьшеніемъ таковыхъ въ зависимости отъ отношенія длины (l) къ наименьшему радіусу инерціи $\left(\rho = \sqrt{\frac{J}{\omega}}\right)$, опредѣленному для сѣченія brutto. Длина (l) должна быть сообразована съ условіями конструкціи. Такимъ образомъ: $R' = \varphi \,.\, R$, гдѣ φ — указанный коэффиціентъ уменьшенія.

е) *въ сжато-вытянутыхъ* частяхъ:

α) коэффиціентъ допускаемаго напряженія на *вытягиваніе*:

$$R_1 = R\left(1 - \frac{1}{2} \cdot \frac{min.\ S}{max.\ S}\right) \ldots\ldots\ldots\ldots (98)$$

гдѣ R—соотвѣтственное основное напряженіе (пункты: б, в, г), $min.\ S$ и $max.\ S$—наименьшее и наибольшее разноименное усиліе, которымъ подвергается разематриваемая часть.

(Указанная формула Вейрауха *) приведена для примѣра; относительно вида формулы, которую слѣдуетъ примѣнять въ данномъ случаѣ, не состоялось еще окончательнаго рѣшенія. Можетъ быть по примѣру нѣкоторыхъ американскихъ инженеровъ вмѣсто коэффиціента: $1 - \frac{1}{2}\frac{min.S}{max.S}$ достаточно ограничиться коэффиціентомъ: $1 - \frac{1}{3}\frac{min.\ S}{max.\ S}$. Въ Швейцарскомъ постановленіи указанъ коэффиціентъ: $1 - \frac{1}{5}\frac{min.\ S}{max.\ S}$.

β) коэффиціентъ допускаемаго напряженія на *сжатіе*:

$$R_1' = R\left(1 - \frac{1}{2} \cdot \frac{min.\ S}{max.\ S}\right) \cdot \varphi \ldots\ldots\ldots\ldots (99)$$

гдѣ R и φ имѣютъ прежнія значенія.

Такимъ образомъ, сѣченіе каждой *сжато-вытянутой* части должно одновременно удовлетворять двумъ условіямъ прочности, а именно: наибольшему *вытягивающему* усилію съ коэффиціентомъ R_1 и наибольшему *сжимающему* усилію съ коэффиціентомъ R'_1.

ж) При провѣркѣ прочности вытянутыхъ, сжатыхъ и сгибаемыхъ частей поперечное сѣченіе считается *netto*.

з) Допускаемое напряженіе на скалываніе въ сплошныхъ балкахъ должно быть не болѣе 0,75 отъ основного напряженія, при чемъ во всякомъ случаѣ косое нормальное напряженіе въ стѣнкѣ не должно превосходить основного напряженія.

При опредѣленіи величины скалывающихъ усилій, входящія въ составъ выраженія этого усилія значенія момента инерціи и статическій моментъ разрѣшается считать *brutto*.

и) Для перерѣзыванія заклепокъ (изъ сварочнаго желѣза):

α) *для вытянутыхъ и сжатыхъ частей*:

$$R_2 = 0{,}8\ .\ R,$$

гдѣ R—основное напряженіе (пункты: а, б, в, г), но не болѣе: $R_2 = 7\ \frac{\text{кил.}}{\text{мм.}^2}$ при одной вертикальной нагрузкѣ и не болѣе: $R_2 = 8\ \frac{\text{кил.}}{\text{мм.}^2}$ — при совмѣстномъ дѣйствіи вертикальной нагрузки и вѣтра.

β) *для сжато-вытянутыхъ частей:*

$$R_2 = 0{,}8R_1, \text{ но не болѣе: } R_2 = 6\ \frac{\text{кил.}}{\text{мм.}^2}.$$

γ) для прикрѣпленія балокъ проѣзжей части между собою и къ главнымъ фермамъ:

$$R_2 = 5\ \frac{\text{кил.}}{\text{мм.}^2}.$$

*) О значеніи этой формулы см. ниже въ *примѣчаніи*.

(По австрійскимъ и американскимъ даннымъ, въ заклепкахъ, подвергающихся перерѣзыванію по нѣсколькимъ направленіямъ, напряженіе уменьшается на 1 $\frac{\text{кил.}}{\text{мм.}^2}$, что вполнѣ раціонально).

і) Для *смятія* — напряженія не установлено, но можно принять таковое въ 450—500 пуд. на кв. дюймъ (по Австрійскимъ даннымъ даже 560 $\frac{\text{пуд.}}{\text{дм.}^2}$, а по Швейцарскимъ — сопротивленіе смятію должно быть по болѣе *тройного* сопротивленія на разрывъ).

Основная идея формулы (95), т. е. что по мѣрѣ увеличенія пролета увеличивается допускаемое напряженіе, имѣетъ въ виду положеніе, что добавочное дѣйствіе подвижной нагрузки (въ видѣ неизбѣжныхъ ударовъ, сотрясеній, быстроты дѣйствія, скорости движенія и пр.) оказываетъ тѣмъ менѣе вліянія на работу матеріала, чѣмъ мѣньшую долю составляетъ подвижная нагрузка отъ полной нагрузки: постоянной и подвижной. Другими словами вліяніе этихъ факторовъ тѣмъ менѣе, чѣмъ тяжелѣе пролетное строеніе моста, чѣмъ болѣе дѣйствіе статической и динамической нагрузки приближается къ дѣйствію одной статической нагрузки.

Если допустить, что формула (95) достаточно точно удовлетворяетъ этому положенію для опредѣленнаго элемента фермы, ясно, что она могла бы быть примѣняема съ тою же достовѣрностью для всѣхъ элементовъ фермы лишь въ томъ случаѣ, если бы усилія одинаковымъ образомъ зависили отъ постоянной и подвижной нагрузки. Между тѣмъ наибольшія усилія только нѣкоторыхъ элементовъ мостовой фермы выражаются одною и тою же функціей отъ постоянной и подвижной нагрузокъ. Слѣд. если формула (95) справедлива напр. для опредѣленія допускаемаго напряженія въ поясахъ разрѣзной фермы, она, строго говоря, несправедлива уже для опредѣленія допускаемаго напряженія въ раскосахъ, стойкахъ, что особенно рѣзко проявляется въ параболическихъ фермахъ. Наконецъ въ примѣненіи къ *неразрѣзнымъ фермамъ, къ фермамъ Гербера, арочнымъ и висячимъ— является спорнымъ, что считать за длину l и т. д.*

Затрудненія будутъ обойдены, если примѣнять пріемъ, рекомендованный Винклеромъ, Гербером, Вейраухомъ и американскими инженерами. А именно исчислять усилія въ элементахъ фермы *отдѣльно* отъ постоянной и подвижной нагрузки, умножить усилія отъ подвижной нагрузки на нѣкоторый коэффиціентъ, выражающій какъ бы переводъ динамической нагрузки въ эквивалентную статическую, присоединить увеличенное такимъ образомъ усиліе къ усилію отъ постоянной нагрузки и опредѣлить затѣмъ площадь по коэффиціенту допускаемаго напряженія для *одной статической нагрузки* независимо отъ величины пролета, системы фермъ и ряда элементовъ фермъ. Такимъ образомъ, если P усиліе отъ постоянной нагрузки, K—усиліе отъ подвижной нагрузки, R_0—коэффиціентъ допускаемаго напряженія при дѣйствіи одной статической нагрузки, то площадь опредѣлится по формулѣ:

$$\omega = \frac{P + \alpha \,.\, K}{R_0}.$$

Остается лишь выбрать соотвѣтственныя значенія для α и R_0. Американскіе инженеры, какъ сказано было въ предыдущей главѣ, оцѣниваютъ α отъ 1,5 до 2,00. Винклеръ и Вейраухъ—опредѣляютъ его въ 1,25, Häseler (см. далѣе) принимаетъ α равнымъ $1{,}2 + \frac{1}{n}$, гдѣ n — число осей въ загруженной части пролета; инженеръ Соловьевъ считаетъ $\alpha = 1{,}75 - 0{,}002\lambda$, гдѣ λ — выраженная въ метрахъ длина загруженной части моста, при $R_0 = 11$ $\frac{\text{кил.}}{\text{мм.}^2}$.

Если предположить, что формула (95) правильно оцѣниваетъ добавочное вліяніе подвижной нагрузки желѣзнодорожныхъ мостовъ, если вліяніе постоянной и подвижной нагрузокъ выражается одною и тою же функціей (какъ напр. въ поясахъ разрѣзныхъ фермъ), то значитъ α и R_0 должны быть такъ выбраны, чтобъ они не противорѣчили общепринятымъ нормамъ, и чтобъ сѣченіе (для вышеуказанныхъ элементовъ фермы), опредѣленное по предлагаемому пріему, не отличалось отъ сѣченія исчисленнаго по формулѣ (95). Если p и k — постоянная и подвижная нагрузка

на пог. ед., то сѣченіе поясовъ разрѣзной фермы, по нынѣ дѣйствующему пріему:

$$\omega = \frac{P + K}{R} = \frac{(p + k)\, x\, (l - x)}{2hR} = \frac{(p + k)\, A}{R}$$

гдѣ $R \frac{\text{кил.}}{\text{мм.}^2} = 6{,}75 + 0{,}02l$.

По предлагаемому пріему:

$$\omega = \frac{P + \alpha K}{R_0} = \frac{(p + \alpha k)\, x\, (l - x)}{2hR_0} = \frac{(p + \alpha k)\, A}{R_0}.$$

Для равенства сѣченій необходимо, чтобы:

$$\frac{p + k}{R} = \frac{(p + \alpha k)}{R_0}; \quad R = \frac{R_0\, (p + k)}{p + \alpha k} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (a)$$

Если R_0 должно выражать допускаемое напряженіе при статической нагрузкѣ, то выше $R_0 = 10 \frac{\text{кил.}}{\text{см.}^2}$ не слѣдовало бы назначать. Останавливаясь на этой нормѣ и вставляя для цѣлой серіи пролетовъ вмѣсто p и k значенія, указанныя въ таблицахъ (стр. 315, 316, 368 и 369), причемъ k — среднія значенія между k_0 и $k_{\frac{l}{2}}$, а также вставляя вмѣсто R значенія: $R = 6{,}75 + 0{,}02l$ находимъ, что α не есть величина постоянная; для пролета $l = 1$ с., что соотвѣтствуетъ расчетному пролету $l = 2{,}74$ м., значеніе $\alpha = 1{,}50$, а при $l = 50$ с. или при расчетномъ пролетѣ $l = 108{,}84$ м., $\alpha = 1{,}30$ Эти результаты соотвѣтствуютъ предложенію Häseler'a (см. далѣе въ этой гл.) считать α перемѣнной величиной, убывающей съ протяженіемъ загруженной части пролета. Тотъ же принципъ проводитъ въ своемъ предложеніи и инженеръ Соловьевъ. Такимъ образомъ для удовлетворенія двумъ вышеуказаннымъ предѣльнымъ величинамъ: $\alpha = 1{,}50$ и $\alpha = 1{,}30$, а также съ достаточнымъ приближеніемъ и всѣмъ промежуточнымъ значеніямъ слѣдуетъ этотъ коэффиціентъ исчислять по формулѣ: $\alpha = 1{,}50 - 0{,}002\lambda$, гдѣ λ — длина разгруженной части пролета въ метрахъ. (Въ отношеніи усилій въ поясахъ разрѣзныхъ фермъ λ приравнивается величинѣ пролета). Но въ такомъ случаѣ пришлось бы для каждаго элемента находить въ зависимости отъ длины разгруженной части соотвѣтственныя значенія α, что усложнило бы расчеты. Хотя этотъ пріемъ и болѣе раціональный, но для упрощенія выкладокъ можно довольствоваться постояннымъ значеніемъ α при нѣкоторомъ другомъ значеніи R_0, отличномъ отъ $R = 10$ кил., при условіи, чтобы формула (а) была одинаково удовлетворена для всѣхъ пролетовъ. Этому условію удовлетворяетъ $R_0 = 12$ кил. и $\alpha = 1{,}8$ или для большаго запаса: $\alpha = 1{,}85$. Такимъ образомъ сѣченіе элемента фермы въ кв. мил. независимо отъ ея системы и величины пролета опредѣлится по формулѣ:

$$\omega = \frac{P + \alpha K}{R_0} = \frac{P + 1{,}85K}{12} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (б)$$

гдѣ P и K — усилія въ кил. отъ вертик. постоян. и подвижной нагрузокъ. При этомъ слѣдуетъ однако имѣть въ виду, что $R_0 = 12$ выражаетъ только условное допускаемое напряженіе для статической нагрузки, если переводъ подвижной нагрузки оцѣненъ коэффиціентомъ $\alpha = 1{,}85$. Еслибъ требовалось найти сѣченіе при дѣйствіи одной только статической нагрузки, то R_0 не должно быть болѣе: $R_0 = 10$ кил. При совмѣстномъ дѣйствіи вертикальной нагрузки и вѣтра вмѣсто повѣрки сѣченія поясовъ по напряженію по формулѣ (96), т. е. по: $R = 6{,}75 + 0{,}04l$, оказалось, что на томъ же основаніи можно пользоваться формулой:

$$\omega = \frac{P + 1{,}85\, K + 0{,}40\, W}{12}, \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (в)$$

гдѣ W — усиліе осей дѣйствія вѣтра.

Что касается опредѣленія сѣченія *вѣтровыхъ связей*, то для нихъ можно сохранить опредѣленіе сѣченія по формулѣ:

$$\omega = \frac{N}{R}, \text{ гдѣ } R = 6{,}75 + 0{,}04l.$$

Что касается значенія l и φ, о которыхъ упоминается въ пунктѣ д, то необходимо сказать слѣдующее:

1) Если l — дѣйствительная, полная длина подвергающагося сжатію бруса, то при обоихъ вращающихся концахъ, удерживающихся на линіи, совпадающей съ первоначальнымъ направленіемъ (рис. 387), за расчетную, при продольномъ изгибѣ, длину, слѣдуетъ считать полную длину l. Если одинъ конецъ задѣланъ, а другой свободенъ, то вмѣсто дѣйствительной длины l слѣдуетъ взять $2l$; если одинъ конецъ закрѣпленъ, а другой удерживается на линіи, совпадающей съ первоначальнымъ направленіемъ, то вмѣсто дѣйствительной длины l необходимо взять: $\frac{l}{\sqrt{2,046}} = \frac{l}{1,43}$ — примѣрно: $\frac{2}{3}l$. Наконецъ, при обоихъ задѣланныхъ концахъ (рис. 387), вмѣсто дѣйствительной длины l берется $\frac{l}{2}$.

2) Значеніе коэффиціента φ въ формулѣ: $R' = \varphi \, . \, R$ можетъ быть опредѣлено по нѣсколькимъ формуламъ (Grashof'a, Winkler'a, Schwartz'a, Laissle, Schübler'a

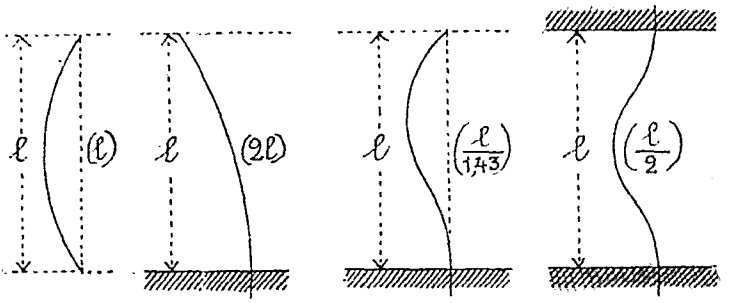


Рис. 387.

и Lowe). Инженеръ Ясинскій предложилъ съ своей стороны опредѣлять R' не въ функціи R, т. е. не въ функціи коэффиціента *прочнаго сопротивленія* на вытягиваніе или на сжатіе при короткихъ стойкахъ (считая оба коэффиціента для желѣза одинаковыми), а въ функціи R'_0 *временнаго сопротивленія* (ломающаго напряженія) *при продольномъ изгибѣ*, о чемъ будетъ ниже сказано, т. е. $R' = \gamma R'_0$, при чемъ онъ полагаетъ, что γ — отношеніе между прочнымъ и временнымъ сопротивленіемъ при *продольномъ изгибѣ* равно отношенію между прочнымъ и временнымъ сопротивленіемъ при разрывѣ или равномѣрномъ сжатіи. Слѣдов. коэффиціенты φ и γ въ формулахъ: $R' = \varphi \, . \, R$ и $R' = \gamma \, . \, R'_0$ не имѣютъ между собою ничего общаго. Для вывода послѣдующихъ формулъ необходимо, однако, припомнить основныя формулы, выражающія *разрушающій грузъ и разрушающее (ломающее) напряженіе* при продольномъ изгибѣ.

а) По Эйлеру, Винклеру и Грасгофу предѣльный или, по выраженію проф. Ясинскаго, *ломающій грузъ* при продольномъ изгибѣ выражается теоретически для четырехъ упомянутыхъ случаевъ формулами:

$$P = \frac{\pi^2 EJ}{l^2}, \quad P = \frac{\pi^2}{4} \cdot \frac{EJ}{l^2}, \quad P = 2{,}046 \frac{\pi^2 EJ}{l^2}, \quad P = \frac{4\pi^2 EJ}{l^2} \ldots \quad (100)$$

Здѣсь необходимо оговориться, что выраженіе «*предѣльный ломающій грузъ*» при продольномъ изгибѣ есть выраженіе условное. Это есть грузъ, при которомъ сжатый брусъ только что не выпучивается. Въ виду же того, что наступившее выпучиваніе можетъ увеличиваться и вызвать, наконецъ, разрушеніе, этотъ грузъ называютъ вмѣстѣ съ тѣмъ предѣльнымъ, разрушающимъ, ломающимъ грузомъ.

b) Переходя отъ *ломящаго груза* къ *ломящему напряженію*, необходимо указанныя значенія раздѣлить на площадь ω. Называя это напряженіе чрезъ R'_0, т. е. соотвѣтствующее какъ бы *временному сопротивленію* при продольномъ изгибѣ, получимъ для четырехъ случаевъ:

$$R'_0 = \frac{\pi^2 EJ}{l^2\omega}, \quad R'_0 = \frac{\pi^2 EJ}{4l^2\omega}, \quad R'_0 = 2{,}046\,\frac{\pi^2 EJ}{l^2\omega}, \quad R'_0 = \frac{4\pi^2 EJ}{l^2\omega}.$$

Слѣдовательно, достаточно вычислить для перваго случая:

$$R'_0 = \frac{\pi^2 EJ}{l^2\omega} = \pi^2 E\left(\frac{r}{l}\right)^2, \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (101)$$

если: $r = \sqrt{\frac{J}{\omega}}$ — (радіусъ инерціи), и затѣмъ легко перейти къ остальнымъ тремъ случаямъ. Значенія R'_0 для указаннаго случая (съ обоими вращающимися концами) были опредѣлены для сварочнаго и литого желѣза еще и опытнымъ путемъ Тетмайеромъ, Консидеромъ и Баушингеромъ. Инженеръ Ясинскій, сравнивъ опытныя данныя съ формулой Эйлера, нашелъ, что для *сварочнаго* желѣза, пока $\frac{l}{r} < 114{,}7$, опытныя данныя весьма близко совпадаютъ съ формулой Эйлера, если положить въ ней: $E = 2000$ тоннъ на квадратный сантиметръ, при чемъ она приметъ видъ:

$$R'_0 = 19740\left(\frac{r}{l}\right)^2. \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (102)$$

въ тоннахъ на квадратный сантиметръ.

При $\frac{l}{r} > 114{,}7$ опытнымъ даннымъ лучше удовлетворяетъ формула Тетмайера вида $R'_0 = a + b\,\frac{l}{k}$:

$$R'_0 = 3{,}3907 - 0{,}01648\,\frac{l}{r}\ *) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (103)$$

въ тоннахъ на квадратный сантиметръ.

Для *литого желѣза* и для *стали*, пока $\frac{l}{r} < 110{,}1$, примѣнима формула Эйлера (101), если положить въ ней: $E = 2156$ тоннъ на кв. сантим., при чемъ она приметъ видъ:

$$R'_0 = 21276\left(\frac{r}{l}\right)^2. \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (104)$$

въ тоннахъ на квадратный сантиметръ.

Если $\frac{l}{r} > 110{,}1$, то опытныя данныя удовлетворяются формулой Тетмайера:

$$R'_0 = 3{,}387 - 0{,}01483\,\frac{l}{r}\ *) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (105)$$

въ тоннахъ на квадратный сантиметръ.

Въ слѣдующей таблицѣ, извлеченной изъ труда инженера Ясинскаго: «Опытъ развитія теоріи продольнаго изгиба», выписаны значенія R'_0 для цѣлой серіи значеній $\frac{l}{r}$, опредѣленныя въ зависимости отъ величины $\frac{l}{r}$ по формуламъ: (102), (103), (104) и (105).

*) Значенія коэффиціентовъ опредѣлены инженеромъ Ясинскимъ по способу наименьшихъ квадратовъ на основаніи опытныхъ данныхъ Тетмайера, Консидера и Баушингера.

Таблица ломающихъ напряженій для стоекъ съ свободными концами изъ литого желѣза и мягкой стали съ временнымъ сопротивленіемъ разрыву, не превышающимъ 4,7 тонны на 1 квадратный сантиметръ.

$\frac{l}{r}$	Ломающее напряженіе.				$\frac{l}{r}$	Ломающее напряженіе.			
	Для сварочнаго желѣза.		Для литого желѣза.			Для сварочнаго желѣза.		Для литого желѣза.	
	Въ тоннахъ на 1 квадр. сантим.	Въ пудахъ на 1 квадр. дюймъ.	Въ тоннахъ на 1 квадр. сантим.	Въ пудахъ на 1 квадр. дюймъ.		Въ тоннахъ на 1 квадр. сантим.	Въ пудахъ на 1 квадр. дюймъ.	Въ тоннахъ на 1 квадр. сантим.	Въ пудахъ на 1 квадр. дюймъ.
20	3,06110	1205,61	3,09040	1217,15	140	1,00715	396,66	1,08568	427,58
25	2,97870	1173,15	3,01625	1187,95	145	0,93886	369,76	1,01205	398,59
30	2,89630	1140,70	2,94210	1158,74	150	0,877342	345,53	0,945743	372,47
35	2,81390	1108,24	2,86795	1129,53	155	0,821640	323,59	0,885698	348,82
40	2,73150	1075,79	2,79380	1100,33	160	0,771094	303,69	0,831211	327,36
45	2,64910	1043,33	2,71965	1071,13	165	0,725068	285,56	0,781597	307,82
50	2,56670	1010,88	2,64550	1041,92	170	0,683055	269,01	0,736309	289,99
55	2,48430	978,42	2,57135	1012,72	175	0,644574	253,86	0,694827	273,65
60	2,40190	945,97	2,49720	983,51	180	0,609269	239,95	0,656770	258,66
65	2,31950	913,51	2,42305	954,31	185	0,576769	227,15	0,621736	244,86
70	2,23710	881,06	2,34890	925,10	190	0,546824	215,36	0,589456	232,15
75	2,15470	848,60	2,27475	895,90	195	0,519304	204,52	0,559604	220,39
80	2,07230	816,15	2,20060	866,69	200	0,493500	194,36	0,531975	209,51
85	1,98990	783,69	2,12645	837,49	205	0,469731	185,00	0,506353	199,42
90	1,90750	751,24	2,05230	808,28	210	0,447618	176,29	0,482516	190,03
95	1,82510	718,78	1,97815	779,08	215	0,427049	168,19	0,460344	181,30
100	1,74270	686,33	1,90400	749,87	220	0,407860	160,63	0,439658	173,15
105	1,66030	653,87	1,82985	720,67	225	0,389918	153,57	0,420318	165,54
110	1,57790	621,42	1,75570	691,46	230	0,373153	146,96	0,402245	158,42
115	1,49264	587,86	1,60902	633,70	235	0,357444	140,78	0,385312	151,75
120	1,37082	539,88	1,47770	581,98	240	0,342714	134,97	0,369433	145,50
125	1,26336	497,56	1,36186	536,35	245	0,328859	129,52	0,354498	139,62
130	1,16805	460,02	1,25911	495,89	250	0,315840	124,39	0,340464	134,09
135	1,08313	426,58	1,16757	459,84					

с) Имѣя значенія R'_0—ломающаго (временнаго) сопротивленія при продольномъ изгибѣ, каковая величина необходима для опредѣленія R' — *прочнаго* сопротивленія при продольномъ изгибѣ по формулѣ Ясинскаго $R' = \gamma \cdot R'_0$, перейдемъ къ объясненіе, какъ находить значеніе коэффиціента γ въ этой формулѣ, а также къ опредѣленію коэффиціента φ въ различныхъ формулахъ вида: $R' = \varphi R$

α) По *Ясинскому*:

$$R' = \gamma \cdot R'_0, \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (106)$$

гдѣ γ—отношеніе прочнаго сопротивленія при вытягиваніи R къ временному сопротивленію при разрывѣ R_0, принимаемое равнымъ отношенію R' къ R'_0. Для сва-

рочиаго желѣза минимальное значеніе временнаго сопротивленія: $R_0 = 32 \frac{\text{кил.}}{\text{мм.}^2}$, а для литого желѣза: $R_0 = 35 \frac{\text{кил.}}{\text{мм.}^2}$. Слѣдовательно, если разсматриваемый брусъ составляетъ составную часть фермы пролетомъ 40 метр., то для нея основное допускаемое напряженіе на вытягиваніе:

$$R = (6{,}75 + 0{,}02 \times 40) = 7{,}55 \text{ кил.}$$

поэтому:

$$\gamma = \frac{7{,}55}{35} = 0{,}216.$$

Слѣдовательно, для данной сжатой части:

$$R' = 0{,}216 \,.\, R'_0,$$

гдѣ R'_0 опредѣляется по формуламъ (102), (103), (104) и (105). Если, напримѣръ, длина сжатой части съ обоими вращающимися концами:

$l = 10$ ф. $= 120$ дюйм.; площадь уголка $\left(4'' \times 4'' \times \frac{1''}{2}\right) = \omega = 3{,}777$ кв. дюйм.;

$$I = 5{,}468,$$

то:

$$r = \sqrt{\frac{I}{\omega}} = \sqrt{\frac{5{,}468}{3{,}777}} = \sqrt{1{,}4477} = 1{,}203;$$

$$\frac{l}{r} = \frac{120}{1{,}203} = 99{,}75 \infty 100.$$

По таблицѣ Ясинскаго или по формулѣ (104), переведенной въ единицы пуд. и дюймы:

$$R'_0 = 749{,}87 \text{ пуд.};$$

поэтому допускаемое *прочное* сопротивленіе при продольномъ изгибѣ:

$$R' = 0{,}216 \times R'_0 = 0{,}216 \times 749{,}87 = 161{,}93 \frac{\text{пуд.}}{\text{дюйм.}^2}.$$

3) По *Grashof*'у и *Winkler*'у:

$$R' = \varphi \,.\, R = \frac{R}{1 + \frac{R_0 \,.\, \omega \,.\, l^2}{m E I}}, \quad \ldots \ldots \ldots \quad (107)$$

гдѣ въ зависимости отъ условій, въ которыхъ находятся концы сжатой части (вышеупомянутые четыре случая):

$$m = \pi^2; \quad \frac{\pi^2}{4}; \quad 2{,}046\,\pi^2 \text{ и } 4\pi^2.$$

Въ этой формулѣ: R—прочное сопротивленіе при разрывѣ или сжатіи (короткой части); R_0—временное сопротивленіе при разрывѣ или раздробленіи.

Поименованные авторы приходятъ слѣдующимъ разсужденіемъ къ упомянутой формулѣ:

Если R_0—временное сопротивленіе при равномѣрномъ сжатіи (безъ изгиба), и P, исчисленное по формуламъ (100), болѣе $R_0 \,.\, \omega$, т. е. $P > R_0 \,.\, \omega$, то, повидимому, брусъ ие можетъ изогнуться, такъ какъ ранѣе того онъ уже раздробится отъ равномѣрнаго сжатія. Одинаковая вѣроятность разрушенія отъ равномѣрнаго

сжатія и отъ сжатія съ продольнымъ изгибомъ наступитъ при:

$$R_0 . \omega = m . \frac{EI}{l^2},$$

гдѣ:

$$m = \pi^2, \quad \frac{\pi^2}{4}, \quad 2{,}046\pi^2 \text{ и } 4\pi^2,$$

или:

$$R_0 = m . \frac{EI}{l^2 . \omega} = m . E \left(\frac{r}{l}\right)^2,$$

откуда:

$$\frac{l}{r} = \sqrt{\frac{m . E}{R_0}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (108)$$

Слѣдовательно, казалось бы, что пока, при данномъ r, длина l менѣе значенія, опредѣленнаго по формулѣ (108), продольный изгибъ не можетъ проявиться. Но опытъ противорѣчитъ этому заключенію, вѣроятно вслѣдствіе того, что опытъ нельзя вполнѣ точно обставить согласно предположенной теоріи, т. е. чтобы матеріалъ былъ однороденъ, чтобы геометрическая ось совпадала съ линіей, соединяющей ц. т. сѣченій, чтобы усиліе было приложено по оси бруса и проч.; во всякомъ случаѣ, оказывается, что ломающій грузъ P постепенно убываетъ вслѣдъ за увеличеніемъ значеній: $\frac{l}{r} = l\sqrt{\frac{\omega}{I}}$, начиная даже отъ нуля. Основываясь на указаніяхъ опыта, естественнѣе поэтому выразить разрушающій грузъ P, при равномѣрномъ сжатіи и при сжатіи съ продольнымъ изгибомъ, т. е. при различномъ значеніи l, одной и той же функціей отъ размѣровъ бруса и отъ временнаго сопротивленія при равномѣрномъ сжатіи и притомъ такого вида, чтобы это значеніе P было всегда менѣе обоихъ значеній: $R_0 . \omega$ и $m \frac{EI}{l^2}$, приближаясь однако къ нимъ, какъ къ предѣламъ, когда $\frac{l}{r}$, при данномъ r, безконечно *убываетъ* или *увеличивается*. Наиболѣе простой видъ такой функціи:

$$P = \frac{R_0 . \omega . m . \frac{EI}{l^2}}{R_0 . \omega + m \frac{EI}{l^2}} \text{ *)} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (109)$$

При l—весьма маломъ, первый членъ въ знаменателѣ значительно менѣе второго; тогда $P = R_0 . \omega$; когда l—очень большое, имѣетъ мѣсто обратное, тогда:

$$P = m . \frac{EI}{l^2}.$$

Раздѣливъ въ уравненіи (109) объ части на ω, получимъ:

$$R'_0 = \frac{P}{\omega} = \frac{R_0 . m . \frac{EI}{l^2}}{R_0 . \omega + m . \frac{EI}{l^2}},$$

которое можетъ обратиться въ $R'_0 = \frac{P}{\omega} = R_0$ при l весьма маломъ.

*) Grashof. Theorie der Elasticität. Стр. 171. Winkler. Die Lehre von der Elasticität. Стр. 169.

Если ограничиться первымъ изъ четырехъ случаевъ, т. е. когда: $m = \pi^2$, то:

$$R'_0 = \frac{P}{\omega} = \frac{R_0 \cdot \pi^2 \cdot \frac{EI}{l^2}}{R_0 \cdot \omega + \pi^2 \cdot \frac{EI}{l^2}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (110)$$

Если γ—отношеніе между R'—*прочнымъ* сопротивленіемъ при продольномъ изгибѣ и R'_0—*временнымъ* сопротивленіемъ при продольномъ изгибѣ (ломающимъ напряженіемъ), то:

$$R' = \gamma \cdot R'_0 = \frac{\gamma \cdot R_0 \cdot \pi^2 \cdot \frac{EI}{l^2}}{R_0 \cdot \omega + \pi^2 \cdot \frac{EI}{l^2}};$$

но $\gamma \cdot R_0$ есть прочное сопротивленіе при равномѣрномъ вытягиваніи или сжатіи, т. е.

$$\gamma \cdot R_0 = R;$$

поэтому:

$$R' = \frac{R \cdot \pi^2 \cdot \frac{EI}{l^2}}{R_0 \cdot \omega + \pi^2 \cdot \frac{EI}{l^2}} = \frac{R}{1 + \frac{R_0 \cdot \omega \cdot l^2}{\pi^2 \cdot EI}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (111)$$

Слѣдовательно, значеніе коэффиціента:

$$\varphi = \frac{R'}{R} = \frac{1}{1 + \frac{R_0 \cdot \omega \cdot l^2}{\pi^2 \cdot EI}}.$$

Такъ напримѣръ, для вышеуказаннаго примѣра:

$$R = 7{,}55 \frac{\text{кпл.}}{\text{мм.}^2} = 7{,}55 \times 39{,}38 = 297 \frac{\text{пуд.}}{\text{дм.}^2};$$

$$R_0 = 35 \frac{\text{кпл.}}{\text{мм.}^2} = 35 \times 39{,}38 = 1378 \frac{\text{пуд.}}{\text{дм.}^2};$$

$\omega = 3{,}777$ кв. дм.; $I = 5{,}468$ дм.^{4}; $E = 21560 \frac{\text{кпл.}}{\text{мм.}^2} = 848602 \frac{\text{пуд.}}{\text{дм.}^2}$; $l = 120$ д.

Выше было найдено, что для даннаго примѣра:

$$\frac{l}{r} = l \sqrt{\frac{\omega}{I}} = 100.$$

Слѣдовательно:

$$\frac{l^2 \omega}{I} = 10000.$$

Поэтому:

$$R' = \frac{297}{1 + \frac{1378 \times 10000}{3{,}14^2 \times 848602}} = \frac{297}{1 + 1{,}647} = \frac{297 \times 1}{2{,}647} = 112 \frac{\text{пуд.}}{\text{дм.}^2}$$

γ) По *Шваргу*, *Лесли* и *Шюблеру*:

$$R' = \varphi \cdot R = \frac{R}{1 + k \cdot \omega \cdot \frac{l^2}{I}}, \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (112)$$

гдѣ k—для желѣза:

$$k = 0{,}00008 \text{ — по Шюблеру;}$$
$$k = 0{,}0001 \text{ — по Шварцу.}$$

Слѣдовательно, значеніе коэффиціента:

$$\varphi = \frac{1}{1 + \frac{k \cdot \omega \cdot l^2}{I}}.$$

По впду эта формула ничѣмъ не отличается отъ формулъ Grashof'a и Winkler'a, въ которой:

для сварочнаго желѣза:

$$k = \frac{R_0}{\pi^2 . E} = \frac{1260}{9{,}86 \times 780000} = 0{,}000162;$$

для литого желѣза:

$$k = \frac{R_0}{\pi^2 . E} = \frac{1378}{9{,}86 \times 848600} = 0{,}000164.$$

Формула Шюблера приближенно можетъ быть выведена слѣдующимъ образомъ Если разбить напряженіе при продольномъ изгибѣ на двѣ части: па напряженіе S_1 отъ непосредственнаго сжатія: $S_1 = \frac{P}{\omega}$ и напряженіе отъ момента при изгибѣ:

$$S_2 = max.\ M \frac{z}{I} = P \cdot f \cdot \frac{z}{I},$$

гдѣ f—наибольшая стрѣла прогиба, то полное напряженіе:

$$S = S_1 + S_2.$$

Но если i—укороченіе на единицу длины при данномъ напряженіи, z — половина высоты поперечнаго сѣченія бруса, то стрѣла прогиба f, вызванная укороченіемъ бруса (см. Расчетъ подкосныхъ фермъ по способу Риттера), выразится слѣдующимъ образомъ. Изъ (рис. 388) имѣемъ:

$$\frac{l^2}{4} = (2\rho - f) \cdot f,$$

откуда приближенно:

$$f = \frac{l^2}{8\rho},$$

если ρ—радіусъ кривизны оси согнутаго бруса.

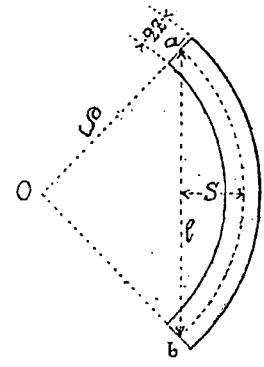


Рис. 388.

Но:

$$\rho : (\rho - z) = l : l\,(1 - i) = 1 : (1 - i),$$

если положить приближенно осевую линію ab равною прежней длинѣ l, при чемъ длина крайняго внутренняго волокна, отстоящаго отъ центра кривизны па $\rho - z$, будетъ, очевидно, $l\,(1 - i)$. Изъ предыдущаго равенства имѣемъ:

$$\rho - z = \rho\,(1 - i) = \rho - \rho i,$$

откуда:

$$\rho = \frac{z}{i}.$$

Слѣдовательно. $$f = \frac{l^2}{8\rho} = \frac{l^2 . i}{8z}.$$

Поэтому:

$$S = S_1 + S_2 = \frac{P}{\omega} + P . f . \frac{z}{I} = \frac{P}{\omega} + \frac{Pl^2 . i . z}{8I . z} = \frac{P}{\omega} + \frac{Pl^2 . i}{8I} = \frac{P}{\omega}\left(1 + \frac{\omega . i . l^2}{8I}\right).$$

Послѣдняя формула показываетъ, что сила P, вызывая одновременно сжатіе и изгибъ, повышаетъ напряженіе съ $\frac{P}{\omega}$ до $\frac{P}{\omega}\left(1 + \frac{\omega . i . l^2}{8I}\right)$. Такимъ образомъ, если $\frac{P}{\omega}$ такъ велико, что оно отвѣчаетъ коэффиціенту прочнаго сопротивленія при равномѣрномъ сжатіи, т. е. $R = \frac{P}{\omega}$, то дѣйствительное напряженіе при указанныхъ условіяхъ повысится до $S = R\left(1 + \frac{\omega . i . l^2}{8I}\right)$.

Слѣдовательно, обратно, если брусъ подвергается дѣйствію непосредственнаго сжатія и изгиба, вызванныхъ силою P, и требуется провѣрить по формулѣ вида: $P = R' . \omega$, то R' должно быть во столько разъ менѣе R, во сколько 1 менѣе $1 + \frac{\omega . i . l^2}{8I}$, т. е.

$$R' = \frac{R}{1 + \frac{\omega . i . l^2}{8I}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (113)$$

Для желѣза i при R, равномъ около $7-10$ кил. на кв. мм.:

$$i = \frac{P}{E . \omega} = \frac{R}{E} = \frac{8{,}5}{20000} = 0{,}000425.$$

Слѣдовательно:

$$\frac{i}{8} = 0{,}000053.$$

Если взять значеніе i при предѣлѣ упругости, то:

$$i = \frac{17}{20000} = 0{,}00085 \text{ и } \frac{i}{8} = 0{,}000106.$$

Тогда: $$R' = \frac{R}{1 + 0{,}000106 . \frac{\omega . l^2}{I}}$$

и коэффиціентъ: $k = 0{,}000106$ уже близко подойдетъ къ значенію коэффиціента: $k = 0{,}0001$, предложеннаго Шварцемъ.

Для вышеприведеннаго примѣра значеніе R':

По *Шюблеру*:

$$R' = \frac{297}{1 + 0{,}00008 . \frac{\omega . l^2}{I}} = \frac{297}{1 + 0{,}00008 \times 10000} = \frac{297}{1{,}8} = 165 \frac{\text{пуд.}}{\text{дм.}^2}.$$

По *Шварцу*:

$$R' = \frac{297}{1 + 0{,}0001 . \frac{\omega . l^2}{I}} = \frac{297}{1 + 0{,}0001 \times 10000} = \frac{297}{2} = 148{,}5 \frac{\text{пуд.}}{\text{дм.}^2}.$$

По *Лове*:

$$R' = \frac{R}{0{,}85 + 0{,}04\,\frac{l}{d}},$$

гдѣ d—наименьшая ширина сѣченія, и слѣдовательно:

$$\varphi = \frac{1}{0{,}85 + 0{,}04\,\frac{l}{d}}.$$

Для даннаго примѣра:

$$R' = \frac{297}{0{,}85 + 0{,}04 \times \frac{120}{4}} = \frac{297}{2{,}05} = 145\ \frac{\text{пуд.}}{\text{дм.}^2}.$$

Такимъ образомъ для одного и того же примѣра имѣемъ:

По Ясинскому:

$$R' = 162\ \frac{\text{пуд.}}{\text{дм.}^2}.$$

По Grashof'y:

$$R' = 112\ \frac{\text{пуд.}}{\text{дм.}^2};\quad \varphi = \frac{1}{1 + \frac{R_0 \,.\, \omega \,.\, l^2}{\pi^2 \,.\, EI}},$$

гдѣ:

$$\frac{R_0}{\pi^2 \,.\, E} = k = 0{,}000164.$$

По Шюблеру:

$$R' = 165\ \frac{\text{пуд.}}{\text{дм.}^2};\quad \varphi = \frac{1}{1 + \frac{k \,.\, \omega \,.\, l^2}{I}},$$

гдѣ:

$$k = 0{,}00008.$$

По Шварцу:

$$R' = 148{,}5\ \frac{\text{пуд.}}{\text{дм.}^2};\quad \varphi = \frac{1}{1 + \frac{k \,.\, \omega \,.\, l^2}{I}},$$

гдѣ:

$$k = 0{,}0001.$$

По Лове:

$$R' = 145\ \frac{\text{пуд.}}{\text{дм.}^2};\quad \varphi = \frac{1}{0{,}85 + 0{,}04\,\frac{l}{d}},$$

гдѣ d—наименьшая ширина сѣченія.

Приведемъ значенія коэффиціентовъ допускаемыхъ напряженій въ металлахъ, установленныхъ въ другихъ странахъ:

а) *По Швейцарскому постановленію* (18 августа 1892 г.):

Для *сварочнаго* желѣза:

$$R = 0{,}700 + 0{,}200\ \frac{min.\ S}{max.\ S}\ \text{тоннъ на кв. сантим.}$$

Для *литого* желѣза:

$$R = 0{,}800 + 0{,}200\ \frac{min.\ S}{max.\ S}\ \text{тоннъ на кв. сантим.}$$

При разноименныхъ напряженіяхъ слѣдуетъ брать передъ вторымъ членомъ знакъ (—).
Если усиліе вѣтра вызываетъ напряженіе менѣе $10^0/_0$, то оно не принимается въ расчетъ.
При склепанныхъ балкахъ изъ литого желѣза напряженіе на изгибъ уменьшается на $10^0/_0$.

Для *чугуна*: { на сжатіе: $R = 0{,}700$ тоннъ на кв. сант.
на вытягиваніе: $R = 0{,}250$ » » » »

При сжатіи длинныхъ стоекъ, если l и r—длина и наименьшій радіусъ инерціи, то при $110 > \frac{l}{r} > 10$:

для *сварочнаго* желѣза: $R = 0{,}750 - 0{,}003\,\frac{l}{r}$ тоннъ на кв. сант.

для *литого* желѣза: $R = 0{,}800 - 0{,}003\,\frac{l}{r}$ » » » »

Если $\frac{l}{r} > 110$:

для *сварочнаго* желѣза: $R = 5000\left(\frac{l}{r}\right)^2$ тоннъ на кв. сант.

для *литого* желѣза: $R = 5500\left(\frac{l}{r}\right)^2$ » » » »

для *чугунныхъ* колоннъ: $R = \frac{0{,}700}{1 + 0{,}0006\left(\frac{l}{r}\right)^2}$ тоннъ на кв. сант.

Для *срѣзыванія* въ заклепкахъ: R равно 0,9 отъ сопротивленія на вытягиваніе.
Для *смятія*—не болѣе тройного сопротивленія на вытягиваніе.

Замѣтимъ, что подвижная нагрузка предполагается изъ поѣзда съ *тремя* паровозами (того же типа, какъ у насъ) и ряда груженыхъ вагоновъ. При опредѣленіи подвижной нагрузки для балокъ пролетомъ менѣе 15 метровъ, а равнымъ образомъ для продольныхъ и поперечныхъ балокъ нагрузка увеличивается на $2\,(15 - l)\ ^0/_0$, гдѣ l—пролетъ въ метрахъ.

Требуемыя Швейцарскимъ правительствомъ качества мостового металла слѣдующія:

НАЗВАНІЕ ЧАСТЕЙ.	Временное сопротивленіе въ тоннахъ на кв. сант.		Произведеніе временного сопротивленія на относительное удлиненіе.	
	Сварочное желѣзо.	Литое желѣзо.	Сварочное желѣзо.	Литое желѣзо.
1) Листы, поперечные линейные размѣры которыхъ почти одинаковы, а также листы, которые будутъ подвергаться усиліямъ въ различныхъ направленіяхъ:				
вдоль прокатки	3,4		0,40	0,90
поперекъ прокатки	3,0		0,15	0,90
2) Листы, длина которыхъ значительно превосходитъ ширину:				
вдоль прокатки	3,4		0,38	0,90
поперекъ прокатки	2,8		0,10	0,80
3) Профильное желѣзо, включая круглое, квадратное и узкое полосовое	3,4		0,45	0,90
4) Широкіе листы:				
вдоль прокатки	3,4		0,45	0,90
поперекъ прокатки	2,8		0,08	0,80
5) Заклепочное желѣзо	3,8	3,6—4,2	0,70	1,00

(Отъ 3,6 до 4,5.)

Чугунъ долженъ обладать временнымъ сопротивленіемъ не менѣе 1,4 $\frac{\text{тон.}}{\text{сант.}^2}$. Бруски, положенные на двѣ опоры на взаимномъ разстояніи въ 1 м., должны выдержать при прогибѣ работу въ 0,50 $\frac{\text{тон.}}{\text{сант.}^2}$; размѣры пробнаго бруска: длина — 1,2 м.; сѣченіе — 3×3 сант.^{2}

б) *По постановленію Австрійскаго правительства* (1887 г.).

Для *сварочнаго* желѣза:

При пролетахъ менѣе 40 метровъ:

На вытягиваніе, сжатіе и срѣзываніе поперекъ прокатки: 0,7 тон: на кв. сант.

При пролетахъ болѣе 40 метровъ:

Для 40 метровъ	0,780	тоннъ на кв. сант.
» 80 »	0,840	» » » »
» 120 »	0,880	» » » »
» 160 и болѣе метр.	0,900	» » » »
» срѣзыванія въ заклепкахъ	0,600	» » » »

если перерѣзываніе имѣетъ мѣсто въ разныхъ направленіяхъ, то: $R = 0{,}500$ тоннъ. На смятіе: $R = 1{,}4$ тон. на кв. сант.

Сопротивлечіе срѣзыванію вдоль прокатки: $R = 0{,}500$ тоннъ.

При совмѣстномъ дѣйствіи вертикальной нагрузки и вѣтра не должны быть превзойдены напряженія:

на вытягиваніе и сжатіе	0,100	тон. на кв. сант.
» срѣзываніе въ заклепкахъ . . .	0,700	» » » »
» » листовъ вдоль прокатки	0,600	» » » »

Постановленіемъ отъ 29 января 1892 г. разрѣшено употреблять для мостовъ и литое желѣзо съ тѣми же предѣльными напряженіями, которыя установлены для сварочнаго желѣза, при чемъ литое желѣзо должно обладать временнымъ сопротивленіемъ отъ 35 до 45 кил. на кв. м. съ удлиненіемъ отъ 28% до 22%. Заклепочное литое желѣзо должно имѣть сопротивленіе отъ 35 до 40 кил. на кв. м. съ удлиненіемъ отъ 32% до 26%.

в) *По постановленію Французскаго правительства* (1891 г.).

Для *чугуна*:

на вытягиваніе	$R = 0{,}150$	тоннъ на кв. сант.
на изгибъ	$R = 0{,}250$	» » » »
на сжатіе	$R = 0{,}600$	» » » »

Для *желѣза* и *стали*—на вытягиваніе, сжатіе и изгибъ:

для *желѣза*	$R = 0{,}650$	тоннъ на кв. сант.
для *стали*	$R = 0{,}850$	» » » »

Указанные коэффиціенты *должны* быть *уменьшены* для проѣзжей части моста до:

$R = 0{,}550$ тоннъ на квадр. сант.—для *желѣза*,
$R = 0{,}750$ » » » » —для *стали*,

и для частей, подвергающихся перемѣнному (по знакамъ) напряженію, до:

$R = 0{,}400$ тоннъ на квадр. сант.—для *желѣза*,
$R = 0{,}600$ » » » » —для *стали*,

и, съ другой стороны, *могутъ* быть *повышены* для пролетовъ свыше $l = 30$ метр. до:

$R = 0{,}850$ тоннъ на квадр. сант.—для *желѣза*,
$R = 1{,}150$ » » » » —для *стали*.

Если *желѣзо* было прокатано по одному направленію и подвергается въ сооруженіи напряженію поперекъ прокатки, то соотвѣтственные коэффиціенты уменьшаются на $\frac{1}{3}$.

Для скалыванія и срѣзыванія въ стѣнкахъ примѣняются вышеуказанные коэффиціенты съ уменьшеніемъ на $\frac{1}{5}$.

Для срѣзыванія въ заклепкахъ допускаемое напряженіе не должно превосходить $\frac{4}{5}$ отъ предѣла для наболѣе слабой изъ соединяемыхъ частей. Сопротивленіе на *отрываніе* головокъ не должно превосходить 0,300 тонн на кв. сант.

Допускаемыя напряженія въ каждомъ данномъ случаѣ рекомендуется опредѣлять при одноименныхъ усиліяхъ по формуламъ:

$$R = 6 \text{ к.} + 3 \text{ к.} \frac{A}{B} \text{ для желѣза,}$$

$$R = 8 \text{ к.} + 3 \text{ к.} \frac{A}{B} \text{ для стали,}$$

гдѣ A и B—наименьшія и наибольшія одноименныя усилія.

Для разноименныхъ усилій рекомендуется формула:

для желѣза: $$R = 6 \text{ к.} - 7 \text{ к.} \frac{C}{B},$$

для стали: $$R = 8 \text{ к.} - 4 \text{ к.} \frac{C}{B},$$

гдѣ C и B — наименьшія и наибольшія разноименныя усилія. (Подъ сталью слѣдуетъ, вѣроятно, понимать литое желѣзо).

Требуемыя качества отъ мостового металла:

НАЗВАНІЕ ЧАСТЕЙ.		Временное сопротивленіе въ килограм. на кв. мм.	Удлиненіе.
Сварочное желѣзо:	Профильное и полосовое — вдоль прокатки	32	8%
	Листы: вдоль прокатки	32	8
	Листы: поперекъ прокатки	28	3,5%
Сталь (литое желѣзо) прокатная		42	22
Заклепочное сварочное желѣзо		36	16%
Заклепочное литое желѣзо		38	28%

г) *Саксонскимъ* правительственнымъ постановленіемъ (окт. 1893 г.) предлагается опредѣлять площади сѣченій различныхъ составныхъ частей моста по такимъ формуламъ:

Пусть: F — площадь сѣченія въ квадр. сантим.;

P_0 — усиліе въ килогр. отъ постоянной нагрузки;

P_1 — усиліе въ килогр. отъ подвижной нагрузки и того же знака, какъ P_0;

P_2 — усиліе въ килогр. отъ подвижной нагрузки знака противоположнаго съ P_0;

A_1 — наибольшее напряженіе въ данной части;

A_2 — наименьшее напряженіе въ данной части.

Для фермъ со сплошной стѣнкой слѣдуетъ площадь F замѣнить моментомъ сопротивленія сѣченія въ сант.; усилія: P_0, P_1, P_2 замѣнить соотвѣтственными моментами отъ постоянной и подвижной нагрузки (одноименнаго и разноименнаго знака).

Допускаемое напряженіе на срѣзываніе составляетъ $\frac{4}{5}$ отъ соотвѣтственнаго напряженія на вытягиваніе и сжатіе; для сварочнаго желѣза, прокатаннаго въ одномъ направленіи, коэффиціентъ уменьшенія понижается до $\frac{2}{3}$, если усиліе будетъ дѣйствовать поперекъ прокатки.

ДЛЯ:	Въ предположеніи: наибольшаго допускаемаго напряженія.	Въ предположеніи: при коэффиціентѣ, оцѣнивающемъ вліяніе ударовъ.		Части съ одноименнымъ напряженіемъ и съ разноименнымъ, для которыхъ:	Части съ разноименнымъ напряженіемъ, для которыхъ:	
Сварочнаго желѣза . .	1050	1,50	$F=$	$P_2 < \frac{2}{3} P_0$	$P_2 > \frac{2}{3} P_0$ когда:	
				$\frac{P_0}{1050} + \frac{P_1}{700}$	$P_2 - P_1 < \frac{4}{3} P_0$	$P_2 - P_1 > \frac{4}{3} P_0$
					$\frac{P_0}{1575} + \frac{P_1}{700} + \frac{P_2}{2100}$	$\frac{P_0}{1575} + \frac{P_1}{2100} + \frac{P_2}{700}$
Литого желѣза . .	1530	1,80	$F=$	$P_2 < \frac{5}{9} P_0$	$P_2 > \frac{5}{9} P_0$ когда:	
				$\frac{P_0}{1530} + \frac{P_1}{850}$	$P_2 - P_1 < \frac{10}{9} P_0$	$P_2 - P_1 > \frac{10}{9} P_0$
					$\frac{P_0}{2295} + \frac{P_1}{850} + \frac{P_2}{2550}$	$\frac{P_0}{2295} + \frac{P_1}{2550} + \frac{P_2}{850}$
			$A_1=$	$\frac{P_0 + P_1}{F}$	$\frac{P_0 + P_1}{F}$	
			$A_2=$		$\frac{P_2 - P_0}{F}$	

Полное напряженіе отъ постоянной и подвижной нагрузокъ, вѣтра и центробѣжной силы не должно превышать:

1050 кил. на кв. сант. для сварочнаго желѣза;
1530 » » » » » литого желѣза;
1980 » » » » » литой стали;
250 » » » » » чугуна (на растяженіе и изгибъ);
750 » » » » » » на сжатіе.

Для частей моста, подвергающихся исключительно дѣйствію однѣхъ горизонтальныхъ силъ, могутъ быть приняты наибольшіе допускаемые коэффиціенты.

д) По *Прусскому* постановленію (сент. 1895 г.) допускаются слѣдующія предѣльныя напряженія:

А. Въ фермахъ со сквозной стѣнкой.

Изъ литого желѣза: а) для частей, подвергающихся растяженію:

при пролетахъ . .	въ 10 м.	20	40	80	120	150 м.
α) безъ вѣтра . .	800 $\frac{\text{кил.}}{\text{сант.}^2}$	850	900	950	1000	1050
β) съ вѣтромъ . .		отъ 1000 до 1300.				

При сварочномъ желѣзѣ коэффиціенты уменьшаются на 10%;

б) для частей, подвергающихся сжатію, принимаются вышеуказанные коэффиціенты съ примѣненіемъ формулы Эйлера съ пятернымъ запасомъ прочности.

Б. Въ фермахъ со сплошной стѣнкой.

α) въ главныхъ фермахъ:

изъ литого желѣза . . . . . 750 кил. на кв. сант.
» сварочнаго желѣза . . . . . 700 » » » »

β) въ поперечныхъ и продольныхъ балкахъ:

Если рельсовый путь уложенъ на балластномъ слоѣ, то допускаются тѣ же коэффиціенты, какъ и для главныхъ фермъ. Если рельсы непосредственно опираются на продольныя балки при помощи шпалъ, то для продольныхъ и поперечныхъ балокъ устанавливаютъ коэффиціенты: 700 $\frac{\text{кил.}}{\text{сант.}}$ для литого желѣза и 650 $\frac{\text{кил.}}{\text{сант.}}$ для сварочнаго желѣза.

Если рельсы прикрѣплены къ продольнымъ балкамъ непосредственно или помощью металлическихъ подушекъ, то допускаемое напряженіе понижается до 650 $\frac{\text{кил.}}{\text{сант.}}$ для литого желѣза и 600 $\frac{\text{кил.}}{\text{сант.}}$ для сварочнаго желѣза. То же касается и поперечныхъ балокъ, если на нихъ непосредственно опираются рельсы.

c) *Нѣкоторыми американскими инженерами* предложено *):

Для поясовъ и раскосовъ (изъ звеньевъ):

$$300\left(1 + \frac{1}{2}\cdot\frac{min.\ S}{max.\ S}\right) \text{ пуд. на кв. дюймъ.}$$

Для поясовъ и раскосовъ—склепанныхъ:

$$275\left(1 + \frac{1}{2}\cdot\frac{min.\ S}{max.\ S}\right) \text{ пуд. на кв. дюймъ (netto).}$$

Для длинныхъ подвѣсокъ изъ цѣльнаго прокатнаго металла .	250	пуд.	на	кв.	дюймъ.
Для такихъ же подвѣсокъ—склепанныхъ	225	»	»	»	»
Для подвѣсокъ короткихъ (цѣльныхъ)	225	»	»	»	»
Для подвѣсокъ короткихъ (склепанныхъ)	200	»	»	»	»
Для подвѣсокъ въ проѣзжей части	175	»	»	»	»
Для частей проѣзжей части при длинѣ свыше 20 ф. . . .	250	»	»	»	»
Для частей проѣзжей части при длинѣ менѣе 20 ф. . . .	225	»	»	»	»

Для сжатыхъ частей напряженія уменьшаются по одной изъ общепринятыхъ формулъ продольнаго изгиба.

Сталь. У насъ сталь не употребляется для мостовыхъ фермъ; она находитъ примѣненіе лишь въ опорныхъ подушкахъ съ напряженіемъ на изгибъ въ: R=250—300 пуд.; въ опорныхъ каткахъ съ напряженіемъ на сжатіе въ 12 пуд. на квадратный дюймъ діаметральнаго сѣченія цилиндрическаго катка и въ осевыхъ шарнирахъ опорныхъ подушекъ съ напряженіемъ 100 пуд. на квадратный дюймъ діаметральнаго сѣченія шарнира.

Нѣкоторые американскіе инженеры полагаютъ, что въ мостовыхъ сооруженіяхъ коэффиціентъ напряженія стали можетъ быть допущенъ въ 1,50 раза болѣе, чѣмъ для желѣза. Для вытягиваемыхъ частей они совѣтуютъ употреблять исключительно мягкое желѣзо, а для сжимаемыхъ частей—сталь взамѣнъ чугуна.

Въ стальномъ мосту, построенномъ черезъ Гота-Эльфъ въ Швеціи, напряженіе допущено въ 550 пудовъ на кв. дюймъ.

Приведемъ нѣкоторыя данныя о допущенныхъ напряженіяхъ въ построенныхъ въ послѣднее время мостахъ изъ стали. Судя однако по величинѣ допущеннаго напряженія, во всѣхъ нижеприведенныхъ примѣрахъ,—за исключеніемъ Бруклинскаго и Буданештскаго мостовъ,—вѣроятно примѣнено литое желѣзо, а не сталь.

a) *Мостъ чрезъ р. Миссури* близъ Sibley.

Для пролета въ l = 400 фут.

На *вытягиваніе*.

Въ поясахъ и раскосахъ: $300\left(1 + \frac{1}{2}\frac{min.\ S}{max.\ S}\right)$ но не болѣе .	350	пуд.	на	кв.	дм.
Въ обратныхъ раскосахъ	200	»	»	»	»
Въ подвѣскахъ (проѣзжей части)	250	»	»	»	»
Въ связяхъ	450	»	»	»	»

*) Waddel. American Society of Civil Engineers. 1892 г.

Въ поясахъ отъ дѣйствія вѣтра . . . . . $375\left(1 + \frac{1}{2} \cdot \frac{min.\ S}{max.\ S}\right)$.

Въ составныхъ склепанныхъ частяхъ менѣе, чѣмъ въ цѣльныхъ (одиночныхъ) прокатныхъ, на $\frac{1}{7}$.

Въ поясахъ балокъ проѣзжей части . . . . . 200 пуд. на кв. дм.

На *сжатіе*:

Для стоекъ и поясовъ примѣняется формула:

$$b = \frac{c}{1 + \frac{l^2}{\alpha \cdot r^2}},$$

гдѣ b—допускаемое напряженіе въ пудахъ на квадратный дюймъ, l—длина въ дюймахъ, r—радіусъ инерціи;

$\alpha = 40000$—въ случаѣ обоихъ задѣланныхъ концовъ;
$= 30000$—въ случаѣ одного задѣланнаго, а другого вращающагося конца:
$= 20000$—въ случаѣ обоихъ вращающихся концовъ;

$c = 250\left(1 + \frac{1}{2}\frac{min.\ S}{max.\ S}\right)$—для опорныхъ стоекъ и для поясовъ (сталь);
$= 200$—для промежуточныхъ стоекъ (желѣзо);
$= 150$—для поясовъ балокъ проѣзжей части.

На *срѣзываніе*:

Въ стѣнкѣ балокъ проѣзжей части . . . . . 100 пуд. на кв. дм.
Въ закленкахъ и болтахъ . . . . . 175 » » » »

(Въ проѣзжей части сѣченіе заклепокъ должно быть увеличено на 25%).

На *смятіе*:

Въ закленкахъ . . . . . 300 пуд. на кв. дм.
Въ болтахъ: для желѣза . . . . . 375 » » » »
для стали . . . . . 500 » » » »
Давленіе на кладку . . . . . 6,25 » » » »

Давленіе на катки опорныхъ подушекъ въ фунтахъ: $\sqrt{540000 \cdot d}$, гдѣ d—діаметръ въ дюймахъ.

Для пролетовъ менѣе 400′:

На *вытягиваніе*:

Въ поясахъ и раскосахъ . . . . . 300 пуд. на кв. дм.
Въ обратныхъ раскосахъ . . . . . 200 » » » »

На *ежатіе* въ стойкахъ и въ верхнемъ поясѣ—по формулѣ:

$$b = \frac{c}{1 + \frac{l^2}{\alpha \cdot r^2}},$$

гдѣ $c = 200$ пуд. на кв. дм.

b) *Мостъ черезъ р. Огіо* (Kentucky and Indiana Bridge). Наибольшій пролетъ 480′.

Допускаемое напряженіе на *сжатіе* и *вытягиваніе* опредѣляется по формулѣ:

$$R' = R\left(1 + \frac{1}{2} \cdot max.\ S\right),$$

гдѣ R на *вытягиваніе*: для желѣза . . . . . 225 пуд.
для стали . . . . . 350 »

на *ежатіе*: въ прокати. желѣзѣ . . . . . 190 »
» » стали . . . . . 325 »

Для сжатыхъ частей примѣняется формула:

$$b = \frac{c}{1 + \frac{l^2}{\alpha \cdot r^2}},$$

гдѣ: b, l, α и r — имѣютъ вышеназванныя значенія; $c = R'$, опредѣленному изъ предыдущей формулы.

Въ прокатныхъ двутавровыхъ балкахъ *сжатіе* въ *поясахъ* не должно превосходить:

$$\frac{250}{1 + \frac{l^2}{5000\, b^2}} \text{ пуд. на кв. дюймъ,}$$

а въ склепанныхъ двутавровыхъ балкахъ не болѣе:

$$\frac{200}{1 + \frac{l^2}{5000\,.\,b^2}} \text{ пуд. на кв. дюймъ,}$$

если l—длина въ дюймахъ неподпертой части пояса; b—ширина пояса.

Для *срѣзыванія* въ стѣнкѣ склепанныхъ балокъ:

$$\frac{200}{1 + \frac{d^2}{3000\,.\,b^2}} \text{ пуд. на кв. дюймъ,}$$

гдѣ d—разстояніе между поясами, или уголками жесткости, измѣренное по длинѣ подъ угломъ въ 45°, b—толщина стѣнки въ дюймахъ.

Для *срѣзыванія* въ желѣзныхъ болтахъ (шарнирахъ) . . . . 175 пуд.
а въ стальныхъ болтахъ . . . . . 250 »

Для *напряженія* при изгибѣ болтовъ (шарниров):
для желѣза . . . . . 375 пуд.
для стали . . . . . 500 »

Для *смятія* въ заклепкахъ:
для желѣза . . . . . 300 пуд.
для стали . . . . . 450 »

c) *Фортскій мостъ* (The Forth Bridge).

Наибольшія допущенныя напряженія *).

	Постоянная нагрузка.		Временная нагрузка.		Вѣтеръ.		Всего.	
	Наибольшія усилія въ тоннахъ.	Напряженія на кв. дюймъ въ тоннахъ.	Наибольшія усилія въ тоннахъ.	Напряженія на кв. дюймъ въ тоннахъ.	Наибольшія усилія въ тоннахъ.	Напряженія на кв. дюймъ въ тоннахъ.	Наибольшія усилія въ тоннахъ.	Напряженія на кв. дюймъ въ тоннахъ.
Нижній поясъ	2282	2,8	1022	1,2	2920	3,5	6224	7,5
Верхній поясъ	2253	4,4	997	2,0	544	1,1	3794	7,5
Стойки	1550	3,3	705	1,5	1024	2,2	3279	7,0
Сжатые раскосы	802	4,1	167	0,8	414	2,1	1383	7,0
Вытянутые раскосы	754	4,6	186	1,2	194	1,2	1134	7,0
Горизонтальныя связи	80	0,9	6	0,1	265	3,0	350	4,0
Вертикальныя связи	42	0,5	169	2,0	108	1,3	319	3,8
Верхній поясъ свободнаго пролета.	337	2,4	303	2,2	182	1,4	822	6,0
Нижній „ „ „ .	330	2,3	301	2,1	247	1,8	878	6,2

*) Backer. The Forth Bridge. 1884 г.

При расчетѣ площадь сѣченія опредѣлялась изъ того условія, чтобы при коэффиціентѣ запаса напряженіе не превосходило:

а) $\frac{30}{3}$ тоннъ на квадратный дюймъ отъ дѣйствія постоянной нагрузки;

б) $\frac{20}{3}$ тоннъ на квадратный дюймъ отъ дѣйствія подвижной нагрузки, измѣняющейся отъ 0 до наибольшаго значенія, если измѣненіе напряженія повторялось часто, и $\frac{22{,}5}{3}$ тоннъ на кв. дюймъ, при рѣдкомъ измѣненіи напряженія (напримѣръ, при дѣйствіи урагана);

в) $\frac{10}{3}$ тоннъ на кв. дюймъ отъ дѣйствія подвижной нагрузки, вызывающей напряженіе *перемѣннаго* знака, при часто-повторяющемся измѣненіи и $\frac{15}{3}$ тоннъ на кв. дюймъ при рѣдкихъ измѣненіяхъ.

d) Въ *Бруклинскомъ* мосту *) (среднiй пролетъ въ 1600 ф. и два полупролета по 940 ф.; ширина полотна: 84 ф.; четыре кабеля) каждый канатъ, діаметромъ 16 дюйм., составленъ изъ закаленной гальванизированной стальной проволоки № 6 **), обладающей временнымъ сопротивленіемъ въ 4000 пудовъ на квадратный дюймъ.

По даннымъ Roebling'a ***), полный вѣсъ главнаго пролета: 6740 тоннъ, подвижная нагрузка: 1380 тоннъ (что отвѣчаетъ 0,7 пуда на квадр. футъ полотна). Слѣдовательно, полная нагрузка: 8120 тоннъ $=$ 495320 пуд., или на кабель $\frac{495320}{4} = 123830$ пуд. Такъ какъ стрѣла провѣса: $f = 128$ ф., пролетъ: $l = 1600$ ф., полная нагрузка: $P = 123830$ пуд., то наибольшее усиліе близъ вершины опоры:

$$\tau = \frac{P}{2}\sqrt{\left(\frac{l}{4f}\right)^2 + 1} = \frac{123830}{2}\sqrt{\left(\frac{1600}{4 \times 128}\right)^2 + 1} = 203081 \text{ пуд.},$$

а напряженіе, считая по Roebling'у площадь сѣченія (netto) каждаго кабеля въ 144,834 кв. дюйма:

$$R = \frac{203081}{144834} = 1400 \text{ пуд. на кв. д.},$$

т. е. съ коэффиціентомъ запаса: $\frac{4000}{1400} = 2{,}86$.

Если бы посчитать подвижную нагрузку, какъ обыкновенно у насъ считаютъ, въ 2,50 пуд. на кв. футъ, то при чистой ширинѣ проѣзда въ 78′,5 (вмѣсто полной ширины 84′), получили бы величину подвижной нагрузки въ $1600 \times 78\,5 \times 2{,}5 = 314000$ пуд. Слѣдовательно, полный собственный вѣсъ пролета: 6740 тоннъ $\times 61 = 411140$ пуд., а съ нагрузкой: $411140 + 314000 = 728140$ пуд., или на кабель: 182035 пуд., и, слѣдовательно, напряженіе на квадратную единицу:

$$R = 1400 \times \frac{182035}{123830} = 2058 \text{ пуд. на кв. дюймъ},$$

т. е. коэффиціентъ запаса всего:

$$\frac{4000}{2058} = 1{,}92.$$

e) При проектированіи въ недавнее время *стального проволочнаго висячаго моста чрезъ р. Дунай въ Буда-Пештѣ* допущено напряженіе въ: $R = 32{,}5\ \frac{\text{кгр.}}{\text{м.м.}^2}$ [1]) или въ $1300\ \frac{\text{пуд.}}{\text{на кв. дм.}}$, при временномъ сопротивленіи въ: $R = 140\ \frac{\text{кгр.}}{\text{м.м.}^2}$, или 5600 пудовъ на квадратный дюймъ, съ предѣломъ упругости въ $2800\ \frac{\text{пуд.}}{\text{д.м.}^2}$.

---

*) См. относящіяся къ этому мосту данныя, помѣщенныя въ четвертой графѣ таблицы на стр. 352—353. На строчкахъ 2-ой и 3-ей снизу страницы 352 въ первой графѣ слѣдуетъ прибавить: „во всѣхъ канатахъ, вмѣстѣ взятыхъ“.

**) Въ 1 фунтѣ заключается 12 футъ проволоки № 7, 15 футъ проволоки № 8, или 17 футъ проволоки № 9.

***) Acts of the State of New York in relation to the Brooklyn-Bridge. 1868—1884 г.

[1]) Zeitschrift des Verein's deutscher Ingenieure. 1894 г.

f) Приведемъ еще нѣкоторыя данныя относительно стальныхъ проволочныхъ канатовъ (Felten et Guillaume въ Мюльгеймѣ на Рейнѣ), обозначая: δ—діаметръ проволоки въ м.м., n—число проволокъ въ канатѣ, d—діаметръ каната, p—вѣсъ каната въ килограммахъ на 1 погонный метръ, R_0— временное сопротивленіе разрыву въ $\frac{\text{кил.}}{\text{см}^2}$.

δ	n	d	p	R_0	δ	n	d	p	R_0
0,5	96	9	18	2300	1,2	42	11	45	5710
—	144	11	27	3460	—	84	16	91	11425
—	250	13	39	5040	—	168	29	175	22840
—	252	14	48	6050	—	252	35	262	34270
0,6	96	10	25	3260	1,3	42	12	52	6720
—	144	13	39	4900	—	72	16	91	11520
—	210	16	58	7140	—	96	19	122	15360
—	252	17,5	68	8570	—	114	20	145	18240
0,7	96	13	34	4410	1,4	42	13	62	7770
0,7	144	16	53	6625	—	72	17	106	13320
0,7	210	18	77	9660	—	96	21	141	17760
0,7	252	20	93	11590	—	114	22	168	21090
0,8	96	14	44	5760	—	—	—	—	—
—	144	17,5	69	8640	—	—	—	—	—
—	210	20,5	101	12600	—	—	—	—	—
—	252	22	121	15120	—	—	—	—	—
0,9	96	16	56	7390	1,5	42	14	71	8900
—	144	19	87	11090	—	72	19	122	15265
—	210	23	128	16170	—	96	22	162	20350
—	252	25	153	19400	—	114	23	192	24170
1,0	42	9	32	3990	1,6	42	15	81	10120
—	84	13	63	7980	—	72	20	138	17350
—	168	24	126	15960	—	96	24	184	23140
—	252	28	189	23940	—	114	25	219	27475
1,1	42	10	38	4790	—	—	—	—	—
—	72	13	65	8210	—	—	—	—	—
—	96	16	87	10945	—	—	—	—	—
—	114	17	103	13000	—	—	—	—	—

Чугунъ. Коэффиціентъ напряженія изгибу въ опорныхъ балансирахъ допускается въ 85 пуд. на квадратный дюймъ.

Сопротивленіе раздробленію чугуна въ опорныхъ подушкахъ (доскахъ) — 250—300 пуд. на кв. дюймъ; сопротивленіе раздробленію въ цилиндрическихъ или срѣзанныхъ каткахъ: 8—12 пуд. на кв. дюймъ, при чемъ за сопротивляющуюся площадь принимается діаметральное сѣченіе по оси катка *); сопротивленіе срѣзыванію въ каткахъ принимается отъ 6 до 10 пуд. на кв. дюймъ по вертикаль-

*) Хотя изъ опытовъ извѣстно, что полное сопротивленіе раздробленію кругового цилиндра, лежащаго на пропзводящей, составляетъ только одну треть сопротивленія, соотвѣтствующаго его наибольшей площади сѣченія по діаметру, что, казалось бы, позволяетъ допустить на катки напряженіе 60—100 пуд.; но наблюденія показали, что катки, принимая и передавая давленіе почти по одной пропзводящей, измѣняютъ свою форму, что значительно увеличиваетъ треніе. На этомъ основаніи, согласно существующимъ сооруженіямъ, допускается лишь 8—14 пуд. на квадратный дюймъ.

ному сѣченію катка; сопротивленіе раздробленію въ осевомъ шарнирѣ опорныхъ подушекъ—65 пуд. на квадратный дюймъ.

Въ длинныхъ стойкахъ коэффиціенты раздробленія (250—300 пуд.) должны быть уменьшены въ зависимости отъ отношенія длины къ радіусу инерціи.

Въ арочныхъ фермахъ наибольшее допускаемое напряженіе матеріала въ аркѣ: 180 пуд. на квадратный дюймъ.

Въ заключеніе приведемъ данныя Resal'я относительно допускаемыхъ напряженій.

По Resal'ю *) коэффиціенты допускаемыхъ напряженій и значенія другихъ коэффиціентовъ, характеризующихъ механическія свойства желѣза, стали, чугуна и дерева, представляются въ слѣдующихъ величинахъ (см. табл. стр. 469), выраженныхъ въ килограм. на квадр. миллиметръ. Числа, напечатанныя *курсивомъ*, относятся къ матеріаламъ, обыкновенно употребляемымъ, средняго качества, а остальныя два числа той же группы выражаютъ высшій и низшій предѣлы.

Формулы Launhardt'а и Weyrauch'а. Въ послѣднее время поднятъ былъ вопросъ объ измѣненіи существующихъ пріемовъ опредѣленія поперечнаго сѣченія различныхъ частей мостовой фермы въ томъ смыслѣ, чтобы приняты были различные коэффиціенты напряженія для частей, подверженныхъ дѣйствію постоянной и подвижной нагрузки.

Опыты Вёлера надъ сопротивленіемъ разрыву, изгибу и срѣзыванію брусковъ, подверженныхъ прерывному дѣйствію даннаго внѣшняго усилія, обнаружили слѣдующій законъ.

Разрушеніе матеріала наступаетъ не только при непрерывномъ дѣйствіи неподвижнаго груза, вызывающаго напряженіе выше временнаго сопротивленія, но и при прерывномъ (повторяющемся) дѣйствіи меньшаго груза, вызывающаго напряженіе далеко ниже временнаго сопротивленія. Съ увеличеніемъ разности напряженій, проявляющихся въ брусѣ при прерывномъ дѣйствіи какого либо груза, уменьшается величина того напряженія, при которомъ происходитъ уже разрушеніе матеріала.

На основаніи этого закона Launhardt'омъ, Weyrauch'омъ, Gerber'омъ, Müller'омъ, Schäffer'омъ и Winkler'омъ предложены формулы для опредѣленія коэффиціента допускаемаго напряженія для различныхъ частей мостовыхъ фермъ.

Здѣсь будутъ изложены только двѣ первыя формулы. Первая относится къ опредѣленію размѣра частей, подвергающихся *перемѣнному дѣйствію растяженія или сжатія*, а вторая имѣетъ въ виду части сооруженія, подвергающіяся *перемѣнному дѣйствію растяженія и сжатія.*

Формулы Launhardt'а. Пусть: t **)—напряженіе на квадратную единицу, при которомъ матеріалъ разрушается при постоянно и спокойно-дѣйствующемъ непрерывномъ внѣшнемъ усиліи (*временное сопротивленіе*—Tragfestigkeit); u—напряженіе, при которомъ матеріалъ разрушается при безкопечное число разъ повторенномъ прерывномъ дѣйствіи внѣшняго усилія, вызывающаго напряженія между O и u, при чемъ по прекращеніи дѣйствія внѣшняго усилія, остающееся напряженіе O. Это напряженіе и названо Launhardt'омъ *начальнымъ сопротивленіемъ* (Ursprungsfestigkeit), или, какъ обыкновенно называютъ, первоначальнымъ предѣломъ упругости для одноименныхъ напряженій; пусть далѣе a — напряженіе, при которомъ матеріалъ разрушается при прерывномъ повторенномъ

*) Resal. Ponts metalliques.

**) Weyrauch. Festigkeit und Dimensionsberechnung.

Названіе матеріала.		Вѣсъ куб. метра въ килограм.	Коэффиціентъ упругости въ кил. на кв. м.			Предѣлъ упругости въ кил. на кв. миллим.			Временное сопротивленіе въ килогр. на квадр. миллиметръ.			Допускаемое напряженіе въ кил. на квадр. миллиметръ.		
			На вытягиваніе *E*.	На сжатіе *E*.	На скручиваніе *G*.	На вытягиваніе.	На сжатіе.	На скручиваніе.	На вытягиваніе.	На сжатіе.	На скручиваніе.	На вытягиваніе.	На сжатіе.	На скручиваніе.
Желѣзо.	Проволока. . . .	—	—	—	66×10^8	—	—	—	90;*60*;50	—	—	15;*10*;*8*;6	—	—
	Сортовое желѣзо .	7800	180 / *200* / 220 $\times10^8$	180 / *200* / 220 $\times10^8$	66×10^8	20;*15*;12	20;*15*;12	*14*	60;*40*;25	50;*30*;25	*30*	10;*6*,*7*;5	8;*6*;5	*5*
	Листы	—	—	—	—	—	—	—	40;33;30	50;*30*;25	—	7;*6*;5	8;*6*;5	—
Сталь.	Проволока.	—	270×10^8	—	10×10^9	53	—	—	112	—	—	18	—	—
	Сортовая сталь . .	7800	— / 225×10^8	— / 225×10^9	— / 7×10^9	40;*25*;18	30;*20*;17	*17*	100;*60*;36	70;*45*;35	*50*	16;*10*;6	11;7,2;6	*6*
	Листы	—	—	—	—	*22*	*20*	*17*	*45*	*40*	—	*7,2*	7,2	—
Чугунъ		7200	60 / *90* / 120 $\times10^8$	90×10^8	22×10^8	7;*6*;5	50;*25*;15	—	15;*12*;9	112;*63*;40	—	4;*3*;2	10;*8*;6	—
Дерево.	Сухой дубъ	800	11×10^8	11×10^8	40×10^7	*2*	*2*	—	9;7;6	*4,5*	*2*	*0,8*;0,6	*0,8*;0,6	*0,2*
	Сухая сосна	530	12×10^8	12×10^8	43×10^7	*2*	*2*	—	9;7;6	*4,5*	*1,4*	0,6;*0,5*	0,6;*0,5*	*0,14*

дѣйствіи внѣшняго усилія, при условіи, что, по прекращеніи дѣйствія этого прерывнаго усилія, остающееся напряженіе $= c$. Это напряженіе a названо *рабочимъ сопротивленіемъ* (Arbeitsfestigkeit). Примѣромъ послѣдняго случая можетъ служить мостовая ферма, подвергающаяся дѣйствію собственнаго вѣса и подвижного груза; по удаленіи подвижного груза, остается напряженіе, зависящее отъ собственнаго вѣса.

Такимъ образомъ:

Напряженіе, соотвѣтствующее разрушенію во время дѣйствія усилія.		*Напряженіе по окончаніи дѣйствія усилія.*	*Разность d.*
1-й случай	t	t (такъ какъ усиліе дѣйствуетъ постоянно, то напряженіе постоянно $= t$.)	O . . . . . (а);
2-й случай	u	O	u . . . . . (б);
3-й случай	a	c	$a - c$ . . . . . (в).

Въ первомъ случаѣ при постоянно-дѣйствующемъ усиліи разность напряженія: $d = t - t = O$; во второмъ: $d = u - O = u$, а въ третьемъ: $d = a - c$, откуда:

$$a = c + d \quad . \quad . \quad .

и слѣдовательно:
$$a = u\left(1 + \frac{t-u}{u} \cdot \frac{Min.\ B}{Max.\ B}\right) \quad \ldots\ldots\ldots (115)$$

Формула эта примѣнима для частей сооруженія, подвергающихся одному только растяженію, или сжатію.

Чтобы повѣрить справедливость коэффиціента: $\alpha = \frac{t-u}{t-a}$, для всякихъ значеній d, рѣшаемъ уравненіе (114) по a, откуда:
$$a = \frac{u}{2} + \sqrt{\left(\frac{u}{2}\right)^2 + c\ (t-u)} \quad \ldots\ldots\ldots (116)$$

Для рессорной стали, приготовленной заводомъ Крупна, Вёлеръ нашелъ, что: $t=1100$ центнеровъ на квадратный дюймъ; $u=500$ центнеровъ. Слѣдовательно, для этого матеріала по формулѣ (116):
$$a = 250 + \sqrt{62500 + 600\ .\ c.}$$

Въ слѣдующей таблицѣ помѣщены значенія a, вычисленныя по предыдущей формулѣ и опредѣленныя непосредственнымъ опытомъ:

Для $c=$	0	250	400	600	1100
a — по опытамъ	500	700	800	900	1100
a — по формулѣ	500	711	800	900	1100

Слѣдовательно, формула и коэффиціенты Launhardt'a справедливы, повидимому, для всякаго значенія c.

Переходимъ теперь къ формулѣ *Weyrauch*'а, которая составляетъ видоизмѣненіе формулы Launhardt'a для тѣхъ частей сооруженія, которыя подвергаются одновременно и вытягивающему и сжимающему напряженіямъ.

Пусть s—напряженіе, при которомъ матеріалъ разрушается при прерывномъ дѣйствіи внѣшняго усилія, при чемъ напряженія измѣняются отъ $-a$ до $+a$ и въ этомъ случаѣ s по своему численному значенію равно a. Это напряженіе s названо Weyrauch'омъ *сопротивленіемъ* при перемѣнномъ дѣйствіи, или *предѣломъ упругости* для разноименныхъ напряженій (Schwingungsfestigkeit). По Вейрауху: $s = \frac{u}{2}$. Если одно изъ напряженій $(-a)$ или $(+a)$ равно нулю, тогда очевидно, s переходитъ въ u.

Въ предыдущемъ случаѣ разность напряженій:
$$d = 2a.$$

Если вообще часть сооруженія подвергается вытягивающему и сжимающему напряженіямъ, при чемъ наибольшее изъ двухъ напряженій : a, а наименьшее : a', то, такъ какъ оба напряженія противоположныхъ знаковъ, разность напряженій:
$$d = a + a'.$$

Такимъ образомъ имѣемъ три случая:

1-й случай; $a = a'$; $s = a = a'$; $d = 2a$ . . . . . (е)

2-й случай: $a > a'$; $s = a$; $d = a + a'$ . . . . . (ж)

3-й случай: $a' = o$; $s = a = u$; $d = a$ . . . . . (з)

Случай, когда $a = O$, очевидно, тождественъ третьему случаю.

И здѣсь по закону Вёлера a, т. е. частное значеніе s, тѣмъ меньше, чѣмъ больше d. Слѣдовательно, и здѣсь можно положить:

$$a = \alpha \,.\, d \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \text{(н)}$$

Для опредѣленія вида коэффиціента α найдемъ его предѣльныя значенія. Очевидно, что предѣльныя значенія α будутъ при предѣльномъ значеніи a', какъ меньшемъ изъ двухъ напряженій. Эти предѣлы, очевидно, $a' = O$ и $a' = a$; по при этомъ, на основаніи (з) и (е): $d = a$ и $d = 2a$. Слѣдовательно, когда $a' = o$, то $d = a$, а это требуетъ, чтобы: $\alpha = 1$; когда $a' = a$, то $d = 2a$, т. е. необходимо, чтобы: $\alpha = \frac{1}{2}$. Этому условію удовлетворяетъ: $\alpha = \frac{u - s}{2u - s - a}$, и тогда:

$$a = \alpha d = \frac{u - s}{2u - s - a} \,.\, d = \frac{u - s}{2u - s - a}\,(a + a') \quad \ldots\ldots \text{(i)}$$

откуда:

$$a = u\left(1 - \frac{u - s}{u} \cdot \frac{a'}{a}\right) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \text{(117)}$$

Если *Maxĭmum B* наибольшее напряженіе независимо отъ знака, а *Maxĭmum B'* наибольшее напряженіе знака противоположнаго предыдущему, при чемъ:

$$Max.\ B' < Max.\ B, \text{ то: } \frac{a'}{a} = \frac{Max.\ B'}{Max.\ B}.$$

Слѣдовательно:

$$a = u\left(1 - \frac{u - s}{u} \cdot \frac{Max.\ B'}{Max.\ B}\right) \quad \ldots\ldots\ldots \text{(118)}$$

Здѣсь a также можетъ быть названо рабочимъ сопротивленіемъ. Такимъ образомъ, *формула (115) относится къ опредѣленію рабочаго сопротивленія въ томъ случаѣ, если элементъ сооруженія подвергается одному растяженію или сжатію, а формула (118) имѣетъ въ виду элементы сооруженія, подвергающіеся одновременно сжимающему и растягивающему напряженіямъ.*

Называя чрезъ φ въ формулѣ (115) отношеніе $\frac{Min.\ B}{Max.\ B'}$, а въ формулѣ (118) отношеніе $\frac{Max.\ B'}{Max.\ B}$, получимъ:

$$a = u\left(1 + \frac{t - u}{u} \,.\, \varphi\right) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \text{(115')}$$

$$a = u\left(1 - \frac{u - s}{u} \,.\, \varphi\right) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \text{(118')}$$

Относительно численныхъ значеній величинъ: u, t, s опыты Вёлера даютъ такія данныя:

Для *желѣза:*

$$\frac{t - u}{u} = \frac{32{,}90 - 21{,}95}{21{,}95} = \frac{1}{2}$$

(въ килограммахъ на квадратный миллиметръ).

Слѣдовательно, замѣняя 21,95 чрезъ 21,00 килограммъ, получимъ:

$$a = 21{,}00\left(1 + \frac{1}{2} \cdot \frac{Min.\ B}{Max.\ B}\right).$$

Полагая коэффиціентъ прочнаго сопротивленія въ $\frac{1}{3}$ отъ начальнаго сопротивленія, найдемъ для допускаемаго напряженія на квадратный миллиметръ:

$$R = 7{,}00\left(1 + \frac{1}{2} \cdot \frac{Min.\ B}{Max.\ B}\right) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (119)$$

Подобнымъ образомъ найдемъ, что:

$$\frac{a - s}{a} = \frac{21{,}90 - 11{,}70}{21{,}90} = \frac{7}{15}, \text{ или } \frac{1}{2}, \text{ тогда:}$$

$$a = 21.00\left(1 - \frac{1}{2} \cdot \frac{Max.\ B'}{Max.\ B}\right)$$

$$R = 7{,}00\left(1 - \frac{1}{2} \cdot \frac{Max.\ B'}{Max.\ B}\right) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (120)$$

Изъ этихъ формулъ выводимъ, какъ слѣдствіе:

Если часть сооруженія подвергается постоянно дѣйствующему усилію (напримѣръ, стропила), тогда: $Max.\ B = Min.\ B$.

Допускаемое напряженіе: $R = 7{,}00 \times \frac{3}{2} = 10{,}50$ кил.

Если часть сооруженія подвергается только вытягиванію или сжатію, при чемъ по прекращеніи дѣйствія напряженіе $= 0$, тогда: $Min.\ B = 0$, $R = 7{,}00$.

Для поясовъ мостовыхъ фермъ, если p постоянная равномѣрно-распредѣленная нагрузка, $p + k = q$ полная нагрузка съ подвижнымъ грузомъ, то: $Min.\ B$: $Max.\ B = p : q$. Слѣдовательно:

$$R = 7{,}00\left(1 + \frac{1}{2} \cdot \frac{p}{q}\right).$$

Если часть сооруженія подвергается сжимающему и вытягивающему напряженіямъ, при чемъ оба напряженія одинаковы, тогда:

$$Max.\ B' = Max.\ B;\ R = 7{,}00\left(1 - \frac{1}{2}\right) = 3{,}50 \text{ кил.}$$

Изъ этихъ примѣровъ видно, какіе различные коэффиціенты напряженія слѣдуетъ допустить для различныхъ частей мостовыхъ фермъ.

Для *стали* получается подобнымъ же образомъ:

$$R = 11{,}00\left(1 + \frac{9}{11} \cdot \frac{Min.\ B}{Max.\ B}\right)$$

$$R = 11\left(1 - \frac{5}{11} \cdot \frac{Max.\ B'}{Max.\ B}\right)$$

Для стальныхъ мостовъ Weyrauch предлагаетъ, впрочемъ, еще болѣе уменьшить коэффиціентъ, назначивъ:

$$R = 10\left(1 + \frac{3}{4} \cdot \frac{Min.\ B}{Max.\ B}\right) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (121)$$

$$R = 10\left(1 - \frac{1}{2} \cdot \frac{Max.\ B'}{Max.\ B}\right) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (122)$$

Какъ численный примѣръ, возьмемъ слѣдующую полуферму въ четыре панели, въ которой: $p = 1000$ килограммовъ; $q = 6000$ килограммовъ.

У С И Л І Я.				
№	Верхній поясъ.	Нижній поясъ.	Раскосы.	Стойки.
I	— 21000	—	+ 1950 + 29700	— 4000 — 24000
II	— 36000	+ 21000	+ 2650 + 22100	— 3500 — 21000
III	— 45000	+ 36000	— 530 + 15400	— 1875 — 15625
IV	— 48000	+ 45000	— 4600 + 9550	+ 375 — 10875
V	—	—	—	+ 3250 — 6750

Слѣдовательно, допускаемый коэффиціентъ напряженія для всѣхъ поясовъ опредѣлится по формулѣ (119):

$$R = 7{,}00\left(1 + \frac{1}{2} \times \frac{1}{6}\right) = 7{,}58 \text{ килограм.}$$

Для стойки I по (119):

$$R = 7{,}00\left(1 + \frac{1}{2} \cdot \frac{4000}{24000}\right) = 7{,}58 \text{ кил.}$$

Для раскоса II по (119):

$$R = 7{,}00\left(1 + \frac{1}{2} \cdot \frac{2650}{22100}\right) = 7{,}42 \text{ кил. и т. д.}$$

Для раскоса IV по (120):

$$R = 7{,}00\left(1 - \frac{1}{2} \cdot \frac{4600}{9550}\right) = 5{,}31 \text{ кил. и т. д.}$$

Для опредѣленія площади поперечнаго сѣченія нужно взять наибольшее $Max.\ B$ и раздѣлить на найденное R.

Въ разрѣзныхъ фермахъ при опредѣленіи коэффиціента напряженія для поясовъ приходится пользоваться формулами (119), или (120), смотря по тому, въ какой части пролета разсматриваемъ сѣченіе. Тѣ же формулы примѣняются и для опредѣленія коэффиціента напряженія при срѣзываніи, стоитъ лишь взять $\frac{4}{5}$ отъ исчисленной величины, въ виду того, что u, t и s — для срѣзыванія составляетъ $\frac{4}{5}$ отъ соотвѣтственныхъ значеній при непосредственномъ вытягиваніи. Слѣдовательно: для *желѣза*:

$$R' = 5{,}60\left(1 + \frac{1}{2} \cdot \frac{Min.\ B}{Max.\ B}\right) \quad \ldots\ldots\ldots (119')$$

и

$$R' = 5{,}60\left(1 - \frac{1}{2} \cdot \frac{Max.\ B'}{Max.\ B}\right) \quad \ldots\ldots\ldots (120')$$

для *стали*:

$$R_1' = 8{,}00\left(1 + \frac{3}{4} \cdot \frac{Min.\ B}{Max.\ B}\right) \quad \ldots\ldots\ldots (121')$$

и

$$R_1' = 8{,}00\left(1 - \frac{1}{2} \cdot \frac{Max.\ B'}{Max.\ B}\right) \quad \ldots\ldots\ldots (122')$$

Эти формулы относятся, какъ къ срѣзыванію заклепокъ, такъ и листовъ. Такъ напримѣръ, при опредѣленіи толщины вертикальной стѣнки сплошной балки коэффиціентъ R' опредѣлится для концевыхъ сѣченій балки по формуламъ (119'), а для среднихъ сѣченій балки—по формуламъ (120').

Въ недавнее время *) Weyrauch предложилъ вводить вліяніе ударовъ подвижного груза. Онъ оцѣниваетъ это вліяніе въ 1,25 раза для желѣзнодорожныхъ мостовъ и въ 1,20 раза для мостовъ подъ обыкновенную дорогу.

Такъ напримѣръ, если какая либо часть пояса фермы напряжена усиліемъ 10000 килограммовъ отъ собственнаго вѣса и 20000 кил. отъ подвижного груза, то общее усиліе:

$$Max.\ B = 10000 + \frac{5}{4} . 20000 = 35000.$$

Слѣдовательно:

$$R = 7{,}00\left(1 + \frac{1}{2} \times \frac{10000}{35000}\right) = 7{,}00 \times \frac{8}{7} = 8 \text{ килогр.};$$

$$\omega = \frac{35000}{8}.$$

Если бы усиліе отъ собственнаго вѣса было 10000 килограммовъ, а отъ подвижного: + 30000 и — 30000, то въ первомъ случаѣ:

$$B_1 = 10000 + \frac{5}{4} . 30000 = 47500,$$

во второмъ:

$$B_1 = 10000 - \frac{5}{4} . 30000 = 27500.$$

Слѣдовательно:

$$R = 7{,}00\left(1 - \frac{1}{2} . \frac{27500}{47500}\right) = 7{,}00\ (1 - 0{,}29) = 4{,}97 \text{ кил. и т. д.}$$

Для начальнаго коэффиціента вмѣсто 7 килограм. Weyrauch предлагаетъ брать для желѣза 6,4 килогр.; тогда для желѣза формулы напишутся слѣдующимъ образомъ:

$$R = 6{,}4\left(1 + \frac{1}{2} . \frac{Min.\ B}{Max.\ B}\right) \text{ килогр. на кв. миллим.},$$

$$R = 6{,}4\left(1 - \frac{1}{2} . \frac{Max.\ B'}{Max.\ B}\right) \quad » \quad » \quad » \quad »$$

Вообще, слѣдовательно, если придерживаться новаго способа расчета, то окажется, что для частей сооруженія, подвергающихся непрерывному дѣйствію внѣшняго усилія, могутъ быть допущены бо́льшіе коэффиціенты напряженія, чѣмъ это теперь допускается, а для частей, подверженныхъ прерывному дѣйствію, коэффиціенты должны быть уменьшены и тѣмъ болѣе, чѣмъ болѣе разность между различными напряженіями, проявляющимися при прерывномъ дѣйствіи усилій.

По такому способу расчитанъ напр. висячій мостъ чрезъ р. Майнъ (построенный Гербером).

Формулы (115) и (119) показываютъ, между прочимъ: а) *что, по мѣрѣ увеличенія пролета, можно допускать большій коэффиціентъ прочнаго сопротивленія* и б) *что, независимо отъ абсолютнаго значенія одноименныхъ усилій, допускаемое напряженіе можетъ быть тѣмъ больше, чѣмъ меньше разность между крайними одноименными усиліями.*

Изъ формулъ же (118) и (120) слѣдуетъ, что *для сжато-вытянутыхъ частей должно допускать значительно меньшій коэффиціентъ прочнаго сопротивленія, и тѣмъ меньше, чѣмъ больс амплитуда колебаній разноименныхъ напряженій.*

*) Zeitschrift des Oester. Ingenieur Vereins. 1878 г.

Выводы эти, основанные на опытахъ Вёлера, оспариваются нѣкоторыми въ виду результатовъ опытовъ Баушингера, повторившаго изслѣдованія Вёлера.

Здѣсь необходимо оговорить, что Баушингеръ повторилъ только ту часть опытовъ, которая относится къ *одноименнымъ* напряженіямъ, оставивъ непровѣренными опыты съ *разноименными* напряженіями.

Баушингеръ устанавливаетъ предварительно положеніе, что такъ называемаго «предѣла упругости» (какъ это обыкновенно полагаютъ) въ дѣйствительности не существуетъ. Опыты и изслѣдованія съ весьма точными приборами показали, что при напряженіяхъ, значительно меньшихъ этого предѣла упругости, по прекращеніи дѣйствія внѣшняго усилія, всегда имѣетъ мѣсто постоянная деформація. Онъ предложилъ поэтому замѣнить терминъ «предѣлъ упругости» терминомъ «*предѣлъ пропорціональности*». При напряженіяхъ за этимъ предѣломъ пропорціональности, проявляющаяся при дѣйствіи внѣшняго усилія деформація (удлиненіе или сжатіе) увеличивается въ болѣе быстрой степени сравнительно съ увеличеніемъ самыхъ усилій, и это будетъ продолжаться до тѣхъ поръ, пока не будетъ перейденъ второй предѣлъ, обнаруживающійся впрочемъ недостаточно рѣзко, за которымъ деформація растетъ чрезвычайно быстро. Этотъ второй предѣлъ Баушингеръ называетъ (Streckgrenze) *предѣломъ растяжимости и соотвѣтственно предѣломъ сжимаемости* (Quetschgrenze).

Далѣе Баушингеръ присваиваетъ различныя названія явленіямъ вытягиванія и сжатія, смотря по тому, между какими предѣлами заключается вызванное при этомъ напряженіе матеріала.

Такъ, по предлагаемой терминологіи, брусъ подвергается *вытягиванію* (Dehnung) или *сжатію* (Druck), если вызванное при этомъ напряженіе матеріала заключается между предѣлами *пропорціональности* и предѣлами *растяжимости* или *сжимаемости*. Затѣмъ брусъ подвергается *растяженію* (Strecken), или *сжиманію* (Quetschen), если соотвѣтствующее напряженіе матеріала превосходитъ предѣлы *растяжимости* и *сжимаемости*.

По Баушингеру, путемъ растяженія (Strecken) и сжиманія (Quetschen), или быстрымъ измѣненіемъ температуры, можно значительно измѣнить значеніе предѣловъ: пропорціональности, растяжимости и сжимаемости или сдавливанія.

Для выясненія, насколько продолжительное дѣйствіе внѣшняго усилія вліяетъ на положеніе вышеупомянутыхъ предѣловъ, Баушингеръ повторилъ опыты Вёлера съ *одноименными усиліями* и пришелъ къ слѣдующимъ выводамъ:

1) При послѣдовательно-повторяющихся напряженіяхъ на вытягиваніе или сжатіе и заключающихся между 0 и первоначальнымъ предѣломъ упругости (Ursprüngliche Elasticitätsgrenze)—не замѣчается разрушенія матеріала, еслибы даже эти напряженія повторились отъ 5 до 16 милліоновъ разъ.

2) Если послѣ вышеупомянутыхъ нѣсколькихъ милліоновъ разъ послѣдовательно повторенныхъ напряженій разорвать брусъ спокойно-дѣйствующимъ грузомъ, то обнаруживающееся при этомъ временное сопротивленіе разрыву оказывается *не пониженнымъ*, а скорѣе даже *повышеннымъ*, т. е. другими словами, *рядъ одноименныхъ напряженій повышаетъ временное сопротивленіе.*

3) Нѣсколько милліоновъ разъ повторенныя напряженія не измѣняютъ строенія желѣза и стали.

4) Нѣсколько разъ повторенныя напряженія между пулемъ и величиною немного менѣе, и даже болѣе первоначальнаго предѣла упругости повышаютъ первоначальный предѣлъ упругости. Достигаемое этимъ повышеніе можетъ иногда

превзойти тотъ крайній предѣлъ напряженія, до котораго брусъ былъ доводимъ при повторенныхъ напряженіяхъ. Это повышеніе тѣмъ значительнѣе, чѣмъ большее число повторенныхъ напряженій было сдѣлано. Однако повышеніе первоначальнаго предѣла упругости не можетъ превзойти извѣстнаго предѣла.

5) Послѣдовательно повторенныя (одноименныя) напряженія не могутъ имѣть слѣдствіемъ разрушеніе матеріала, если эти напряженія заключались между нулемъ и такимъ крайнимъ предѣломъ, до котораго можетъ быть повышенъ (вышеупомянутой манипуляціей) первоначальный предѣлъ упругости. Если же крайній предѣлъ повторяющихся напряженій на столько высокъ, что первоначальный предѣлъ упругости не можетъ быть повышенъ до этого предѣла, то разрывъ бруса неминуемо долженъ наступить послѣ нѣсколькихъ повторенныхъ напряженій.

6) Предѣлы s для разноименныхъ, но равныхъ по численному значенію напряженій на вытягиваніе и сжатіе не должны превосходить «*естественнаго предѣла упругости*» (natürliche Elasticitätsgrenze), если матеріалъ долженъ выдержать рядъ неограниченное число разъ повторенныхъ разноименныхъ напряженій.

Это послѣднее положеніе не вытекаетъ непосредственно изъ опытныхъ изслѣдованій, какъ это имѣетъ мѣсто для остальныхъ положеній. Въ данномъ случаѣ Баушингеръ провѣрилъ сначала справедливость формулы Гербера для разноименныхъ напряженій, сравнивая результаты вычисленій по формулѣ Гербера съ опытными данными Вёлера; убѣдившись, что эта формула справедлива, онъ получилъ изъ нея слѣдующее выраженіе для s:

$$s = \frac{\frac{1}{2}\, u}{1 - \left(\frac{1}{2} \cdot \frac{u}{t}\right)^2},$$

при чемъ, для опредѣленія численнаго значенія s, пользовался величинами для u и t, взятыми изъ своихъ собственныхъ изслѣдованій.

Такъ, напримѣръ, для:

	t	u	s
	кил. на квадр. сантимет.		
1) листового сварочнаго желѣза	3480	2000	1090
2) полосового сварочнаго желѣза	4050	2200	1190
3) полосового сварочнаго желѣза	4020	2400	1320
4) листового литого желѣза	4360	2400	1300
5) стали, приготовленной для осей	6120	3000	1600

(Замѣтимъ, что найденныя этимъ путемъ значенія s немногимъ болѣе того, что принимаетъ Вейраухъ, согласно которому: $s = \frac{1}{2} \cdot u$).

По толкованію Leber'a*), названный Баушингеромъ «естественный предѣлъ упругости», по численному своему значенію, есть не что иное, какъ «предѣлъ упругости для разноименныхъ напряженій», что мы обозначимъ буквою s. Это опредѣленіе выясняется по Leber'у слѣдующимъ дальнѣйшимъ положеніями Баушингера.

7) Если брусъ подвергать разноименнымъ постепенно-увеличивающимся напряженіямъ, при чемъ напряженія превосходятъ первоначальный предѣлъ упругости, то такимъ пріемомъ понижается предѣлъ упругости для разноименныхъ напряженій.

8) При нагрузкѣ на вытягиваніе, съ напряженіемъ за предѣлами упругости, соотвѣтственно понижается предѣлъ упругости для сжатія. При такой же на-

*) Leber. Die neue Brückenverordnung des Oest. k. k. Handelsministeriums. Wien. 1888.

грузкѣ на сжатіе, соотвѣтственно понижается предѣлъ упругости для вытягиванія. Такъ напримѣръ, нагрузка на вытягиваніе, вызывающая напряженіе нѣсколько выше предѣла упругости для вытягиванія, понижаетъ предѣлъ упругости для сжатія почти до нуля. Если затѣмъ подвергнуть брусъ сжатію, то предѣлъ упругости для сжатія начнетъ повышаться, а предѣлъ упругости для вытягиванія будетъ, наоборотъ, понижаться и въ свою очередь упадетъ до нуля, если только нагрузка на сжатіе вызываетъ напряженіе, превосходящее предѣлъ упругости для сжатія.

9) Если предѣлы упругости для вытягиванія или для сжатія были понижены какимъ-либо нагрузками на сжатіе или на вытягиваніе (вызывавшими при томъ напряженіе за первоначальнымъ предѣломъ упругости), то эти предѣлы могутъ быть снова повышены, если подвергнуть брусъ постепенно увеличивающейся разноименной нагрузкѣ. Но получаемое этимъ путемъ повышеніе никогда не можетъ достигнуть первоначальнаго предѣла упругости, а будетъ значительно ниже. По Leber'у указанная въ этомъ пунктѣ манипуляція для возстановленія до извѣстнаго значенія понпженнаго предѣла упругости выясняетъ вмѣстѣ съ тѣмъ опредѣленіе: «естественнаго предѣла упругости».

Изъ вышеизложеннаго вытекаютъ слѣдующія наиболѣе существенныя данныя:

а) При повторенныхъ одноименныхъ напряженіяхъ на вытягиваніе предѣлъ упругости для вытягиванія вообще повышается и, если эти напряженія выше предѣла первоначальной упругости для вытягиванія, то соотвѣтственно понижается предѣлъ упругости для сжатія.

б) При повторенныхъ одноименныхъ напряженіяхъ на сжатіе предѣлъ упругости для сжатія вообще повышается и, если эти напряженія выше перваго предѣла упругости для сжатія, то соотвѣтственно понижается предѣлъ упругости для вытягиванія.

в) Понпженный предыдущими манипуляціями одинъ изъ предѣловъ упругости можетъ быть снова повышенъ, если подвергнуть брусъ послѣдовательнымъ разноименнымъ напряженіямъ, но достигаемое этимъ повышеніе всегда будетъ ниже первоначальнаго предѣла упругости.

г) Матеріалъ можетъ выдержать безопасно безконечное число разъ повторенныя одноименныя напряженія, если только они менѣе, равны или немногимъ превосходятъ первоначальный предѣлъ упругости. Въ противномъ случаѣ повторенныя одноименныя напряженія имѣютъ слѣдствіемъ разрушеніе матеріала.

Такимъ образомъ, если какая-либо часть *сооруженія подвергается исключительно вытягиванію или сжатію, то безконечно-большое число разъ повторенныя напряженія безопасны, если эти напряженія немногимъ даже превосходятъ первоначальный предѣлъ упругости.*

Въ частяхъ же сооруженія, подвергающихся поперемѣнно вытягиванію и сжатію, легко можетъ случиться, что напряженіе одного какого-либо знака будетъ хотя немногимъ выше первоначальнаго предѣла упругости, и это повлечетъ за собою пониженіе предѣла упругости для напряженій противоположнаго знака. Но такъ какъ въ данномъ случаѣ имѣютъ мѣсто *разноименныя* напряженія, то вслѣдъ за спмъ этотъ понпженный предѣлъ снова повысится, но никогда не достигнетъ первоначальнаго значенія, а значительно меньшаго. Для прочности же сооруженія необходимо, чтобы напряженіе матеріала никогда не было *менѣе предѣла упругости*; слѣдовательно, при *разноименныхъ* напряженіяхъ слѣдуетъ имѣть въ виду не *первоначальный предѣлъ упругости*, а *возстановленный* изъ *пониженнаго* зна-

ченія. Этотъ крайній предѣлъ *возстановленнаго* предѣла упругости, названный Баушингеромъ «*естественнымъ предѣломъ упругости*», составляетъ по мнѣнію этого послѣдняго и Гербера *немногимъ болѣе половины первоначальнаго предѣла упругости*, а по Вейрауху—*ровно половину*.

Формула и коэффиціенты Häseler'a для оцѣнки вліянія различныхъ обстоятельствъ движенія и побочныхъ условій на напряженіе матеріала въ мостовыхъ фермахъ.

Häseler задался цѣлью найти такое значеніе для коэффиціента допускаемаго напряженія при обыкновенномъ способѣ расчета на одну статическую нагрузку, чтобы значеніе это соотвѣтствовало напряженію не болѣе предѣла упругости, если бы при опредѣленіи усилій приняты были во вниманіе не только статическая нагрузка, но и всѣ остальныя побочныя обстоятельства.

Häseler разематриваетъ три группы побочныхъ обстоятельствъ, вліяющихъ на увеличеніе напряженій:

I. Толчки и удары подвижной нагрузки.

II. Способы соединенія составныхъ частей фермы.

III. Неизбѣжные недостатки матеріала, неправильная передача усилій чрезъ заклепки, неточная сборка, уменьшеніе сопротивленія металла вслѣдствіе пробивки или сверленія отверстій и проч. и, наконецъ, уменьшенія сѣченія отъ ржавчины.

Вліяніе первой (I) группы Häseler оцѣниваетъ коэффиціентомъ:

$$E = 1{,}2 + \frac{1}{n},$$

гдѣ n — число осей, соотвѣтствующихъ загруженной части пролета. На этотъ коэффиціентъ слѣдуетъ умножить подвижную нагрузку.

Добавочныя напряженія отъ жесткаго соединенія (заклепочнаго) въ узлахъ опредѣляются по Винклеру въ 30% отъ основныхъ напряженій, а если прибавить 10% на вліяніе неравномѣрнаго нагрѣванія фермы солнечными лучами, то всего по Häseler получается : 40%.

Вліяніе болтовыхъ соединеній оцѣнивается Häseler'омъ въ 5%, что съ вліяніемъ неравномѣрнаго нагрѣванія составитъ : 15%.

Что касается третьей (III) группы, то слѣдуетъ также различать фермы съ заклепочными и съ болтовыми соединеніями и въ послѣднемъ случаѣ отдѣльно разсмотрѣть фермы, части которыхъ состоятъ изъ склепаннаго или изъ прокатнаго желѣза.

Добавочныя напряженія оцѣниваются слѣдующими коэффиціентами въ процентахъ:

	Заклепочныя соединенія.	Болтовыя соединенія.	
		Склепанныя части.	Прокатанныя части.
а) Непзбѣжные недостатки матеріала	5%	5%	5%
б) Уменьшеніе сопротивленія матеріала вслѣдствіе холодной обработки (пробивка, сверленіе), вліяніе неодинаковаго значенія коэффиціента упругости, неправильная передача усилій чрезъ заклепки	15%	10%	0%
в) Уменьшеніе сѣченія отъ ржавчины	5%	5%	5%
г) Ошибки при сборкѣ въ узлахъ фермъ	5%	0%	0%
	30%	20%	10%
		15%	

Наконецъ, вліяніе всякаго рода *перегрузокъ* опредѣляется Häseler'омъ въ 20%.

Называя чрезъ μ — коэффиціентъ, на который слѣдуетъ умножить основное напряженіе:

$$R' = \frac{P + EQ}{F},$$

гдѣ: P — усиліе отъ постоянной нагрузки, Q — отъ подвижной, а F — площадь сѣченія, пмѣемъ слѣдующія значенія для μ:

ТИПЫ ФЕРМЪ.	Добавочное напряженіе II	Добавочное напряженіе III	Добавочное напряженіе отъ перегрузки.	μ
Сплошная стѣнка	10%	30	20	1,6
Сквозная стѣнка съ заклепочнымп соединеніямп .	40%	30	20	1,9
Сквозная стѣнка съ болтовымъ соединеніемъ . . .	15%	15	20	1,5

Еслп: P — уеліе отъ постояннаго груза;
Q — усиліе отъ подвижного груза;
F — искомая площадь сѣченія;
R — допускаемый коэффиціентъ сопротивленія при обыкновеппомъ способѣ расчета;
R'' — предѣлъ упругости;
E — коэффиціентъ, оцѣнивающій вліяніе ударовъ;
μ — коэффиціентъ, оцѣнивающіі остальныя добавочныя напряженія,

то
$$R = \frac{P + Q}{F}; \quad R' = \frac{P + EQ}{F}; \quad R'' = \frac{\mu\,(P + EQ)}{F},$$

откуда:
$$R = \frac{P + Q}{\frac{\mu\,(P + EQ)}{R''}} = \frac{R''}{\mu} \cdot \frac{(P + Q)}{(P + EQ)} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (123)$$

Еслп, далѣе, N_{min} и N_{max}—наименьшія и наибольшія разноименныя напряженія, то для частей, подвергающихся разноименнымъ напряженіямъ:

$$R = \frac{R''}{\mu} \cdot \frac{(P + Q)}{(P + EQ)} \cdot \left(1 - \frac{1}{2} \cdot \frac{N_{min}}{N_{max}}\right) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (124)$$

Полагая: $R'' = 16$ кпл., Häseler составилъ слѣдующую таблицу для R, исчисленнаго по формулѣ (123) для желѣзнодорожныхъ мостовъ различныхъ пролетовъ:

	$l =$	5	10	15	20	40	60	80	100	150	метр.
	$E =$	1,7	1,6	1,5	1,3	1,3	1,25	1,2	1,2	1,2	»
	$Q =$	10,00	5,60	4,15	3,58	2,28	1,80	1,45	1,10	0,60	P.
Сплошная стѣнка	$R =$	6,11	6,63	7,14	8,10	—	—	—	—	—	кил. на кв мм.
Сквозная стѣнка (заклеп. соедпн.)	$R =$	—	5,58	6,01	6,82	6,96	7,25	7,54	7,63	7,84	»
Сквозная стѣнка (болт. соедпн.) .	$R =$	—	7,07	7,60	8,63	8,80	9,18	9,54	9,65	7,93	»

Полагая, что для фермъ со сквозной стѣнкой и съ заклепочными соединеніями можно принять: $\mu = 1{,}6$, получимъ:

$l =$	5	10	15	20	40	60	80	100	150	метр.
$R =$	6,11	6,63	7,14	8,10	8,35	8,70	9,05	9,15	9,41	кил. на кв. мм.

Камни, растворы, бетонъ, каменная и сводчатая кладка, свинцовыя прокладки. *А. Данныя о прочномъ сопротивленіи.* а) Для *подферменныхъ камней* твердой породы, какъ, напримѣръ, для песчаника, гранита, коэффиціентъ *прочнаго* сопротивленія раздробленію можетъ быть принять отъ 7 до 14 пудовъ на квадратный дюймъ. Въ нѣкоторыхъ случаяхъ, когда напр. поверхность камня, принимающаго давленіе, значительно болѣе поверхности давящаго тѣла, то допускаемое сопротивленіе можетъ быть повышено; напр. въ Коблецкомъ мосту чрезъ Рейнъ напряженіе подферменныхъ камней: 25,2 $\frac{\text{пуд.}}{\text{дм.}^2}$; въ Кёльнскомъ мосту: 21,5 $\frac{\text{пуд.}}{\text{дм.}^2}$; въ гранитныхъ шарнирахъ Körske напряженіе доходитъ даже до 40 $\frac{\text{пуд.}}{\text{дм.}^2}$.

Для *кирпичной* и *бутовой кладки* прочное сопротивленіе раздробленію: 2 — 3 пуд. на кв. д.; для *бутовой* кладки изъ *крупныхъ* камней: 4 — 4,5 пудовъ; для *тесовой* кладки слѣдуетъ принять среднее значеніе между сопротивленіемъ камня и бутовой кладки изъ крупныхъ камней.

Для *сводчатой* кладки — при болѣе тщательныхъ подборѣ матеріала и работѣ, при болѣе точномъ расчетѣ усилій, по сосредоточеннымъ грузамъ, коэффиціенты могутъ быть повышены, и тѣмъ болѣе, чѣмъ значительнѣе пролетъ. Такъ, напр. въ исполненныхъ въ послѣднее время заграницей сооруженіяхъ напряженіе въ сводчатой кладкѣ при малыхъ и среднихъ пролетахъ достигаетъ 15 $\frac{\text{кил.}}{\text{см.}^2}$ или 6 $\frac{\text{пуд.}}{\text{дм.}^2}$, а при большихъ пролетахъ 45 $\frac{\text{кил.}}{\text{см.}^2}$ или 18 $\frac{\text{пуд.}}{\text{дм.}^2}$ (предѣлъ 25 $\frac{\text{кил.}}{\text{см.}^2}$ или 10 $\frac{\text{пуд.}}{\text{дм.}^2}$ едва ли слѣдуетъ превышать). Вѣнская комиссія 1893 г. по изслѣдованію сопротивленія каменныхъ сводовъ находитъ возможнымъ допускать для сводчатой кладки (1—2) $\frac{\text{кил.}}{\text{см.}^2}$ или (0,4—0,8) $\frac{\text{пуд.}}{\text{дм.}^2}$ на растяженіе, что едва ли необходимо, а на сжатіе отъ $\frac{1}{10}$ до $\frac{1}{4}$ (въ зависимости отъ величины пролетовъ въ 30 м. — 120 м.) отъ временнаго сопротивленія раздробленію пробнаго кубика.

Прочное сопротивленіе кладки на известковомъ растворѣ *срѣзыванію* при маломъ запасѣ прочности принимается въ 0,1 $\frac{\text{пуд.}}{\text{дм.}^2}$.

Для *бетона* въ зависимости отъ качества употребляемыхъ матеріаловъ прочное сопротивленіе сжатію можетъ быть принято: (3—8) $\frac{\text{пуд.}}{\text{дм.}^2}$ *); на растяженіе около: 0,3 $\frac{\text{пуд.}}{\text{дм.}^2}$, а на срѣзываніе: 0,45 $\frac{\text{пуд.}}{\text{дм.}^2}$.

---

*) Въ бетонномъ мостѣ чрезъ р. Дунай близъ Ингельфена отв. 43 м., для бетона въ составѣ 1 ц. : 2 п. : $\frac{1}{2}$ мелк. гальки : $2\frac{1}{2}$ щебня наибольшее напряженіе допущено въ ключѣ въ 42,5 $\frac{\text{кил.}}{\text{см.}^2}$, а въ пятахъ отъ 31,1 до 41,5 $\frac{\text{кил.}}{\text{см.}^2}$, при временномъ сопротивленіи раздробленію

Для *свинцовыхъ прокладокъ* между клиньями свода при толщинѣ прокладокъ въ 15 мм., діаметромъ или въ сторонѣ около 150 мм., прочное сопротивленіе допускается въ 120 $\frac{\text{кил.}}{\text{см.}^2}$ или 48 $\frac{\text{пуд.}}{\text{дм.}^2}$. (Кажущееся несоотвѣтствіе между допускаемыми сопротивленіями прокладки и камня (въ сводѣ) разъясняется тѣмъ, что прокладка занимаетъ весьма малую долю боковой площади клина. Опыты Bauschinger, Durand-Claye и Bach'a показали, что если отношеніе между площадями тѣлъ давящаго и принимающаго давленіе $^1/_6$, то сопротивленіе камня раздробленію увеличивается вдвое по сравненію съ сопротивленіемъ при одинаковыхъ площадяхъ).

Въ исполненныхъ сооруженіяхъ допущены слѣдующія напряженія для свинцовыхъ прокладокъ: въ мостѣ чрезъ станціонные пути въ Ehingen'ѣ—размѣры прокладокъ: $100 \times 100 \times 20$ мм., $R = 61$ $\frac{\text{кил.}}{\text{см.}^2}$; въ мостѣ чрезъ р. Неккаръ въ Мюльгеймѣ при: $106 \times 93 \times 20$ мм., $R = 100$ $\frac{\text{кил.}}{\text{см.}^2}$; въ мостѣ чрезъ р. Неккаръ въ Gemmrigheim'ѣ, при: $180 \times 150 \times 20$ мм., $R = 110{,}9$ $\frac{\text{кил.}}{\text{см.}^2}$.

б) Прусскимъ Министерствомъ публ. работъ установлены слѣдующіе коэффиціенты *прочнаго* сопротивленія раздробленію:

Бутовая кладка на известковомъ растворѣ	5	$\frac{\text{кгр.}}{\text{сант.}^2}$
Кирпичная кладка на известковомъ растворѣ	7	»
Кирпичная кладка на цементномъ растворѣ	12	»
Кладка изъ клинкера на цементномъ растворѣ . . .	14—20	»
Бутовая кладка изъ пористыхъ камней	3— 6	»
Гранитъ	45	»
Базальтъ	40	»
Песчаникъ	15—30	»

в) Въ слѣдующей таблицѣ сгруппированы данныя относительно допущенныхъ напряженій въ недавно исполненныхъ сооруженіяхъ:

въ 224 $\frac{\text{кил.}}{\text{см.}^2}$, но при этомъ расчетъ усилій сдѣланъ по отдѣльнымъ сосредоточеннымъ грузамъ отъ парового шоссейнаго катка вѣсомъ 15 тоннъ на три колеса.

Въ бетонномъ мостѣ чрезъ р. Eyach близъ Innau въ 30 м. отверстія наибольшее напряженіе на сжатіе допущено въ 34 $\frac{\text{кил.}}{\text{см.}^2}$, а на растяженіе въ 1 $\frac{\text{кил.}}{\text{см.}^2}$. Этотъ мостъ имѣетъ гранитные ключевые и пятовые шарниры съ наибольшимъ напряженіемъ въ 100 $\frac{\text{кил.}}{\text{см.}^2}$; при испытаніи гранита оказалось слѣдующее: сопротивленіе раздробленію: 1006 $\frac{\text{кил.}}{\text{см.}^2}$; сопротивленіе изгибу: 83,8 $\frac{\text{кил.}}{\text{см.}^2}$ сопротивленіе *срѣзыванію* (при скручиваніи): 77,6 $\frac{\text{кил.}}{\text{см.}^2}$; сопротивленіе разрыву: 45,4 $\frac{\text{кил.}}{\text{см.}^2}$.

Въ мостѣ чрезъ станціонные пути въ Ehingen'ѣ: $l = 18$ м., наибольшее напряженіе $R = 14$ $\frac{\text{кил.}}{\text{см.}^2}$ при составѣ бетона: 1 : 2 : 6. Въ мостѣ чрезъ р. Неккаръ въ Мюльгеймѣ при $l = 22$ м., при составѣ бетона: $1 : 2^1/_2 : 5$ — наибольшее напряженіе $R = 20$ $\frac{\text{кил.}}{\text{см.}^2}$; въ другомъ мостѣ чрезъ ту же рѣку въ Gemmrigheim'ѣ при $l = 38$ м. и при составѣ бетона: $1 : 2^1/_2 : 5$ наибольшее напряженіе: $R = 30$ $\frac{\text{кил.}}{\text{см.}^2}$. Въ мостѣ чрезъ р. Рону въ Женевѣ подъ жел. дорогу при $l = 40$ м., $R = 20$ $\frac{\text{кил.}}{\text{см.}^2}$.

Названіе сооруженій.	Грунтъ подъ основаніемъ.	Расчетный пролетъ. м.	Пролетъ въ свѣту. м.	Стрѣла подъема. м.	Матеріалъ.	Родъ кладки въ сводѣ.	Толщина свода въ пятѣ. м.	Толщина свода въ ключѣ. м.	Наибольш. напряженіе матеріала въ $\frac{\text{кил.}}{\text{см.}^2}$. Въ фундам.	Въ пятѣ.	Въ швѣ перелома.	Въ ключѣ.
Мостъ подъ об. дор. чрезъ Wioslauf (1884 г.) . . .	Мергель.	11,5	9	2,15	Песчан.	Грубо околотый камень. Бетонное основаніе.	0,5	0,3	3,5	5,5	—	7,0
Мостъ подъ об. дор. чрезъ р. Murg близъ Hesselbach'a (1886)	Гранитъ.	35,0	30,4	3,55	»	Грубо околотый штучн. камень. Бетонное основаніе.	0,9	0,6	19	38	—	45
Тоже близъ Ilgenbach'a (1888)	—	28	21,5	2,5	»	Т о ж е.	0,85	0,59	3	18	—	28
Тоже близъ Husenbach'a (1889)	Гнейсъ.	41,5	33,0	4	»	Т о ж е.	0,88	0,6	4,4	20	—	26
Мостъ подъ ж. д. чрезъ р. Майнъ	—	—	36,5	—	Раковистый известн.	—	—	0,8	—	27,1	25,2	12,7
Мостъ подъ об. и жел. дор. чрезъ рукавъ Эльбы въ Гамбургѣ	—	—	21,3	3,2	Клинк.	—	0,94 1,30	0,82 1,06	—	—	—	18
Мостъ Castelet подъ ж. д. .	—	—	41,2	—	—	—	2,25	1,25	—	—	—	20
Мостъ Lavaur подъ ж. д. .	—	—	61,5	—	—	—	2,81	1,65	—	—	—	23
Мостъ Antoinetta подъ ж. д. .	—	—	50,00	—	—	—	2,28	1,50	—	—	—	30
Мостъ Gour-Noir подъ ж. д. .	Гранитъ.	—	64,94	16,10	—	Грубо околотый гранитъ.	4,20	1,70	—	—	—	—
Мостъ чрезъ р. Пругъ близъ Jaremza	—	—	65	—	—	—	3,1	2,1	—	—	—	27,5
Тоже близъ Jamna	—	—	48	—	—	—	2,6	1,7	—	—	—	25,1
Тоже близъ Worochta I . .	—	—	40	—	—	—	2,2	1,4	—	—	—	21,4
Тоже близъ Worochta II . .	—	—	34,6	—	—	—	2,0	1,3	—	—	—	17,6

Б. Данныя о временномъ сопротивленіи. Приводимъ еще данныя относительно *временнаго* сопротивленія разрыву, раздробленію, излому и срѣзыванію различныхъ растворовъ, бетона, камней, каменной кладки, сводчатой кладки и свинцовыхъ прокладокъ; прочное сопротивленіе можно принять въ $\frac{1}{10} - \frac{1}{20}$ отъ временнаго.

Известковые и гидравлическіе растворы.

Названіе.	Временное сопротивленіе. Разрыву въ кил. на кв. см.	Раздробленію въ кил. на кв. см.	Скалыванію при сцѣпленіи съ камнемъ въ кил. на кв. сант.
Известковый растворъ (по Bauschinger'у)	—	36— 80	0,5 *)
Гидравлическ. растворъ 1 изв. : 1 тр. : 1 песокъ послѣ 4 недѣль (по опытамъ въ Бременѣ)	14—17	77—101 **)	—

*) По другимъ даннымъ прочное сопротивленіе скалыванію при сцѣпленіи съ камнемъ оцѣнивается въ 13 пудовъ на кв. футъ или въ 0;09 $\frac{\text{пуд.}}{\text{дм.}^2}$, что отвѣчаетъ нормѣ Bauschinger'a 0,5 $\frac{\text{кил.}}{\text{см.}^2}$ или 0,2 $\frac{\text{пуд.}}{\text{дм.}^2}$ при двойномъ запасѣ прочности.

**) Чѣмъ мельче измолотъ трассъ, тѣмъ выше сопротивленіе. При крупномъ измолѣ сопротивленіе разрыву по Stahl'ю: 1,85 $\frac{\text{кил.}}{\text{см.}}$; при очень мелкомъ измолѣ: 12,15 $\frac{\text{кил.}}{\text{см.}^2}$.

Обыкновенный составъ бетона изъ такого раствора: 1 изв. : 1 тр. : 1,5 пес. : 5 щеб.

Цементные растворы.

а) По Bauschinger'y:

Названіе.	Временное сопротивленіе въ килогр. на квадр. сантим.						
	Разрыву.	Раздробленію.	Скалыванію.	Излому.	Скалыванію при сцѣпл. съ камнемъ.	Разрыву при сцѣпл. съ камнемъ.	Коэффиц. упругости въ кил. на кв. с.
Цементн. растворъ.							
Чистый цементъ . .	10	211—258	20—16	—	—	—	—
Растворъ 1 ц. : 1 пес.	14	216—239	34—23	25	4,0	4,6	—
» 1 ц. : 2 »	13	185—202	30—22	28	5,0	1,3	157.000
» 1 ц. : 4 »	10,5	160—163	26—19	26	4,1	2,0	—
	Послѣ 60 дней.	Послѣ 100 дней.	Послѣ 60 дней.	Послѣ 60 дней.			

б) По Dyckerhoff'y:

		Времен. сопр. разрыву въ $\frac{\text{кил.}}{\text{см.}^2}$	Времен. сопр. раздр. въ $\frac{\text{кил.}}{\text{см.}}$
1 ц. : 1 пес.	4 нед. въ водѣ.	27,6—32,1	344—372
	1 нед. въ водѣ и 3 нед. на воздухѣ	47,8—51,2	428—500
1 ц. : 3 пес.	4 нед. въ водѣ.	20,8—24	210—280
	1 нед. въ водѣ и 3 нед. на воздухѣ	31,3—33,8	306—360

в) По даннымъ Механ. Лабор. Ипст. Инж. П. С. кубики, приготовленные изъ раствора 1 ц. : 3 п., размѣрами по 7 сант. въ сторонѣ, и образцы на разрывъ при площади разрыва въ 5 кв. сант., приготовленные изъ того же раствора, а въ другомъ случаѣ изъ чистаго цемента, дали слѣдующіе результаты:

Названіе завода.	Сопротивленіе раздробленію 1 ц. : 3 п.	Сопротивленіе разрыву 1 ц. : 3 п.				Сопротивленіе разрыву чистаго цемента.			
		4 д.	7 д.	28 д.	2 мѣс.	4 д.	7 д.	28 д.	2 мѣс.
	$\frac{\text{кил.}}{\text{см.}^2}$	$\frac{\text{кил.}}{\text{см.}^2}$	$\frac{\text{кил.}}{\text{см.}^2}$	$\frac{\text{кил.}}{\text{см.}^2}$	$\frac{\text{кил.}}{\text{см.}^2}$	$\frac{\text{кил.}}{\text{см.}^2}$	$\frac{\text{кил.}}{\text{см.}^2}$	$\frac{\text{кил.}}{\text{см.}^2}$	$\frac{\text{кил.}}{\text{см.}^2}$
Портъ-Кунда	180	—	11,97	17,93	21,77	—	36,90	50,33	55,67
Подольскій	148	9,95	10,92	16,31	20,02	35,17	39,25	50,85	51,93
Глухоозерскій	148	—	11,22	14,23	—	—	39,36	46,69	—
Шмидта	187	15,11	17,74	22,21	24,97	37,16	44,65	48,44	45,27
Кѣльце	251	21,00	21,37	24,92	—	48,90	51,82	56,35	—

Изъ приведенныхъ данныхъ можно заключить, что сопротивленіе *раздробленію* цементнаго раствора отъ *10 до 12 разъ* болѣе сопротивленія разрыву и почти въ *2 раза* болѣе сопротивленія раздробленію хорошаго гидравлическаго раствора или раствора изъ романскаго цемента.

г) По *Bach'y**)—зависимость между $i = \frac{\lambda}{L}$, $R = \frac{T}{\omega}$ и E выражается: $i = \frac{R^m}{E}$, при чемъ для:

	E	m		E	m
чистаго цемента . .	250.000 $\frac{\text{кил.}}{\text{см.}^2}$	1,09	1 ц. : 1,5 пес. . .	356.000 $\frac{\text{кил.}}{\text{см.}^2}$	1,11
1 ц. : 3 пес. . . .	315.000 »	1,15	1 ц. : $4^1/_2$ пес. . .	230.000 »	1,17

*) Bach. Elasticität und Festigkeit.

Сложные растворы. По Dyckerhoff'у *):

		Времен. сопр. разр. въ $\frac{\text{кил.}}{\text{см.}^2}$	Врем. сопр. раздр. въ $\frac{\text{кил.}}{\text{см.}^2}$
1 ц. : $^1/_4$ изв. : 5 пес.	4 нед. въ водѣ	17,6	160,8
	1 нед. въ водѣ, 3 нед. на воздухѣ .	31,4	291,0
1 ц. : $^1/_2$ изв. : 6 пес.	4 нед. въ водѣ	17,1	152,0
	1 нед. въ водѣ, 3 нед. на воздухѣ .	24,3	226,0
1 ц. : $^3/_4$ изв. : 8 пес.	4 нед. въ водѣ	10,7	97,0
	1 нед. въ водѣ и 3 нед. на воздухѣ .	16,7	154,0
1 ц. : 1 изв. : 10 пес.	4 нед. въ водѣ	9,2	67,0
	1 нед. въ водѣ и 3 нед. на воздухѣ .	10,8	94,0
1 ц. : $^1/_2$ изв. : 6 пес.	— по прошествіи года (на воздухѣ) . .	43,8	—
Тоже.	— выставленный въ морозное время . .	34,8	—

Сопротивленіе цементнаго и сложнаго растворовъ замѣтно увеличивается со временемъ, что видно изъ слѣд. таблицы:

Составъ.	Условія затвердѣванія.	Временное сопротивленіе разрыву въ $\frac{\text{кил.}}{\text{см.}^2}$						
		1 нед.	4 нед.	13 нед.	26 нед.	1 годъ.	$1^1/_2$ года.	2 года.
1 ц. : 3 пес.	На воздухѣ.	16,3	20,5	28,3	37,2	43,9	46,8	51,9
1 ц. : $^1/_2$ изв. : 6 пес. . .	Тоже.	6,5	12,1	26,5	27,4	35,0	35,4	43,8

Бетонъ. — Сопротивленіе бетона крайне разнообразно и зависитъ какъ отъ качествъ употребленныхъ матеріаловъ, такъ и способа исполненія и относительнаго количества составныхъ частей.

Кромѣ того, размѣры испытуемыхъ образцовъ, въ особенности высота, имѣетъ тоже вліяніе на результаты опытовъ. Всѣ опытныя изслѣдованія касаются преимущественно сопротивленія раздробленію. Въ отношеніи сопротивленія бетона разрыву, излому и срѣзыванію имѣется не много данныхъ.

а) По Dyckerhoff'у:

Размѣры пробнаго кубика.	Составъ бетона.				Сопротивленіе раздробленію въ $\frac{\text{кил.}}{\text{см.}^2}$.
	Цементъ.	Известковое тѣсто.	Песокъ.	Галька.	
10 сантим. въ сторонѣ; размѣры гальки измѣнялись отъ 5 мм. до 30 мм. Цементъ имѣлъ 16,3 $\frac{\text{кил.}}{\text{см.}^2}$ разрывающаго усилія поелѣ 28 дней затвердѣванія. Пробный кубикъ бетона находился 1 день на воздухѣ и 27 дней въ водѣ.	1	—	2	—	151,8
	1	—	2	3	196,2
	1	—	2	5	170,5
	1	—	—	5	69,9
	1	—	3	—	98,8
	1	—	3	5	116,6
	1	—	3	6,5	108,2
	1	—	4	—	75,2
	1	—	4	5	90,9
	1	—	4	8,5	86,0
	1	1	6	—	53,5
	1	1	6	12	52,1

*) Der Portland-Cement und seine Anwendungen. Berlin. 1892.

Изъ этой таблицы слѣдуетъ, что если найдена удачная пропорція между пескомъ и галькой (щебнемъ), то сопротивленіе бетона мало отличается отъ сопротивленія цементнаго раствора; бетонъ безъ песку имѣетъ меньшее сопротивленіе, чѣмъ приготовленный съ пескомъ; за извѣстными предѣлами уменьшеніе количества щебня незначительно повышаетъ сопротивленіе.

Въ другомъ ряду опытовъ были приготовлены бетонные массивы размѣровъ: 1 м. × 0,4 м. × 0,4 м.; размѣры гальки измѣнялись отъ 5 м.м. до 45 м.м.; пустоты составляли 50%. Послѣ 7-мѣсячнаго затвердѣванія на воздухѣ изъ массива были выпилены кубики, имѣвшіе въ сторонѣ 90 сант., при чемъ оказалось слѣдующее:

Составъ бетона.			Сопротивленіе раздробленію въ $\frac{\text{кил.}}{\text{см.}^2}$.	Составъ бетона.			Сопротивленіе раздробленію въ $\frac{\text{кил.}}{\text{см.}^2}$.
Цементъ.	Песокъ.	Галька.		Цементъ.	Песокъ.	Щебень.	
1	3	6	140	1	5	8 базальт.	147,9
1	4	8	121,2	1	6	10 изв. кам.	121,0
1	5	10	94,1	1	7	11 песчан.	83,0
1 : 1 изв. тѣсто.	6	12	96,8	1 : 1 изв. тѣсто.	8	13 »	91,2

б) По опытамъ въ Портсмутѣ, сдѣланнымъ во время работъ по расширенію военной гавани, при чемъ кубики имѣли 15,24 сант. въ сторонѣ и бетонъ состоялъ изъ 1 ц. : 4,16 пес. : 7,8 гальки, послѣ 6 мѣсяцевъ затвердѣванія оказалось, что въ среднемъ первая трещина появлялась при 72 $\frac{\text{кил.}}{\text{см.}^2}$ (отъ 59 до 95), а разрушеніе при 89 $\frac{\text{кил.}}{\text{см.}^2}$ (отъ 68—112).

в) При сооруженіи волнолома въ Коломбо пробные кубики имѣли въ сторонѣ по 7,5 сант.; послѣ 3 мѣсяцевъ затвердѣванія при постоянно поддерживаемой влажности они оказали слѣдующее сопротивленіе раздробленію:

Составъ бетона.			Щебень.		Сопротивленіе раздробленію въ $\frac{\text{кил.}}{\text{см.}^2}$.
Цементъ.	Песокъ.	Галька.	88 миллим.	38 миллим.	
1	—	—	—	—	388
1	2 круп.	—	—	—	197
1	2 мелк.	—	—	—	125
1	2	—	4	2	307
1	2	6	—	—	161
1	2	—	—	6	161

Результаты этихъ опытовъ указываютъ на благопріятное вліяніе одновременнаго нахожденія щебня разной величины (4 и 6 строки) и еще на то, что мелкій песокъ по сравненію съ крупнымъ даетъ худшіе результаты. Также подтверждается фактъ, что бетонъ при удачномъ соотношеніи элементовъ имѣетъ то же, если не бо́льшее сопротивленіе, какъ и цементный растворъ. Вообще же данныя сопротивленія значительно выше, чѣмъ по опытамъ въ Портсмутѣ, что возможно объ-

яснить тѣмъ, что тамъ затвердѣваніе происходило на воздухѣ, а здѣсь при сохраненіи кубиковъ влажными.

г) Наконецъ, чтобы видѣть, какое значеніе имѣютъ неблагопріятныя условія при изготовленіи, можно привести слѣдующіе результаты опытовъ Mauk'a въ Дрезденѣ. Размѣры кубиковъ 20 сант. въ сторонѣ; цементъ былъ отличнаго качества; щебень, приготовленный изъ крупной гальки, имѣлъ много гладкихъ закругленныхъ поверхностей; бетонъ не втрамбовывался; кубики по изготовленіи находились 5 часовъ въ водѣ и 30 дней на воздухѣ, въ тѣни.

Составъ бетона.			Сопротивленіе раздробленію въ $\frac{\text{кил.}}{\text{см.}^2}$.	Составъ бетона.			Сопротивленіе раздробленію въ $\frac{\text{кил.}}{\text{см.}^2}$.
Цементъ.	Песокъ.	Щебень.		Цементъ.	Песокъ.	Щебень.	
1	—	—	305	1	3	—	180
1	1	—	250	1	3	2	110
1	2	—	225	1	3	3	100
1	2	2	145	1	3	4	65
1	2	3	110	1	4	—	115
				1	4	3	60

д) При сооруженіи бетоннаго моста чрезъ р. Дунай близъ Инцигкофена примѣнялся бетонъ различнаго состава, съ цементомъ при сопротивленіи разрыву въ 18 $\frac{\text{кил.}}{\text{см.}^2}$ послѣ 7 дней и въ 22,5 $\frac{\text{кил.}}{\text{см.}^2}$ послѣ 28 дней; сопротивленіе бетона раздробленію оказалось:

Составъ.	Число дней.	Сѣченіе въ кв. сант.	Удѣльн. вѣсъ.	Сопротивл. раздробл. въ $\frac{\text{кил.}}{\text{см.}^2}$
1 ц. : $2^1/_2$ п. : 5 щеб.	213	494	2,34	259
1 ц. : 3 п. : 6 гальки	213	444	2,32	198
1 ц. : $1^1/_2$ п. : $^3/_4$ мелк. гальки : : $^3/_4$ щеб.	160	408	2,25	259
1 ц. : 2 п. : $^1/_2$ мелк. гал. : 2 щеб.	170	638	2,29	224
1 ц. : $2^1/_2$ п. : $^1/_2$ мелк. щеб. : 4 щеб.	160	640	2,29	181

При этомъ слѣдуетъ замѣтить, что 16% песку соотвѣтствовали нормальному песку; 42% были крупнѣе и 42%—мельче нормальнаго песку. Мелкая галька была не болѣе 2 сант. въ сторонѣ; галька—отъ 1 до 5 сант.; щебень отъ 4 до 6 сант.

е) Bach*) подвергалъ раздробленію бетонные цилиндры высотою 1 м. и діаметромъ d=25 сант. спустя 76—97 дней послѣ ихъ приготовленія, при чемъ панелъ для различныхъ составовъ и двухъ сортовъ цемента слѣдующія значенія сопротивленія

*) Fortschritte der Ingenieurwissenschaften. Gewölbte Brücken.

I . . 1 ц. : 2,5 п. : 5 гальки; R = 96,3 и 62 $\frac{\text{кил.}}{\text{см}^2}$.

II . . 1 ц. : 2,5 п. : 5 щебня изъ раков. известн.; R = 130,7 и 110,5 $\frac{\text{кил.}}{\text{см}^2}$.

III . . 1 ц. : 7,5 п. и гальки; R = 139,9 и 86,9 $\frac{\text{кил.}}{\text{см}^2}$.

IV . . 1 ц. : 3 п. : 6 гальки; R = 115,0 и 74,4 $\frac{\text{кил.}}{\text{см}^2}$.

V . . 1 ц. : 3 п. : 6 щебня изъ раков. известн.; R = 118,7 и 90,2 $\frac{\text{кил.}}{\text{см}^2}$.

VI . . 1 ц. : 9 п. и гальки; R = 120,5 и 65,3 $\frac{\text{кил.}}{\text{см}^2}$.

Эти опыты показываютъ, какое громадное вліяніе имѣетъ качество цемента на достоинство бетона. Bach одновременно опредѣлялъ временное и остающееся сжатіе при послѣдовательномъ увеличеніи напряженія съ 0 до 7,9 $\frac{\text{кил.}}{\text{см.}^2}$, затѣмъ далѣе до 15,8, 23,7, 31,6 и 39,5 $\frac{\text{кил.}}{\text{см}^2}$ и по этимъ даннымъ находилъ предѣлъ пропорціональности и коэффиціентъ упругости. Такъ, напримѣръ, для бетона состава I при R = 96,3 $\frac{\text{кил.}}{\text{см.}^2}$ и состава III при R = 139,9 $\frac{\text{кил.}}{\text{см.}^2}$:

Составъ бетона.	Напряженіе въ $\frac{\text{кил.}}{\text{см.}^2}$	Временное сжатіе $\frac{1}{600}$ см.	Остающееся сжатіе $\frac{1}{600}$ см.	Коэффиціентъ упругости $\frac{\text{кил.}}{\text{см}^2}$	Составъ бетона.	Напряженіе въ $\frac{\text{кил.}}{\text{см.}^2}$	Временное сжатіе $\frac{1}{600}$ см.	Остающееся сжатіе $\frac{1}{600}$ см.
I	7,9	1,33	0,17	306000	III	55,7	11,33	1,34
	15,8	2,90	0,35	279000		63,8	13,59	1,80
	23,7	4,67	0,65	259000		71,6	15,54	2,31
	31,6	6,71	0,81	245000		79,6	17,84	2,82
	39,5	9,06	1,43	233000		87,3	20,34	3,48
III	8,0	1,29	0,15	—		95,3	22,80	4,05
	15,9	2,81	0,35	—		103,4	25,90	4,94
	23,9	4,40	0,45	—		111,4	29,45	6,13
	31,8	6,05	0,64	—		119,4	33,20	7,42
	39,8	7,78	0,84	—		127,5	38,94	9,52
	47,7	9,50	1,07	—		135,3	46,50	12,82

Такимъ образомъ до R = 39,5 $\frac{\text{кил.}}{\text{см.}}$ сжатіе измѣняется почти пропорціонально увеличенію напряженія. Это изслѣдованіе производилось при проектированіи бетоннаго моста чрезъ р. Неккаръ въ Кирхгеймѣ, въ сводѣ котораго наибольшее напряженіе допущено въ 40 $\frac{\text{кил.}}{\text{см}^2}$.

Сопротивленіе бетона *разрыву* можно принять отъ 7 до 10 разъ менѣе сопротивленія раздробленію.

Отношеніе *предѣла упругости* при сжатіи къ коэффиціенту упругости составляетъ для бетона по Engesser'у:

$$\frac{P}{E\omega} = \frac{\lambda}{L} = 0{,}00185.$$

Что касается *коэффиціента упругости*, то по опытамъ Вѣнской Коммиссіи имѣемъ слѣдующія данныя:

	При сжатіи.	При растяженіи.
1 ц. : 3 п.	364000 $\frac{\text{кил.}}{\text{см.}^2}$	400000 $\frac{\text{кил.}}{\text{см.}^2}$
1 ц. : 1 п. : 1 щеб. . .	264000 »	250000 »
1 ц. : 3 п. : 5 щеб. . .	74100 »	98700 »

По Bach'y зависимость между единичнымъ удлиненіемъ: $i = \frac{\lambda}{L}$, напряженіемъ: $R = \frac{T}{\omega}$ и коэффиціентомъ упругости E выражается формулою:

$$i = \frac{R^m}{E},$$

при чемъ E и m имѣютъ слѣдующія значенія:

	E	m
1 ц. : $2^1/_2$ п. : 5 гальки	298.000	1,115
1 ц. : $2^1/_2$ п. : 5 щебня	457.000	1,157
1 ц. : 5 п. : 6 гальки	280.000	1,137
1 ц. : 3 п. : 6 щебня	380.000	1,161
1 ц. : 5 п. : 10 гальки	217.000	1,157
1 ц. : 5 и. : 10 щебня	367.000	1,207

Съ увеличеніемъ напряженія E уменьшается.

Наконецъ въ отношеніи сопротивленія *излому* имѣются данныя Hutton'a, полученныя изъ сдѣланныхъ имъ изслѣдованій при сооруженіи морского канала въ Амстердамѣ. Hutton'омъ были приготовлены изъ бетона балки длиною 1,20 м., шириною и высотою въ 30 сант., которыя послѣ 4-хъ мѣсячнаго твердѣнія на воздухѣ при разстояніи между опорными точками въ 0,9 м. подвергались по серединѣ длины дѣйствію груза. Напряженіе опредѣлялось не по формулѣ:

$$R = \frac{M6}{bh^2},$$

а ввиду предположенія, что при разрушеніи при изгибѣ наибольшее напряженіе на сжатіе превосходитъ таковое же напряженіе при растяженіи въ 9 разъ, наибольшее напряженіе при сжатіи въ моментъ разрушенія опредѣлялось по формулѣ:

$$R' = \frac{48M}{bh^2},$$

а при растяженіи:

$$R'' = \frac{48M}{9bh^2}.$$

Полученныя имъ данныя сгруппированы въ слѣдующей таблицѣ. (См. стр. 490).

Кромѣ того въ 8-й графѣ помѣщены значенія напряженій, исчисленныя по формулѣ $R = \frac{6M}{bh^2}$ для удобства сравненія съ численными данными, полученными Bauschinger'омъ по той же формулѣ для разнаго рода камней.

№	Составъ бетона.			Ломающій грузъ при изгибѣ въ киллогр.	Напряженіе при изломѣ.		Напряженіе при изломѣ $R = \frac{6M}{bh^2}$
	Цементъ.	Песокъ.	Щебень.		На сжатіе $R' = \frac{48M}{9bh^2}$	На растяж. $R'' = \frac{48M}{9bh^2}$	
1	1	4	5	1.205	52,4	5,81	6,55
2	1	3	6	1.918	44,9	5,00	5,61
3	1	3	5	1.370	58,9	6,54	7,36
4	1	2	7	1.532	65,7	7,30	8,17
5	1	2	5	2.215	93,2	10,35	11,65
6	1	1	8	1.948	82,4	9,15	10,3
7	1	1	5	3.490	144,8	15,00	18,1
8	1	—	9	1.948	81,8	9,10	10,22
9	1	—	5	4.350	179,2	19,90	22,4

Въ виду нѣкотораго сомнѣнія въ правильности формулъ, примѣненныхъ Hutton'омъ *), нельзя придавать особаго значенія абсолютнымъ величинамъ численныхъ выводовъ.

Если остановиться на значеніяхъ R, помѣщенныхъ въ 8-й графѣ, то они оказываются выше сопротивленія бетона при разрывѣ, что замѣчается и по отношенію камней, чугуна и вообще матеріаловъ, въ которыхъ сопротивленія сжатію и вытягиванію неодинаковы. Объясненіе этого факта будетъ приведено при обсужденіи данныхъ Bauschinger'a относительно сопротивленія камней.

При сравненіи графъ 1, 3, 5, 7 и 9 таблицы Hutton'a ясно видно вліяніе содержанія песку на крѣпость бетона; съ уменьшеніемъ содержанія песка, съ 4 частей до 0, но при томъ же содержаніи щебня, крѣпость бетона увеличивается почти въ 3 раза. Съ другой стороны, сравненіе графъ 1, 2, 4, 6 и 8 указываетъ, что увеличеніе щебня за счетъ песка, съ сохраненіемъ безъ измѣненія общаго объема, незначительно увеличиваетъ сопротивленіе бетона.

Сопротивленіе бетона *сръзыванію* нѣкоторые изслѣдователи предлагаютъ опре-

---

*) Der Portland Cement und seine Anwendungen im Banwesen. Berlin 1892, стр. 94. Предполагая что $R' = 9R''$, положеніе нейтральной оси найдемъ изъ условія:

$$\frac{R' \cdot x}{2} \cdot \frac{2}{3} x = R'' \cdot \frac{(h-x)}{2} \frac{2}{3} (h-x)$$

или:

$$R'x^2 = R''(h-x)^2; \quad 9R''x^2 = R''(h-x)^2; \quad x = \frac{h}{4}.$$

Называя чрезъ T_d и T_s — моменты упругости сѣченій выше и ниже нейтральной оси, т. е.

$$T_d = \frac{b}{3}\left(\frac{h}{4}\right)^3 \text{ и } T_s = \frac{b}{3}\left(\frac{3}{4}h\right)^3,$$

Hutton опредѣляетъ R' по формулѣ:

$$R' = \frac{M\frac{h}{4}}{T_d} = \frac{M \cdot 3}{b\left(\frac{h}{4}\right)^2} = \frac{48M}{bh^2}; \quad R'' = \frac{M\frac{3}{4}h}{T_s} = \frac{3 \cdot M}{b\left(\frac{3}{4}\right)^2} = \frac{48M}{9bh^2}.$$

Повидимому въ знаменатель выраженія R' и R'' должно войти $T_d + T_s$

дѣлять по формулѣ:

$$R''' = \sqrt{R' \cdot R''},$$

гдѣ R' и R''—сопротивленіе бетона раздробленію и разрыву.

По Bauschinger'у между сопротивленіемъ срѣзыванію R''', сопротивленіемъ разрыву R'' и сопротивленіемъ раздробленію R'—существуетъ слѣд. зависимость:

Отношеніе.	Продолжительность затвердѣванія въ недѣляхъ.	Составъ бетона: раст. щеб. 1 : 0		раст. щеб. 1 : 3		раст. щеб. 1 : 6	
		Затвердѣваніе.					
		На воздухѣ.	Въ водѣ.	На воздухѣ.	Въ водѣ.	На воздухѣ.	Въ водѣ.
$\frac{R'''}{R''}$ . .	1	1,25	1,27	1,23	1,30	1,25	1,29
	4	1,24	1,25	1,16	1,26	1,21	1,30
	104—113	1,35	1,47	1,23	1,39	1,42	1,56
$\frac{R'''}{R'}$ . .	1	0,16	0,15	0,14	0,14	0,15	0,15
	4	0,13	0,14	0,13	0,13	0,15	0,14
	104—113	0,12	0,09	0,14	0,11	0,17	0,12

Такимъ образомъ съ увеличеніемъ продолжительности затвердѣванія отношеніе $\frac{R'''}{R''}$ увеличивается, а $\frac{R'''}{R'}$ уменьшается, что объясняется тѣмъ, что съ теченіемъ времени сопротивленіе раздробленію растетъ всего быстрѣе, затѣмъ слѣдуетъ сопротивленіе срѣзыванію и послѣднее мѣсто занимаетъ сопротивленіе разрыву. Сопротивленіе срѣзыванію въ 1,25 — 1,5 болѣе сопротивленія разрыву, составляя лишь $^1/_{10}$ — $^1/_7$ отъ сопротивленія раздробленію. Тѣмъ же изслѣдователемъ замѣчено было, что сопротивленіе срѣзыванію возрастаетъ въ теченіе 2-хъ лѣтъ *).

Въ дополненіе къ даннымъ о коэффиціентѣ тренія различныхъ породъ камней, указаннымъ въ таблицѣ на слѣдующей страницѣ, приведемъ еще слѣдующія значенія величинъ угловъ тренія, каковыя данныя необходимы при проектированіи кружалъ. Обыкновенно уголъ тренія для камней принимается въ 33° безъ раствора и въ 26° съ растворомъ. При сооруженіи вышеуказанныхъ мостовъ Castelet, Lavaur и Antoinette были сдѣланы опыты для опредѣленія величины угла тренія, при чемъ оказалось:

Для известняка грубо околотаго —	на известковомъ растворѣ . . .	40° — 28°
Для слопстаго известняка:	на известковомъ растворѣ . .	48° — 25°
	на цементномъ растворѣ . . .	39° — 25°
Для мелкозернистаго известняка:	на известковомъ растворѣ . .	41° — 36°
	на цементномъ растворѣ . . .	43° — 25°
Для кирпича:	на известковомъ растворѣ . .	90° — 58°
	на цементномъ растворѣ . . .	75° — 35°
Для гранита на известковомъ растворѣ		44° — 33°

*) Въ бетонномъ мостѣ чрезъ р. Дунай близъ Munderkingen'а сопротивленіе срѣзыванію въ бетонномъ основаніи составляетъ 3,4 $\frac{\text{кил.}}{\text{см.}^2}$ или 1,36 $\frac{\text{пуд.}}{\text{дм.}^2}$.

а) Данныя Баушингера относительно сопротивленія намней *).

Наименованіе камней и растворовъ.	Направленіе дѣйствія силы относительно естественной постели камней.	Сопротивленіе: Разрыву. Временное сопротивленіе.	Разрыву. Коэффиціентъ упругости.	Раздробленію. Временное сопротивленіе.	Раздробленію. Коэффиціентъ упругости.	Скалыван. Временное сопротивленіе.	Излому. Временное сопротивленіе.	Примѣчаніе.	Коэффиціенты тренія по Morin и Rennie. Названіе матеріаловъ.	Коэффиціентъ тренія при гладкихъ поверхностяхъ.
		Въ килограммахъ на квадратный сантиметръ.								
Граппитъ (черно-бѣлый) близъ Пассау	⊥	44,5	510.000	1.030	490.000	109—90	149	По Баушингеру, прочное сопротивленіе камней и раствора: разрыву, скалыванію, изгибу и сцѣпленію — слѣдуетъ принять въ $^1/_{10}$ отъ временнаго сопротивленія. Прочное сопротивленіе раздробленію слѣдуетъ считать въ $^1/_{10}$ при благопріятныхъ условіяхъ, въ $^1/_{20}$ — при легкихъ сотрисеніяхъ и въ $^1/_{40}$ — при сильныхъ сотрясеніяхъ и въ тонкихъ быкахъ.	Оолитъ по сухому оолиту.	0,74
	∥	32,5	270.000	1.020	440.000	93—127	210			
Желтый граппитъ тамъ-жо.	⊥	22,0	150.000	880— 990	288.000	60— 75	95—100		Раковистый известнякъ по сухому оолиту.	0,75
	∥	19,0	120.000	850—1.000	184.000	82—100	92			
Змѣевикъ	⊥	50,0	—	1.070—1.970	—	90— 66	300			
	∥	—	—	1.720—1.400	—	78—159	250			
Раковистый известнякъ	—	27,0	—	440	—	51—65	69		Кирпичъ по сухому оолиту.	0,67
Доломитъ (близъ Кельгейма)	⊥	15 и 23	435.000	1.090—1.280	530.000	78—87	157			
	∥	32 и 36	400.000	980—1.110	560.000	64—55	128			
Бѣлый песчаникъ (близъ Кобурга)	∥	4,2—3,6	—	262	—	13	—		Оолитъ по оолиту, на которомъ тонкій слой гидравлическаго раствора поелѣ 15 минутнаго соприкасанія.	0,74
	⊥	5,5—3,6	—	316	—	16	30			
Зеленоватый песчаникъ (близъ Кельгейма)	∥	12,5	120.000	255	100.000	17	—			
	⊥	—	—	310	86.000	32	50			
Машин. кирпичъ, сильнообожженый	—	5,0—6,4 и 20	—	—	—	56—66	—			
Тоже, слабо-обожженый	⊥	4,0—6,0	—	—	—	16,5	—		Твердый известнякъ по известняку.	0,70
	∥	—	—	—	—	10	—			
Клинкеръ	—	20	—	720	—	38	—			
Обыкновенный кирпичъ	—	—	—	187	—	—	—		Кирпичъ по твердому известняку	0,67
Машинный кирпичъ	—	—	—	230	—	—	—			
Кирпичная кладка на цементномъ растворѣ 1:3 поелѣ 90 дней	⊥	—	—	95 Обыкнов. 0,63 отъ сопротивленія кирпича.	—	—	—		Тесаный граппитъ по грубо-обтесанному граппиту.	0,66
Тоже на растворѣ изъ гидравлической извести 1:3	⊥	—	—	61	—	—	—			
Тоже на обыновенномъ растворѣ 1:3′	⊥	—	—	51	—	—	—		Тоже на свѣжемъ растворѣ.	0,49

*) Bau-Constructions-Lehre von Franenholz.

Уголъ тренія камня по доскамъ оказался:

Для слоистаго известняка	43° — 25°
Для мелкозернистаго известняка	40° — 37°
Для кирпича	44° — 37°
Для гранита	42° — 27°

б) По даннымъ Механической Лабораторіи Инст. Инж. П. С. имѣемъ слѣдующія значенія временного сопротивленія камней раздробленію въ кил. на кв. сант.

Сердобольскій гранитъ.	Питерлакскій гранитъ мелкозернистый.	Питерлакскій гранитъ крупнозернистый.	Путиловская плита.		Бутовая плита ломокъ Пск.-Рижск. ж. д.		Раковистый известнякъ.		Шлаковый кирпичъ.	Боровичскій кирпичъ.		Кирпичъ Никол. ж. д.	
			Ненасыщенная.	Насыщенная.	Ненасыщенная.	Насыщенная.	Ненасыщенный.	Насыщенный.		Ненасыщенный.	Насыщенный.	Ненасыщенный.	Насыщенный.
1730	1764	1210	1252	820	1125	808	327	294	110	112	103	289	165

в) При сооруженіи бетоннаго моста черезъ Eyach близъ Imnau съ пятовыми и ключевымъ шарнирами изъ гранита, сдѣланы были Bach'омъ испытанія надъ гранитомъ, при чемъ оказались нижеслѣдующіе результаты, сопоставленные для сравненія съ чугуномъ:

	Граннтъ въ $\frac{\text{кил.}}{\text{см.}^2}$	Чугунъ въ $\frac{\text{кил.}}{\text{см.}^2}$
Сопротивленіе раздробленію	1006	7510
» излому	83,8 *)	2765
» скалыванію (при скручиваніи) .	77,6	1680
» разрыву.	45,4	1560

г) Нельзя не имѣть въ виду, что форма отдѣльныхъ камней имѣетъ также вліяніе на величину сопротивленія раздробленію.

Такъ, Bauschinger получилъ слѣдующіе результаты для одного и того же сорта камня (песчаника).

№	Сторона a въ сант.	Сторона b въ сант.	Высота h въ сант.	Площадь ab въ кв. сант.	Временное сопротивленіе въ $\frac{\text{кил.}}{\text{см.}^2}$
1	9,95	9,85	9,6	98,01	680
2	10,00	9,85	9,7	98,50	685
3	6,00	5,85	5,7	35,10	670
4	5,2	5,2	5,05	27,04	690
5	4,8	4,7	1,1	22,56	1950
6	5,0	4,6	1,1	23,00	1910
7	4,4	9,7	1,1	42,68	2140

Сравненіе №№ 1 — 4 съ №№ 5 — 7 показываетъ, что съ уменьшеніемъ высоты призмы сопротивленіе раздробленію увеличивается; изъ сравненія №№ 5

*) Напряженіе опредѣлено по формулѣ: $R = \frac{6M}{bh^2}$.

и 6 съ № 7 слѣдуетъ, что при одинаковой высотѣ сопротивленіе увеличивается вмѣстѣ съ увеличеніемъ площади основанія.

Если сопротивленіе опредѣлено изъ опытовъ надъ кубикомъ, то сопротивленіе плоскаго, низкаго камня будетъ болѣе, а сопротивленіе высокаго камня, наоборотъ, менѣе *).

д) Интересны опыты Bauschinger'a, Durand-Claye и Bach'a, показавшіе, что если *площадь тѣла, производящаго давленіе, менѣе площади камня, принимающаго давленіе, то напряженіе при разрушеніи, отнесенное на площадь всего камня менѣе, а отнесенное на площадь давящаго тѣла болѣе по сравненію съ тѣмъ случаемъ, когда площади тѣлъ давящаго и принимающаго давленіе одинаковы.* Тотъ же результатъ получается, если боковыя грани принимающаго давленіе параллелепипеда скошены вверху, такъ что камень представляетъ внизу параллелепипедъ, а вверху усѣченную четырехгранную пирамиду. Такъ, по Bauschinger'y, если h — полная высота параллелепипеда; a и b — стороны основанія: a' и b' — стороны верхней площадки; x — высота срѣзки; R и R' — временныя сопротивленія, отнесенныя на площади $a \times b$ и $a' \times b'$, то для песчаника съ временнымъ сопротивленіемъ $R_0 = 685 \frac{\text{кил.}}{\text{см.}^2}$ въ случаѣ одинаковой площади тѣлъ давящаго и принимающаго давленіе, при высотѣ кубика 10 сант. оказалось:

№	h см.	a см.	b см.	ab см.^{2}	x см.	a' см.	b' см.	$a'b'$ см.^{2}	R кил. см.^{2}	R' кил. см.^{2}
1	9,8	10,1	9,9	100,0	1	8,0	7,9	63,2	510	807
2	9,7	9,8	9,9	97,0	2	7,9	8,0	63,2	460	712
3	9,7	9,95	9,9	98,5	3	8,05	8,05	64,8	460	702
4	9,85	10,0	9,75	97,5	1	6,2	6,0	37,2	350	927
5	9,90	10,1	10,05	101,5	2	6,3	6,25	39,4	345	888
6	9,80	10,1	9,8	99,0	3	6,2	6,0	37,2	325	861
7	9,80	9,9	10,0	99,0	4	5,9	6,1	36,0	320	875
8	9,75	10,0	9,8	98,0	1	4,4	4,2	18,5	235	1243
9	9,75	9,95	9,9	98,5	2	1,2	4,2	17,6	210	1165
10	9,75	10,05	10,0	100,5	3	4,4	4,2	18,5	230	1243
11	9,85	10,10	9,61	98,5	5	4,25	4,1	17.4	200	1132

Въ другомъ ряду опытовъ съ тѣмъ же камнемъ верхъ параллелепипеда не

*) По *Bauschinger*'у:

$$R \text{ кил.} = \left(\alpha + \beta \frac{\sqrt{f}}{h}\right) \sqrt{\frac{\sqrt{f}}{\frac{u}{4}}} \text{ на кв. сант.,}$$

гдѣ f—площадь основанія бруска, u—периметръ основанія, h—высота, α и β—постоянныя. Для прямоугольныхъ призмъ изъ песчаника, если высота не многимъ болѣе поперечныхъ размѣровъ, а именно $h \leqslant 5a$ и $a = \sqrt{f}$, то: $\alpha = 310$, $\beta = 346$. Если h превосходитъ линейные размѣры поперечнаго сѣченія до 2-хъ разъ, то $\alpha = 262$, $\beta = 320$. Форма основанія имѣетъ также вліяніе; *въ одномъ рядѣ опытовъ для квадратнаго сѣченія найдено:* $\alpha = 347$, $\beta = 121$; *для* круглаго сѣченія: $\alpha = 369$, $\beta = 115$.

былъ скошенъ, но давленіе производилось чрезъ стальную призму квадратнаго сѣченія z^2:

№	h см.	a см.	b см.	ab см.^{2}	z см.	z^2 см.^{2}	R $\frac{\text{кил.}}{\text{см.}^2}$	Rz^2 $\frac{\text{кил.}}{\text{см.}^2}$
1	9,65	10,0	9,9	99,0	3,9	15,21	162	1052
2	9,70	9,85	9,9	97,5	5,7	32,49	308	923
3	9,75	10,0	9,85	98,5	7,7	60,84	477	772

чему по Bach'y удовлетворяетъ формула:

$$R_{z^2} = R_0 \sqrt[3]{\frac{ab}{z^2}}$$

Такимъ образомъ, если пробный кубикъ подвергается давленію по всей верхней площадкѣ, то временное сопротивленіе $R_0 = 685$ $\frac{\text{кил.}}{\text{см.}^2}$, если же площадь, принимающая давленіе, составляетъ около $^2/_3$ отъ площади всего камня, то, по №№ 3 обѣихъ таблицъ, сопротивленіе повышается до $702 - 772$ $\frac{\text{кил.}}{\text{см.}^2}$. Если это отношеніе около $^1/_3$, то, по № 7 первой таблицы и № 2, второй таблицы напряженіе повышается до $875 - 923$ $\frac{\text{кил.}}{\text{см.}^2}$; наконецъ при отношеніи около $^1/_6$ сопротивленіе составляетъ 1.200—1.052, т. е. увеличивается на 50%—75%.

Если же нижняя площадь кубика опирается на такую же малую площадку, какъ и площадка тѣла, производящаго давленіе, то временное сопротивленіе замѣтно понижается.

Durand-Claye *) произвелъ рядъ опытовъ съ каменнымъ и цементнымъ кубиками, имѣвшими въ сторонѣ по $a = 10$ см.; стороны же металлическаго штемпеля квадратнаго сѣченія, помощью котораго передавалось давленіе, измѣнялись отъ 1 сант. до 8 сант. Когда давленіе распредѣлилось по всей поверхности кубика, то временное сопротивленіе камня оказалось: 84 $\frac{\text{кил.}}{\text{см.}^2}$, а цементнаго кубика: 576 $\frac{\text{кил.}}{\text{см.}^2}$. При этомъ обнаружилось:

Z см.	Камень.		Цементъ.		Z см.	Камень.		Цементъ.	
	R_a^2 $\frac{\text{кил.}}{\text{см.}^2}$	R_2^2 $\frac{\text{кил.}}{\text{см.}^2}$	R_a^2 $\frac{\text{кил.}}{\text{см.}^2}$	R_2^2 $\frac{\text{кил.}}{\text{см.}^2}$		R_a^2 $\frac{\text{кил.}}{\text{см.}^2}$	R_2^2 $\frac{\text{кил.}}{\text{см.}^2}$	R_a^2 $\frac{\text{кил.}}{\text{см.}^2}$	R_2^2 $\frac{\text{кил.}}{\text{см.}^2}$
1	12	1204	45	4468	5	48	193	262	1047
2	14	354	105	2633	6	55	152	332	920
3	24	268	140	1560	7	61	124	380	975
4	37	230	217	1357	8	56	87	431	673

По этимъ опытамъ уменьшеніе давящей площади до размѣра $\frac{1}{6}$ (№ 4) отъ площади, подвергающейся давленію увеличиваетъ нормальное сопротивленіе отъ

*) Ann. des p. et. chaus. 1887.

2,5 до 3 разъ. Если это отношеніе $\frac{1}{100}$ (№ 1), то сопротивленіе увеличивается противъ нормальнаго въ $\frac{1204}{84} = 14{,}3$ раза для камня и въ $\frac{4468}{576} = 8$ разъ для цемента. Эти опыты весьма существенны при оцѣнкѣ факта, что клинья свода въ мѣстахъ соприкасанія съ свинцовыми прокладками испытываютъ высокое давленіе $\left(\text{до } 120 \frac{\text{кил.}}{\text{см.}^3}\right)$, относительно котораго расчитываются прокладки.

Для того, чтобы выяснить, насколько увеличится сопротивленіе камня, если одна изъ сторонъ площади давящаго тѣла равняется сторонѣ камня, принимающаго давленіе, а только другая сторона меньше (напр., въ шарнирахъ каменныхъ мостовъ), Bach, по предложенію Leibbrand'a, произвелъ рядъ опытовъ, въ которыхъ длина b металлическаго штемпеля равнялась длинѣ камня, а ширина z штемпеля измѣнялась отъ 0,5 см. до 6,03 см.

При этомъ оказалось, что:

при ширинѣ верхней площадки кубика:	a.... 6,46;	10,04:	10,01;	10,02;	9,99;	9,96	см.
при длинѣ верхней площадки кубика:	b.... 6,03;	9,99;	10,01;	10,03;	9,95;	10,02	»
при высотѣ кубика:	h.... 6,00;	9,89;	9,85;	9,82;	9,84;	9,84	»
при ширинѣ стального штемпеля:	z.... 6,03;	2,5;	2,0;	1,5;	1,0;	0,5	»
напряженіе на площадь:	ab.... 653;	232;	188;	156;	120;	102	$\frac{\text{кил.}}{\text{см.}^2}$
напряженіе па площадь:	zb.... 653;	926;	943;	1044;	1193;	2050	»

Разсматривая таблицу Bauschinger'a и данныя Bach'a относительно временнаго сопротивленія камней разрыву и излому, можно подмѣтить, что напряженіе въ моментъ разрушенія при *изломѣ* значительно *болѣе* напряженія при равномѣрномъ *разрывѣ*. Этотъ фактъ уже давно извѣстенъ (Bauschinger, Durand-Claye, Gillmore, Bach, Föppl) и особенно рѣзко проявляется въ отношеніи чугуна, камней, растворовъ—вообще матеріаловъ съ неодинаковымъ сопротивленіемъ раздробленію и разрыву. Причинъ нѣсколько. Во-первыхъ, формула $R = \frac{Mz}{I}$, справедливая лишь въ предѣлахъ упругости, теряетъ уже свое значеніе за предѣломъ упругости. Если даже допустить, что она примѣнима и что сопротивленія раздробленію и разрыву одинаковы (желѣзо, сталь), то временное сопротивленіе при изломѣ должно быть болѣе временнаго сопротивленія при разрывѣ, такъ какъ между отдѣльнымп фибрами существуетъ сцѣпленіе, благодаря чему волокна, ближайшія къ нейтральному волокну, препятствуютъ удлиненію или сжатію крайнихъ волоконъ, т. е. какъ бы имъ помогаютъ, повышая сопротивленіе, почему по Bach'у данныя о сопротивленіи разрыву камней, растворовъ и проч. не даютъ никакого указанія относительно сопротивленія излому, и слѣдовало бы всегда опытнымъ путемъ опредѣлять временное сопротивленіе при изломѣ, зависящее кромѣ того и отъ формы поперечнаго сѣченія. Föppl обращаетъ вниманіе на то, что при изслѣдованіяхъ камней на разрывъ трудно достигнуть того, чтобъ напряженіе равномѣрно распредѣлялось по всему сѣченію, что также можетъ быть вліяетъ на различіе данныхъ по разрыву и излому. Затѣмъ Bach указываетъ *), что

*) Bach. Elasticität und Festigkeit., стр. 16.

для нѣкоторыхъ матеріаловъ, какъ напр. для чугуна, камней и растворовъ — единичное удлиненіе: $i = \frac{\lambda}{L}$ не пропорціонально первой степени напряженій: $R = \frac{P}{\omega}$, а растетъ быстрѣе, т. е. $i = \frac{R^m}{E}$, гдѣ E — коэффиціентъ упругости и $m > 1$, что содѣйствуетъ тому, что нейтральная ось перемѣщается въ сторону волоконъ, подверженныхъ сжатію, при чемъ число волоконъ, подверженныхъ растяженію, увеличивается, и слѣд. сопротивленіе изгибу увеличивается.

Каменная кладка: кирпичная, бутовая и тесовая. При проектированіи каменныхъ сооруженій не столько важно знать сопротивленіе камней, кирпича и раствора раздробленію, сколько сопротивленіе раздробленію и растяженію *кладки* изъ этихъ матеріаловъ. Поэтому наиболѣе правильный пріемъ долженъ бы состоять въ томъ, чтобы приготовить кубики изъ кладки бутовой, кирпичной или бетона, опредѣлить опытомъ временное сопротивленіе кубика раздробленію и затѣмъ принять для прочнаго сопротивленія извѣстную долю опредѣленнаго такимъ образомъ временнаго сопротивленія.

Что касается численнаго значенія этой доли $\left(\text{обыкновенно около } \frac{1}{10} — \frac{1}{20}\right)$, то величина его зависитъ не только отъ неизбѣжныхъ недостатковъ исполненія и отъ возможнаго различія въ качествѣ матеріаловъ при работѣ сравнительно съ пробами, но также и отъ точности расчета. Такъ напр., если при расчетѣ принято во вниманіе вліяніе односторонней нагрузки, упругости матеріала (напр., при кладкѣ свода, когда кривая давленія перемѣщается), измѣненіе температуры, то при неравномѣрномъ сжатіи для прочнаго сопротивленія наиболѣе сжатаго ребра можно ограничиться $\frac{1}{7}$ отъ временнаго сопротивленія: въ противномъ случаѣ коэффиціентъ прочнаго сопротивленія долженъ составлять не менѣе $\frac{1}{10}$ отъ временнаго сопротивленія кубика изъ пробной кладки.

Возвращаясь къ опытному опредѣленію сопротивленія раздробленію кубиковъ изъ кладки, необходимо замѣтить, что въ большинствѣ случаевъ опыты эти крайне затруднительны и до настоящаго времени исполнены въ достаточно большомъ количествѣ линь по отношеніе къ кирпичной и бетонной кладкамъ. Такъ какъ съ другой стороны опыты надъ раздробленіемъ пробныхъ кубиковъ изъ камней и раствора, отдѣльно взятыхъ и допускающихъ незначительные размѣры образцовъ не требуютъ сложныхъ приспособленій, то желательно было бы *найти зависимость между сопротивленіемъ раздробленію кладки и сопротивленіемъ раздробленію камней и растворовъ*; опредѣляя опытнымъ путемъ двѣ послѣднія величины, можно было бы найти *расчетомъ* сопротивленіе кубика изъ пробной кладки. Къ сожалѣнію, для возможности установленія такой зависимости имѣются опытныя данныя лишь по отношенію *кирпича* и *кирпичной кладки*. Такъ, Neumann нашелъ, что кубики изъ кирпичной кладки на цементномъ растворѣ 1 : 2 выдерживаютъ вдвое мѣньшую нагрузку, чѣмъ кирпичъ. По Böhme—сопротивленіе кирпичной кладки находится въ прямой зависимости отъ качества раствора. Такъ, если принять за единицу сопротивленіе раздробленію кирпича, то сопротивленіе раздробленію кирпичной кладки составитъ:

0,44	— при	растворѣ:	1 изв. + 2 пес.
0,48	— »	»	7 изв. + 1 цем. + 16 пес.
0,55	— »	»	1 цем. + 6 пес.
0,63	— »	»	1 цем. + 3 пес.

Такимъ образомъ, если сопротивленіе кубика изъ обыкновеннаго кирпича: 187 кил. на кв. сант., то сопротивленіе раздробленію пробнаго кубика изъ кир-

пичной кладки: отъ $0{,}14 \times 187 = 82$ кил. до $0{,}63 \times 187 = 118$ кил., а прочное сопротивленіе отъ 8,2 до 11,8 кил.

Если $R_{\text{кир.}}$ — сопротивленіе раздробленію кирпича; $R_{\text{рас.}}$ — сопротивленіе раздробленію раствора, то по Böhme сопротивленіе раздробленію пробнаго кубика кладки:

для трехмѣсячной кладки:

$$R_{\text{кл.}} = 0{,}43\ R_{\text{кир.}} + 0{,}22\ R_{\text{рас.}};$$

для годовой кладки *):

$$R_{\text{кл.}} = 0{,}48\ R_{\text{кир.}} + 0{,}19\ R_{\text{рас.}}$$

въ круглыхъ цифрахъ:

$$R_{\text{кл.}} = 0{,}5\ R_{\text{кир.}} + 0{,}2\ R_{\text{рас.}}$$

Если принять $R_{\text{кир.}} = R_{\text{рас.}}$, то $R_{\text{кл.}} = 0{,}66\ R_{\text{кир.}}$

Для *каменной бутовой* кладки, за недостаткомъ опытныхъ данныхъ, эмпирической переводной формулы не установлено. Böhme предлагаетъ считать прочное сопротивленіе кладки въ $5{,}5\%$ отъ сопротивленія раздробленію камня, т. е. онъ примѣняетъ къ данному случаю средній коэффиціентъ перевода для кирпичной кладки (55%) съ десятернымъ запасомъ прочности.

Что касается сопротивленія *тесовой* кладки, то оно занимаетъ среднее значеніе между сопротивленіемъ камня и бутовой кладки.

Приведемъ немногочисленныя данныя относительно сопротивленія раздробленію каменной кладки.

а) По Rheinhard'у — пробные кубики по 0,15 м. въ сторонѣ, составленные изъ двухъ одинаковой толщины плитъ изъ песчаника, связанныхъ растворомъ (1 ц. : 2 п.), при толщинѣ слоя въ 1,5 сант., послѣ 17 дней — имѣли временное сопротивленіе отъ 340 до 401 кил. на кв. сант.; подобные же кубики изъ гранита имѣли временное сопротивленіе 450 $\frac{\text{кил.}}{\text{сант.}}$. Для прочнаго сопротивленія Rheinhard довольствуется коэффиціентомъ $\frac{1}{7} - \frac{1}{8}$ отъ временнаго сопротивленія. Такимъ образомъ, прочное сопротивленіе бутовой кладки изъ песчаника на цементномъ растворѣ: 45 $\frac{\text{кил.}}{\text{сант.}}$, а гранитной бутовой кладки: 60 $\frac{\text{кил.}}{\text{сант.}}$; при десятерномъ запасѣ имѣли бы соотвѣтственно: 37 и 45 кил. на кв. сант.

б) Ebermayer **) приготовилъ пробные кубики по 15 сант. въ сторонѣ, составленные изъ трехъ плитокъ глинистаго сланца, толщиною по 4 сант. на цементномъ растворѣ, при толщинѣ швовъ въ 1,5 сант. Цементный растворъ былъ двоякій: а) 5 ц. : 1,25 изв. : 12 пес., и b) 5 ц. : 1,25 изв. : 15 пес. Результаты оказались слѣдующіе:

Испытано послѣ приготовленія спустя	Растворъ.	Появленіе трещинъ при $\frac{\text{кил.}}{\text{см.}^2}$	Раздробленіе при $\frac{\text{кил.}}{\text{см.}^2}$
5 недѣль	*a*	180 — 290	260 — 340
	b	180	230
3 мѣсяца	*a*	180 — 210	270 — 285
	b	185	320
1 годъ	*a*	220 — 230	310 — 350
	b	130 — 180	260 — 280

*) Handbuch der Baukunde. Baskhausen, Nessenius und Housselle.

**) Fortschritte der Ingenieurwissenschaften. Gewölbte Brücken Leibbrand.

Изъ этихъ опытовъ онъ вывелъ заключеніе, что кладка изъ хорошаго матеріала можетъ быть безопасно напряжена до $20 — 30 \frac{\text{кил.}}{\text{см.}^2}$.

в) По порученію Leibbrand'a *) произведены были въ Мюнхенской лабораторіи сравнительные опыты надъ раздробленіемъ трехъ родовъ призмъ: изъ камня, раствора и кладки. А именно были приготовлены: а) двѣ призмы изъ песчаника, по 12 сант. въ сторонѣ и высотою 14 сант.; б) четыре призмы изъ каменной кладки, состоявшія изъ двухъ каменныхъ призмъ сѣченія 12×12 сант. и высотою по 14 сант., связанныхъ слоемъ цементнаго раствора толщиною 2 сант. (1 ц. : 2 п.), и наконецъ, в) четыре призмы изъ цементнаго раствора (1 ц. : 2 п.)— сѣченіемъ 12×12 сант. и высотою 14 сант. Двѣ изъ призмъ изъ кладки и раствора—испытывались послѣ 4 недѣль, а двѣ остальныя послѣ 8 недѣль. Результаты оказались слѣдующіе:

Временное сопротивленіе каменныхъ призмъ		$631 — 653 \frac{\text{кил.}}{\text{см.}^2}$
» » призмъ изъ кладки	послѣ 4 недѣль .	$340 — 389$ »
	» 8 » .	$381 — 435$ »
» » . » » раствора	послѣ 4 недѣль .	$217 — 250$ »
	» 8 » .	240 »

Этимъ результатамъ достаточно точно удовлетворяетъ формула Böhme съ коэффиціентами для кирпича, т. е.: R кл. $= 0{,}5\ R$ кам. $+ 0{,}2\ R$ раств.

Къ сожалѣнію, призма изъ кладки была вдвое выше призмъ каменной и изъ раствора,—поэтому въ этихъ опытахъ не было исключено вліяніе неодинаковой высоты пробныхъ призмъ.

в) Tourtay **) изслѣдовалъ еще вліяніе раствора въ швахъ на прочность кладки. Имъ были приготовлены кубики изъ камня по 10 и 6 сант. въ сторонѣ и параллелопипеды того же сѣченія, но высотою по 5 и 3 сант., такъ что два параллелопипеда, сложенные вмѣстѣ, образовали кубикъ. Составные кубики испытывались сложенные насухо, безъ раствора, связанные чистымъ цементомъ и цементнымъ и известковымъ растворами. Толщина швовъ измѣнялась отъ 5 до 15 мм., цементный и известковый растворъ были приготовлены въ пропорціи 1 куб. м. песку на 500 кил. цементу или извести; сопротивленіе цементнаго раствора послѣ 21 дня было: $73 \frac{\text{кил.}}{\text{см.}^2}$, а известковаго: $20 \frac{\text{кил.}}{\text{см.}^2}$. Кубики изъ цѣльнаго камня имѣли временное сопротивленіе отъ 400 до 900 $\frac{\text{кил.}}{\text{см.}^2}$; кубики изъ кладки отъ 300 до 600 $\frac{\text{кил.}}{\text{ст.}^2}$; растворъ въ швахъ начиналъ выкрашиваться при напряженіи отъ 140 до 300 $\frac{\text{кил.}}{\text{см.}^2}$. Составные кубики, въ которыхъ цементный растворъ замѣненъ былъ чистымъ цементомъ, дали такое же сопротивленіе раздробленію, какъ и цѣльные кубики. Эти результаты уже менѣе удовлетворяютъ формулѣ Böhme съ коэффиціэнтами для кирпича. Изъ этихъ опытовъ Tourtay вывелъ слѣдующія заключенія:

α) Разрушеніе раствора въ кладкѣ наступаетъ при болѣе высокомъ напряженіи, чѣмъ въ пробныхъ кубикахъ изъ раствора;

β) Сопротивленіе разрушенію раствора въ кладкѣ уменьшается съ увеличеніемъ толщины швовъ;

---

*) Ibid. **) Ann. des p. et. ch. 1885.

γ) Сопротивленіе составного кубика безъ раствора (насухо) оказалось замѣтно менѣе сопротивленія цѣльнаго кубика;

δ) Составной кубикъ, связанный чистымъ цементомъ, въ отношеніи сопротивленія, ничѣмъ не отличается отъ цѣльнаго кубика.

Всѣ вышеприведенныя данныя относились къ напряженію кладки въ пробныхъ кубикахъ. Большій интересъ представляютъ результаты опредѣленія напряженія кладки не въ пробныхъ кубикахъ, а въ сооруженіяхъ. Приведемъ интересныя данныя, добытыя Вѣнскоій комиссіеіі (1893) относительно изслѣдованія напряженія въ *сводчатой* (каменной, кирпичноіі и бетонной) кладкѣ пробныхъ сводовъ. Эти опыты имѣли цѣлью выяснить работу матеріала въ сводчатыхъ сооруженіяхъ прп предѣлѣ пропорціопальности и при появленіп первыхъ трещинъ, а также провѣрить правильность расчета каменныхъ сводовъ, какъ упругихъ арокъ.

Пзслѣдованы были четыре арки одного и того же пролета $l = 23{,}0$ метра въ свѣту, шириною 2 м., прп стрѣлѣ подъема въ 4,6 м., сдѣланныя пзъ кладки бутовоіі, кирпичной, бетонной и бетонной системы Монье. Опредѣляя прогибы этихъ арокъ подъ различными нагрузками, можно было, прнмѣняя формулы упругихъ арокъ опредѣлить коэффиціентъ упругости матеріала арки и сравнить съ коэффиціентомъ упругости матеріала каждой пзъ составныхъ частей. Результаты получились слѣдующіе:

а)	Коэффиціентъ упругости песчаника	174.000 $\frac{\text{кпл.}}{\text{см.}^2}$	
	Расчет. средній коэфф. упругости кладки .	60.400	»
б)	Коэффиціентъ упругости кирпича	111.000	»
	Расчет. коэфф. упругости кирпичной кладки .	27.800	»
в)	Коэффиціентъ упругости бетона 1:3:5. . .	74.100	» при сжатіи.
	» » » 1:3:5. . .	98.100	» при растяженіи.
	» » » 1:2:3. . .	280.000	» » »
	» » » 1:1:1. . .	264.000	» при сжатіи.
	» » » 1:1:1. . .	250.000	» при растяженіи.
	Расчет. коэф. упругости арки, ядро которой состояло изъ бетона состава 1:3:5, а наружная поверхность изъ бетона состава 1:2:3 и 1:1:1	246.000	»
г)	Коэффиціентъ упругости бетона Монье изъ 1 ч. цемента и 3 ч. песку	364.000	» при сжатіи.
	Тоже.	401.000	» при растяженіи.
	Расчет. коэффиціентъ упругости	333.800	»

Нагрузка для опытовъ бралась въ видѣ сосредоточенныхъ равныхъ грузовъ, размѣщенныхъ на полупролетѣ въ шести равноотстоящихъ пунктахъ. На каждой половинѣ свода были отмѣчены по 13 равноотстоящихъ сѣченій, въ которыхъ наблюдалось вертикальное и горизонтальное перемѣщеніе, а также и вращеніе. Сначала до извѣстнаго предѣла деформація происходила пропорціонально увеличенію нагрузки; затѣмъ деформація увеличивалась быстрѣе. По переходѣ извѣстнаго предѣла, названнаго *критическимъ*, появились трещины, т. е. раскрытіе пивовъ — преодолѣніе сцѣпленія раствора съ камнемъ или кирпичомъ, или разрывъ бетона. Несмотря на появленіе трещинъ, сводъ еще выдерживалъ дальнѣйшее увеличеніе нагрузки, пока, наконецъ, напряженіе на сжатіе не превосходило временнаго сопротивленія,—и сводъ разрушался. Нагрузка при разрушеніи превышала критическую нагрузку въ бутовой аркѣ на 30%, въ кирпичноіі на 59%,

въ бетонной — на 31%, въ аркѣ изъ бетона Моинье—на 86%. Это составляетъ весьма благопріятное свойство каменныхъ сводовъ, т. е. что послѣ преодолѣнія сопротивленія разрыву — сводъ можетъ еще въ достаточной степени сопротивляться однимъ сжимающимъ усиліямъ.

Хотя между коэф. упругости, опредѣленнымъ изъ опытовъ надъ кубиками, и коэф. упругости, вычисленнымъ изъ прогибовъ арки, оказалась довольно замѣтная разница, — но тѣмъ не менѣе пропорціональность прогибовъ нагрузокъ до извѣстнаго предѣла и достаточно близкое совпаденіе расчетныхъ прогибовъ съ дѣйствительными (если взять за основаніе коэф. упругости, опредѣленный расчетомъ для одного какого либо прогиба) убѣждаютъ, что сводъ можно расчитывать, какъ упругую арку съ задѣлапными пятами — при условіи: α) абсолютной неподвижности опоръ, β) удовлетворнтельнаго качества матеріала (въ особенности раствора) и работы, γ) полнаго затвердѣнія раствора до раскружаливанія и осторожнаго постепеннаго раскружаливанія.

Въ нижеслѣдующей таблицѣ (стр. 502—505) выписаны главнѣйшія данныя и результаты расчета. Знаки + и — выражаютъ растяженіе и сжатіе.

Дальнѣйшія подробности указаны въ курсѣ Строительной Механики.

Свинцовыя прокладки. Bach *) произвелъ рядъ опытовъ надъ временнымъ сопротивленіемъ раздробленію, т. е. сопротивленіемъ вытеканію свинцовыхъ цилиндрическихъ прокладокъ. Результаты слѣдующіе:

Такимъ образомъ, съ уменьшеніемъ высоты съ 7,05 см. до 1,07 см. — предѣльное напряженіе, при которомъ не происходить вытеканія, повышается съ 46 до 105 $\frac{\text{кил.}}{\text{см.}^2}$.

Высота см.	Діаметръ см.	Площадь см.^{2}	Напряженіе въ $\frac{\text{кил.}}{\text{см.}^2}$ при которомъ не происходитъ размятченія.	Напряженіе въ $\frac{\text{кил.}}{\text{см.}^2}$ при которомъ происходитъ боковое вытеканіе.
7,05	3,525	9,76	46	51
3,47	3,53	9,79	59	69
1,01	3,48	9,51	105	126

Кубики по 8 сант. въ сторонѣ выдержали безопасно напряженіе въ 50 $\frac{\text{кил.}}{\text{см.}^2}$; при 72 $\frac{\text{кил.}}{\text{см.}^2}$ — началось вытеканіе.

Свинцовыя прокладки діаметромъ въ 16 сант. и высотою 1,5 сан. — выдержали напряженіе въ 100 $\frac{\text{кил.}}{\text{см.}^2}$; при 150 $\frac{\text{кил.}}{\text{см.}^2}$ — началось медленное вытеканіе.

Прибавленіе антимонія до 5% значительно повышаетъ сопротивленіе. Такъ, пластинки толщиною 2,5 сант., имѣвшія въ сторонѣ по 7 сант., выдерживали напряженіе до 400 $\frac{\text{кил.}}{\text{см.}^2}$ и начинали вытекать при 500 $\frac{\text{кил.}}{\text{см.}^2}$.

Грунты. Въ существующихъ мостахъ напряженіе основанія измѣняется отъ 2,25 кнл. до 8,00 на квадр. сант. (0,9—3,2) $\frac{\text{пуд.}}{\text{дм.}^2}$.

Среднее безопасное сопротивленіе обыкновеннаго грунта составляетъ при равиомѣрномъ сжатіи на квадратный сантиметръ:

для ианосныхъ груптовъ . . . . . 1—1,2 кил. (0,4—0,5) $\frac{\text{пуд.}}{\text{дм.}^2}$;
» песчаио-глинистыхъ . . . . . 2—3 » (0,8—1,2) » ;
» твердыхъ глинистыхъ и песчаныхъ . . . 4—5 » (1,6—2,0) » ;
» очень твердыхъ глинистыхъ съ каменной подпочвой . . . . . 7—12 » (2,8—4,8) »

*) Fortschritte der Ingenieurwissenschaften. Gewölbte Brücken.

$L = 23{,}758$ метръ расчетный пролетъ, $f = 4{,}502$ м., ширина свода 2 метра.	При предѣлѣ пропорціональности.						При критической нагрузкѣ.						Разрушеніе.
	Полная нагрузка на полупролетъ въ кил.	Напряженіе въ крайнихъ волокнахъ въ кил. на кв. сант.	Нагруженная половина.		Ненагруженная половина.		Полная нагрузка на полупролетъ въ кил.	Напряженіе въ крайнихъ волокнахъ въ кил. на кв. сант.	Нагруженная половина.		Ненагруженная половина.		Полная нагрузка на полупролетъ въ кил.
			Въ пятѣ.	Въ наиболѣе опасномъ сѣченіи.	Въ наиболѣе опасномъ сѣченіи.	Въ пятѣ.			Въ пятѣ.	Въ наиболѣе опасномъ сѣченіи.	Въ наиболѣе опасномъ сѣченіи.	Въ пятѣ.	
а) Сводъ изъ бутовой кладки кругового очертанія. Толщина въ ключѣ 0,60 м., въ пятахъ 1,10 м. Вѣсъ песчаника въ кубич. метрѣ отъ 2.580 — 2.620 кил., въ среднемъ 2.590 кил. Коэффиціентъ упругости при сжатіи отъ 137.000 до 271.000, въ среднемъ 174.000 $\frac{\text{кил.}}{\text{см.}^2}$. Временное сопротивленіе при раздробленіи отъ 610 до 920 кил., въ среднемъ 770 кил. Вѣсъ кубич. метра кладки отъ 1.790 до 2.030, въ среднемъ 1.950 кил. Временное сопротивленіе раствора раздробленію отъ 56 до 132 кил., въ среднемъ 80 $\frac{\text{кил.}}{\text{см.}^2}$. Составъ раствора: 1 ц. и 2,6 песку. Раскружаливаніе было сдѣлано послѣ 6 недѣль; осадка: 0,5 мм. Испытаніе началось 2 мѣсяца спустя послѣ замыканія свода. При критической нагрузкѣ наибольшій вертик. прогибъ оказался въ нагруженной половинѣ въ сѣченіи 7—8,45 мм. и въ сѣченіи 9—7,60 мм. съ горизонтальнымъ перемѣщеніемъ въ 4,5 мм. и 5,6 мм. Трещина была съ наружной стороны въ сѣченіяхъ 1 обѣихъ половинъ и съ внутренней стороны въ сѣченіяхъ 5 и 9 нагруженной половины и въ сѣченіяхъ 7 и 11 ненагруженной половины. Замѣчательно, что за исключеніемъ сѣченій 1—трещина на наружной сторонѣ появилась лишь въ моментъ разрушенія; слѣдовательно разрушеніе свода было вызвано не вслѣдствіе чрезмѣрнаго напряженія на раздробленіе, а вслѣдствіе разрыва кладки. Разрушеніе—постепенное . .	34.300	R_1	— 5,4	14,2	— 3,4	11,2	55.736	R_1	— 9,4	20,8	— 7,5	17,0	74.022
б) Кирпичный сводъ кругового очертанія. Толщина въ ключѣ 0,60 м., въ пятахъ 1,1 м. Вѣсъ кирпича въ кубич. метрѣ 1.420 — 1.700, въ среднемъ 1.580 кил. Коэффиціентъ упругости при сжатіи 45.000—162.000, въ среднемъ 111.000 кил. Временное сопротивленіе при сжатіи 100—290, въ среднемъ 200 кил. Составъ раствора: 1 ц. и 2,6 песку. Толщина швовъ 8 мм. Раскружаливаніе сдѣлано послѣ 6 недѣль съ осадкой въ 5,25 мм.; испытаніе сдѣлано спустя два мѣсяца. При появленіи первыхъ трещинъ наибольшая осадка была въ сѣченіи 7—17,9 мм. съ горизонтальнымъ перемѣщеніемъ въ 13,8 мм. По снятіи нагрузки трещина закрылась, но прежній видъ свода не возстановился; осадка и горизонтальное перемѣщеніе въ сѣченіи 7 оказались: 12 мм. и 9,9 мм. При дальнѣйшей нагрузкѣ прогибы и перемѣщенія въ обоихъ сѣченіяхъ 7—постепенно увеличивались и незадолго до разрушенія достигли 28,6 и 20,4 мм. въ нагруженной половинѣ и 29,8 и 17,3—въ ненагруженной половинѣ. Трещины были только въ мѣстахъ соприкасанія раствора къ кирпичу; въ одномъ только мѣстѣ съ внутренней стороны кирпичъ оказался раздробленнымъ. Трещины шли почти во всю высоту свода (около опоръ) и появлялись въ тѣхъ же горизонтальныхъ сѣченіяхъ, какъ и въ сводѣ изъ бутовой кладки. Разрушеніе—постепенное	34.300	R_1	— 4,7	15,8	— 2,5	9,1	42.200	R_1	— 5,8	18,0	— 3,5	10,9	67.540
		R_2	15,6	— 2,3	15,8	— 2,7		R_2	21,4	— 6,7	21,9	— 7,4	
		R_2	12,1	— 5,6	11,0	— 3,0		R_2	13,8	— 7,0	12,8	— 4,4	
в) Бетонный сводъ кругового очертанія. Постоянная толщина свода 0,70 м. Ядро свода состояло изъ бетона въ составѣ 1 ц. : 3 пес. : 5 щебн., верхняя оболочка изъ бетона состава 1 : 2 : 3, а нижняя — изъ бетона состава 1 : 1 : 1													
		R_1	—	28,8	— 13,6	—	63.250	R_1	—	31,5	—15,4	—	83.275
		R_2	—	— 15,0	26,2	—		R_2	—	— 17,0	28,4	—	

	1:3:5	1:2:3	1:1:1
Вѣсъ кубич. метра	2.170	2.100	2.220
Коэф. упругости при сжатіи. . .	74.100	—	264.000
Врем. сопротивл. при раздробл. .	107	260	156
Коэф. упругости при растяженіи .	98.000	280.000	250.000
Врем. сопротивл. при разрывѣ . .	9	25	18

Бетонированіе происходило одновременно во всю ширину свода и по направленію отъ пятъ къ ключу. Трамбованіе производилось по направленію касательному къ направляющей кривой свода. Толщина слоевъ измѣнялась отъ 0,14 до 0,56 м. Нарощеніе свода по длинѣ и по высотѣ происходило при не-

$L = 23{,}758$ метръ расчетный пролетъ, $f = 4{,}502$ м., ширина свода 2 метра.	При предѣлѣ пропорціональности.						При критическои нагрузкѣ.						Разрушеніе.
	Полная нагрузка на полупролетъ въ кил.	Напряженіе въ крайнихъ волокнахъ въ кил. на кв. сант.	Нагруженная половина.		Ненагруженная половина.		Полная нагрузка на полупролетъ въ кил.	Напряженіе въ крайнихъ волокнахъ въ кил. на кв. сант.	Нагруженная половина.		Ненагруженная половина.		Полная нагрузка на полупролетъ въ кил.
			Въ пятѣ.	Въ наиболѣе опасномъ сѣченіи.	Въ наиболѣе опасномъ сѣченіи.	Въ пятѣ.			Въ пятѣ.	Въ наиболѣе опасномъ сѣченіи.	Въ наиболѣе опасномъ сѣченіи.	Въ пятѣ.	

премѣнномъ условіи, чтобы предыдущіе слои не были еще затвердѣвшими; различный составъ бетона употреблялся въ зависимости отъ предполагаемаго напряженія; тамъ, гдѣ предполагалось наибольшее вытягиваніе, располагали слои бетона съ болѣе сильнымъ растворомъ. При раскружаливаніи послѣ 6 недѣль осадка была 0,6 мм.; испытаніе начато $2^1/_2$ мѣсяца поелѣ окончанія. При критическоій нагрузкѣ наибольшіе прогибы и горизонтальныя перемѣщенія были въ сѣченіи 7—нагруженной половины, именно 9,55 мм. и 6,30 мм. и въ сѣченіи 7 ненагруженной половины: 6,50 мм. и 3 мм. По снятіи нагрузки прогибы и перемѣщенія умепьшились до 5,85 мм. и 4,15 мм., 3,40 мм. и 2,05 мм. Разрушеніе свода произошло сразу. Незадолго до разрушенія въ указанныхъ выше сѣченіяхъ прогибы и перемѣщенія были въ нагруженной половинѣ: 12,15 мм. и 7,8 мм., а въ ненагруженной: 8,85 и 2,05 мм. Направленіе трещинъ неправильное. Изслѣдованіе разрушеннаго свода показало, что въ мѣстахъ соприкасанія бетона различнаго состава происходило при ударѣ разслаиваніе, что указываетъ на предпочтительность примѣненія бетона однообразнаго состава. Въ нѣкоторыхъ мѣстахъ, несмотря на 3-мѣсячный срокъ—бетонъ оказался еще не окрѣпшимъ.

г) Сводъ изъ бетона Монье параболическаго очертанія. Толщина въ ключѣ 0,35 м., въ пятахъ 0,60 м. Составъ бетона: 1 ц. : 3 песку. Вѣсъ 2.310 кил.; временное сопротивленіе при раздробленіи 200 кил.; коэффиціентъ упругости при растяженіи 400.000 кил.; временное сопротивленіе при разрывѣ 17 кил. Двѣ металлическія сѣтки. Толщина продольныхъ проволокъ : 1,4 сант., поперечныхъ : 0,7 сант., величина клѣтокъ 6,5 сант., такъ что на погон. метръ по ширинѣ и по длинѣ приходится по 15 проволокъ. Продольныя проволоки продолжены внутрь устоя на длину 1,8 м. Нижняя сѣтка отстояла на 5 — 6 сант. отъ внутреннеій поверхности свода, а верхняя — на 8 сант. отъ верхнеій поверхности . . . . . 56.693 R_1 −30,5 58,4 −37,0 36,8 78.525 R_1 −41,7 78,0 −52,0 51,2 146.120

R_2 43,4 −45,5 49,8 −27,7 R_2 58,6 −63,8 68,4 −40,0

Установивъ кружало съ опалубкоій, расположили на неій нижнюю сѣтку, подложивъ подъ нее отдѣльныя щебенки, такъ что она отстояла отъ опалубки на 5—6 сант. Затѣмъ начали бетонировать сводъ одновременно съ 4-хъ пунктовъ по направленію къ ключу, т. е., начиная отъ пятъ и отъ сѣченіій, расположенныхъ по серединѣ между пятоій и ключомъ свода, такъ что смыканіе свода происходило одновременно въ трехъ пунктахъ. Бетонъ располагали слоями вышиною въ 15 сант. одновременно во всю ширину свода; трамбованіе происходило по радіальному направленію. Бетонъ продавливался сквозь нижнюю сѣтку. Сложивъ своды на толщину менѣе проектноій на 8 сант., положили вторую сѣтку и докончили бетонированіе свода. Раскружаливаніе сдѣлано 6 недѣль поелѣ окончанія свода, съ осадкоій въ 1,25 мм. Къ испытанію приступлено черезъ 11 недѣль, считая со дня замыканія свода. При критическоій нагрузкѣ (6800 кил. на пог. м.) въ сѣченіи 7 нагруженноій половины прогибъ и перемѣщеніе составляли: 11,9 мм. и 8,45 мм., а въ сѣченіи 7 ненагруженноій половины поднятіе вверхъ—16,20 мм. и перемѣщеніе 8,75 мм.; при увеличеніи нагрузки до 8675 кил. на пог. м. эти же прогибы и перемѣщенія были: 19,45 и 12,95, а въ ненагруженной половинѣ: 26,15 и 14,60. По снятіи нагрузки трещины закрылись, но прогибы были: 8,95 и 8,30 и въ ненагруженной половинѣ—11,20 и 5,65 мм. При нагрузкѣ: 11900 кил. на пог. м.—эти же прогибы и перемѣщенія достигали размѣровъ: 47,40 и 30,20, а въ ненагруженной половинѣ—62,90 мм. и 37,10 мм. При нагрузкѣ: 12706 кил. на пог. м. — наступило медленное разрушеніе. Число трещинъ очень большое и преимущественно радіальнаго направленія.

Сопротивленіе искусственно уплотненнаго грунта составляетъ на квадратный саптиметръ при толщинѣ 2-хъ метровъ насыпного песчанаго грунта . . . . . 2—3 кил. (0,8—1,2) $\frac{\text{пуд.}}{\text{дм.}^2}$;

при ростверкѣ . . . . . 2—4 » (0,8—1,6) » ;

при слоѣ бетона толщиною 1 метръ на несжимаемомъ груптѣ . . . . . 4—5 » (1,6—2) » ;

а при сжимаемомъ груптѣ . . . . . 2,5 » (1,00) » ;

при уплотненіи слабаго грунта сваями, когда на каждые 0,8 квадр. метра приходится одна свая съ сопротивленіемъ 5000 — 7500 килограммовъ, допускается напряженіе на квадр. саптиметръ . . 0,8—1,2 » (0,32—0,48) » ;

при сопротивленіи сваи въ 25000 килограм., допускается напряженіе . . . . . 2—4 » (0,8—1,6) » ;

когда сваи забиты частокомъ вплотную, допускается напряженіе . . . . . 4—7 » (1,6—2,8) » ;

прп виитовыхъ сваяхъ въ песчаныхъ грунтахъ . 8—12 » (3,2—4,8) » ;

килограм. на кв. сант. лопасти, плп не болѣе 45 кил. на кв. сант. полн. сѣченія. — пудовъ на кв. дюймъ лопасти.

Чѣмъ глубже закладывается основаніе, тѣмъ большее напряженіе можетъ быть допущено; такъ, напримѣръ, при заложеніи кессоповъ въ грунтъ на глубину 6—8 саженъ наибольшее напряженіе при неравномѣриомъ сжатіи допускается для глинистыхъ грунтовъ въ 4,5 пуда на квадратный дюймъ. Вообще для мостовъ съ арочными или балочными неразрѣзными фермами напряженіе основанія должно быть понижено сравнительно съ разрѣзными балочными фермами. Въ каменныхъ віадукахъ Берлинской окружной дороги — напряженіе песчанаго грунта основанія составляетъ 4,5 $\frac{\text{кил.}}{\text{см.}^2}$.

При изслѣдованіи грунта пробной нагрузкой слѣдуетъ обратить особенное вниманіе на толщину слоя, на которомъ предположено основать сооруженіе. Пусть напр., подъ этимъ грунтомъ, выдержавшимъ давленіе p на кв. единицу отъ пробнаго цилиндрическаго столба діаметромъ d, — находится болѣе слабый грунтъ съ допускаемымъ напряженіемъ p'. Если толщина верхняго, болѣе плотнаго слоя—e, то удовлетворительные результаты могли получиться отъ того, что сопротивленіе срѣзыванію по периметру столба грунта на величину поверхности: $\pi . de$ соотвѣтствовало недостающему сопротивленію: $\frac{\pi d^2}{4}(p - p')$.

Слѣд., напряженіе при срѣзываніи слоя толщиною e было въ такомъ случаѣ:

$$\frac{\pi d^2}{4} \frac{(p - p')}{\pi de} = \frac{d(p - p')}{4e},$$

и оно тѣмъ значительнѣе, чѣмъ болѣе d.

Если площадь основанія сооруженія значительно болѣе площади пробнаго столба $\left(\text{т. е. } \frac{\pi d^2}{4}\right)$, то легко можетъ случиться, что напряженіе на срѣзываніе по периметру превзойдетъ временное сопротивленіе грунта срѣзыванію и тогда неизбѣжно произойдетъ осадка, не смотря на удовлетворительныя пробныя испытанія.

Коэффиціентъ *тренія* камня по глинистому грунту принимается около 0,4; для влажныхъ грунтовъ коэффиціентъ слѣдуетъ уменьшить; коэффиціентъ трепія камня по доскамъ составляетъ около: 0,7.

VI.

Общія данныя относительно основныхъ размѣровъ пролетнаго етроенія и соображенія относительно расположенія моста.

Длина фермъ. — Пролетъ въ свѣту и расчетный пролетъ. — Ширина моста. — Габаритъ подвижного состава и предѣлы приближенія къ постояннымъ устройствамъ. — Продольный и поперечный уклоны мостового полотна. — Возвышеніе полотна проѣзжей части и фермъ надъ горизонтомъ высонихъ водъ.—Косина мостовыхъ фермъ.—Соображенія относительно расположенія моста.

Длина мостовой фермы находится въ зависимости отъ типа фермы и величины пролета въ свѣту. Обыкновенно различаютъ *пролетъ въ свѣту*, т. е. разстояніе между лицевыми гранями опоръ, и *расчетный пролетъ*—разстояніе между осями опорныхъ подушекъ. Слѣд., длина фермы съ опорными стойками составится изъ расчетнаго пролета съ прибавленіемъ двойного разстоянія отъ оси опорной стойки до ближайшаго конца фермы, каковое обыкновенно равно половинѣ ширины опорной стойки. При опредѣленіи усилій въ мостовой фермѣ берется въ основаніе расчета *расчетный* пролетъ. Для перехода отъ пролета въ свѣту l къ расчетному L могутъ служить слѣдующія данныя:

а) для балочныхъ *однопролетныхъ* фермъ:

$$L = (1 + \alpha)\, l,$$

причемъ при:

$l =$	8 с.	15 с.	20 с.	25 с.	30 с.	40 с.	50 с.
$\alpha =$	0,08	0,05	0,04	0,035	0,03	0,025	0,02

Отступленія отъ сего въ ту и другую сторону допускаются отъ: —0,15 с. до +0,30 с.

б) для *неразрѣзныхъ* балочныхъ фермъ и фермъ Гербера со свѣсами:

крайніе пролеты:

$$L = l\left(1 + \frac{\alpha}{2}\right) + \frac{d}{2},$$

гдѣ d—толщина быка по-верху—обыкновенно около 1,50 с. — 1,70 с.

Средніе пролеты: $L' = l + d.$

Для облегченія расчета принимаютъ: $L = L'$; раціональнѣе, чтобы $L < L'$. (См. стр. 259).

в) Для фермъ поворотныхъ моетовъ:

$$L = l\left(1 + \frac{\alpha}{2}\right) + \frac{D}{2},$$

гдѣ D толщина быка, превосходящая на 0,50 с.—0,70 с. діаметръ круга катанія (равный приблизительно разстоянію между крайними фермами). Эта длина относится собственно къ крайнимъ фермамъ, касательнымъ къ кругу катанія, или ко всѣмъ фермамъ, если не имѣется круга катанія, и всѣ фермы подвѣшены къ оси вращенія или опираются на нее при помощи общей поперечной балки (фиг. 19*c*, табл. 2). Если разстояніе между фермами менѣе діаметра круга катанія или если имѣется нѣсколько фермъ, опирающихся на кругъ катанія, то указанная длина уменьшается на ординату точки пересѣченія фермы съ кругомъ катанія, взятую относительно поперечнаго діаметра круга катанія.

г) Для арочныхъ разрѣзныхъ фермъ:

$$L = l + 2n\cos\beta - 2h\sin\beta,$$

гдѣ β—уголъ, составленный касательной къ начальному элементу арки съ вертикалью. $n = \frac{\alpha l}{2}$. α—коэффиціентъ, указанный въ пунктѣ а, h высота подушки. Если высота нижней опорной подушки довольно велика, то часто $L = l$.

Для арочныхъ неразрѣзныхъ фермъ, крайніе пролеты: $L = l\left(1 + \frac{\alpha}{2}\right) + \frac{d}{2}$, а средніе пролеты: $L' = l + d$. Обыкновенно: $L' = L$.

д) Для висячихъ фермъ:

$$L = l\,(1 + \alpha) + 2ih + d,$$

гдѣ h—высота опоры (пилона), i—уклонъ передней грани опоры $\left(\text{около } \frac{1}{20}\right)$, d — толщина опоры вверху.

Ширина моста зависитъ отъ назначенія его, отъ предполагаемаго размѣра движенія, а въ извѣстныхъ случаяхъ и отъ его длины.

Для мостовъ подъ *обыкновенную дорогу* наименьшая ширина соотвѣтствуетъ назначенію его для проѣзда одного экипажа, а именно 1,5 с., не считая тро-

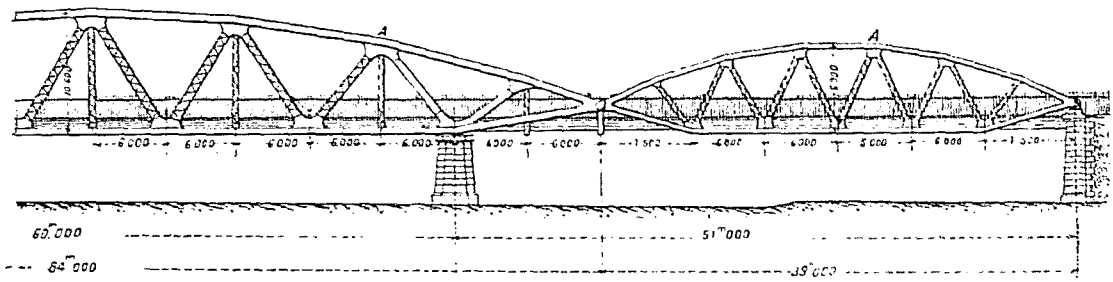


Рис. 389*а*. — Віадукъ Tolbiac въ Парижѣ (въ метр.).

туаровъ; если мостъ устраивается для проѣзда двухъ экипажей, то ширина его бываетъ не менѣе 3 с. (обыкновенная ширина шоссейныхъ мостовъ), не считая тротуаровъ шириною отъ 0,70 с. до 1,00 с. При большей дѣятельности проѣзда, ширина моста въ городахъ достигаетъ 10 с., при тротуарахъ шириною до 1,5 с. Если мостъ располагается въ предѣлахъ площади, то для меньшаго стѣсненія сообщенія ширина значительно увеличивается. (Синій мостъ черезъ р. Мойку въ Петербургѣ съ чугунными арочными фермами имѣетъ ширину въ 45 саж.). При ѣздѣ по верху, ширина моста можетъ быть сдѣлана неограниченной; при ѣздѣ по низу, во избѣжаніе высокихъ или въ крайнемъ случаѣ массивныхъ поперечныхъ балокъ, а также массивныхъ цѣпей и подвѣсокъ въ цѣпныхъ мостахъ, мостъ раздѣляется промежуточными фермами на части, при ширинѣ каждаго проѣзда не менѣе 1,75 с.—2,00 с. Раздѣленіе моста на части представляетъ для движенія нѣкоторыя неудобства, особенно если

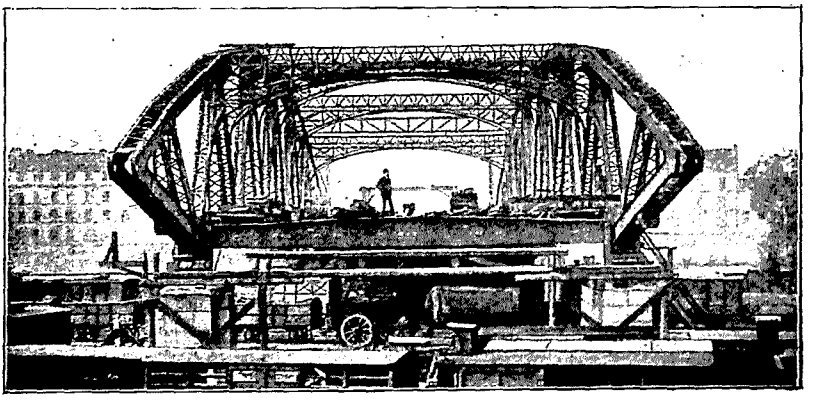


Рис. 389*б*.

движеніе дѣятельное, и поэтому стараются по возможности ограничиваться двумя фермами. Значительная ширина проѣзда при двухъ фермахъ съ ѣздою по низу встрѣчается въ построенномъ недавно въ Парижѣ віадукѣ черезъ станціонные пути Орлеанской ж. д. для проложенія улицы Tolbiac., шириною 16 м. (7,52 с.) при наибольшей величинѣ средняго пролета въ 60 м. (рис. 389*а* и 389*б*), и въ Буда-Пештскомъ висячемъ мостѣ—съ шириною въ 20 м.

Въ мостахъ подъ *желѣзную дорогу* ширина моста опредѣляется числомъ путей и габаритомъ. Мостъ устраивается для одного или нѣсколькихъ путей. Иногда каждому пути соотвѣтствуетъ самостоятельная пара фермъ (рис. 82 и 390), два или три пути поддерживаются тремя или четырьмя фермами (рис. 391) или же нѣсколько путей, обыкновенно не болѣе двухъ, поддерживаются двумя фермами (рис. 392) или обратно три, четыре фермы (рис. 393, 394) поддерживаютъ одинъ путь. Послѣднее расположеніе встрѣчается, напр., въ деревянныхъ балочныхъ и подкосныхъ мостахъ и при металличеекихъ низкихъ фермахъ. При двухъ фермахъ, какъ сказано выше, обыкновенно ограничиваются двумя путями; указанный на рис. 395 примѣръ съ четырьмя путями (мостъ Charring Cross въ Лондонѣ, шириною 49 ф. 4 д. при величинѣ пролета въ 154 ф.), представляетъ исключительный случай. Разстояніе между главными фермами зависитъ отъ того, устраивается ли мостъ съ ѣздою *по верху*, *по*

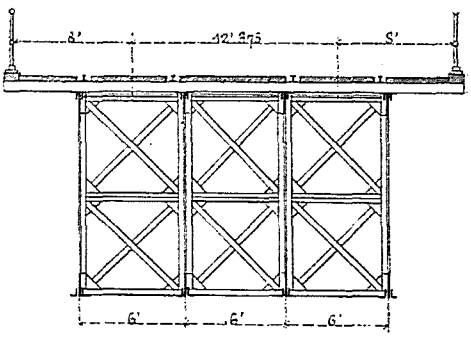


Рис. 390 (въ фут.).

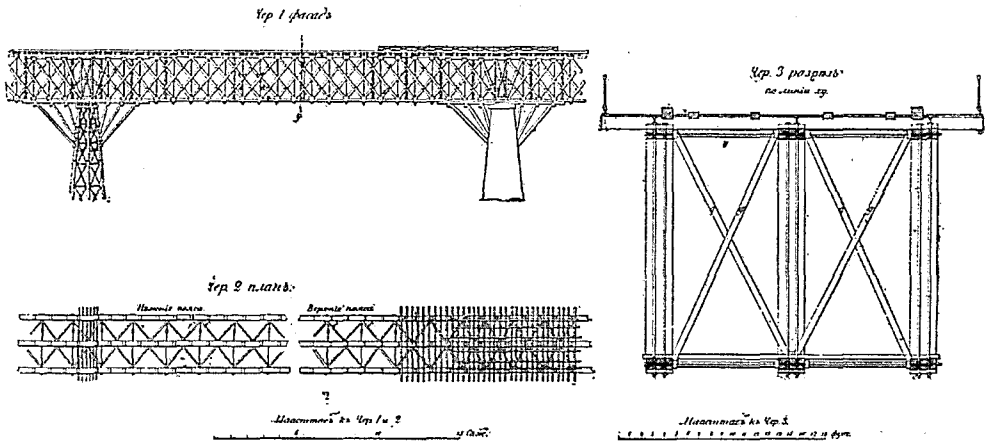


Рис. 391. — Бывшій Веребьинскій віадукъ на Николаевской ж. д.

серединѣ или *по низу*. Въ первомъ случаѣ и при устройствѣ моста подъ одинъ путь для малыхъ пролетовъ до 3—5 саж. разстояніе между крайними фермами дѣлается не менѣе 6 ф., т. е. на 1 футъ болѣе разстоянія между внутренними гранями головокъ рельсовъ. Но такъ какъ при проходѣ поѣзда по мосту на послѣднемъ можетъ находиться дорожный сторожъ и проч., то, чтобы дать возможность встать въ сторонѣ отъ поѣзда, ширина полотна между перилами, т. е. въ данномъ случаѣ длина нѣкоторыхъ шпалъ дѣлается не менѣе 16 фут. Съ увеличеніемъ пролета разстояніе между фермами увеличивается для приданія про-

летней части большей устойчивости относительно давленія вѣтра и проч. При достаточно высокихъ опорныхъ стойкахъ разстояніе между фермами дѣлаютъ около $^2/_3$ высоты фермы, или около $^1/_{15}$ пролета. Для той же цѣли вмѣсто уширенія полотна можно въ извѣстныхъ случаяхъ установить фермы въ наклоненномъ положеніи или по косой плоскости, увеличивая до требуемаго предѣла разстояніе (по ширинѣ) между опорными точками. Въ каменныхъ мостахъ этой же нормой опредѣляется

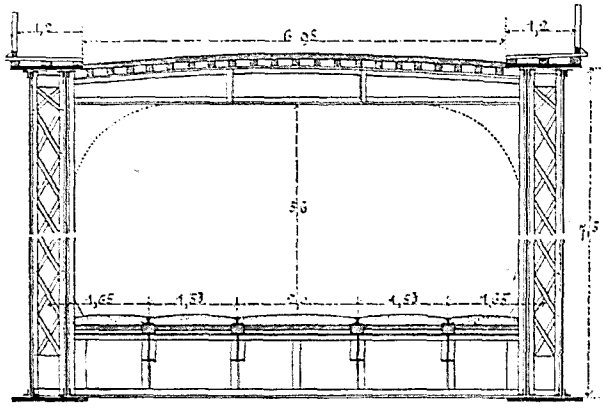


Рис. 392.—Мостъ чрезъ р. По въ Италіи (въ метр.).

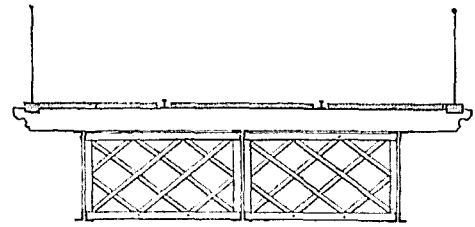


Рис. 393.

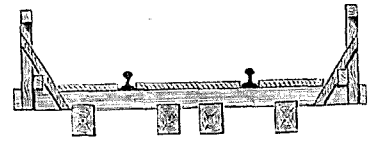


Рис. 394.

ширина полотна между внутренними гранями парапетовъ, толщиною около 0,20 с. Въ мостахъ съ ѣздою по *серединѣ* и *по-низу* разстояніе между фермами зависитъ отъ габарита подвижного состава и предѣловъ приближенія къ постояннымъ устройствамъ (рис. 398 и 399), а также и отъ высоты фермъ, т, е. отъ величины пролета *).

На основаніяхъ, изложенныхъ выше, *ширина полотна желѣзнодорожнаго моста, т. е. разстояніе между перилами или между парапетами при ѣздѣ по верху и разстояніе между фермами при ѣздѣ по серединѣ или по низу, дол-*

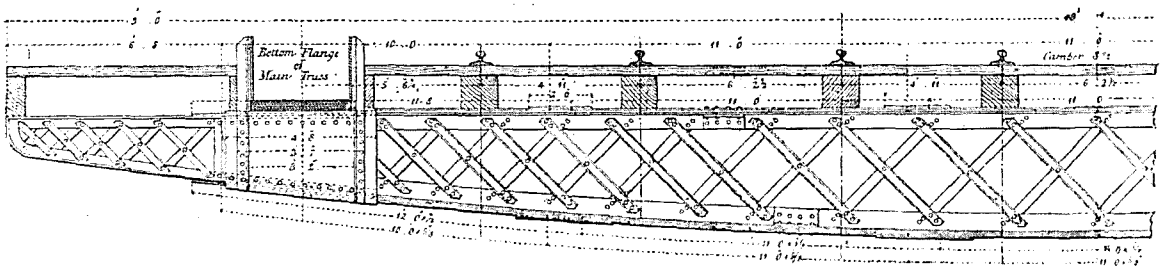


Рис. 395. — Мостъ Charring Cross въ Лондонѣ (въ фут.).

жается не менѣе 16 футъ для одного пути и не менѣе 28,5 ф. для двухъ путей. При бо́льшемъ числѣ путей ширина соотвѣтственно увеличивается. Ширина междопутія 1 саж. = 7 фут.

Во всякомъ случаѣ слѣдуетъ имѣть въ виду, что въ желѣзнодорожныхъ мостахъ съ ѣздою по низу ширина должна быть такова, чтобы при однообразной высотѣ фермы высота превосходила ширину не болѣе, какъ въ 2,5 раза, а при криволинейныхъ поясахъ съ значительной кривизной не болѣе, какъ въ 3 раза.

Въ нѣкоторыхъ случаяхъ мостъ устраивается общимъ для желѣзнодорожнаго

*) Въ настоящее время поднятъ вопросъ объ измѣненіи очертанія габарита. Пока рѣшено уничтожить входящій уголъ въ верхней части габарита, соединивъ наклонной линіей вершины двухъ угловъ, смежныхъ со входящимъ угломъ.

и экипажнаго проѣздовъ и можетъ быть нѣсколькихъ разновидностей: а) общія

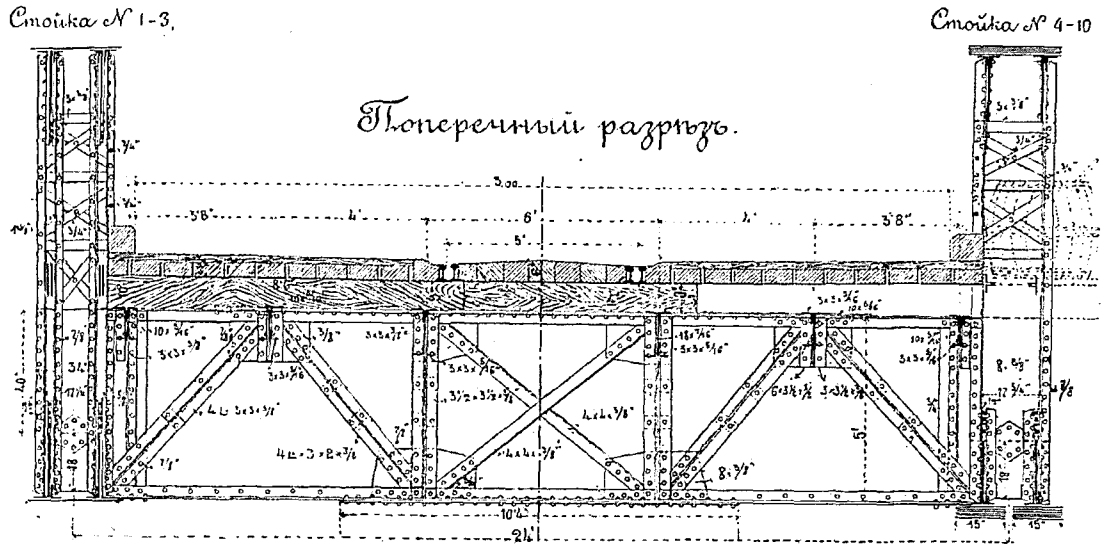


Рис. 395′. — Мостъ черезъ р. З. Бугъ по Сѣдлецъ-Малкинской ж. д. (въ фут.).

главныя фермы и общая проѣзжая часть при условіи разновременнаго пользованія послѣднею (рис. 395′); б) общія главныя фермы и самостоятельная проѣзжая часть на одномъ уровнѣ (рис. 396), при чемъ при двухъ фермахъ проѣзжая часть желѣзнодорожнаго моста помѣщается иногда между фермами, а обыкновенный проѣздъ — на консоляхъ (мостъ черезъ р. Днѣстръ на Юго-запад. ж. д.); в) общія главныя фермы и отдѣльная проѣзжая часть на разныхъ уровняхъ (рис. 392, 397 и 397′). Во всѣхъ этихъ случаяхъ при общихъ главныхъ фермахъ разстояніе между ними опредѣляется по наибольшей ширинѣ того или другого проѣзда. Нерѣдко пользуются желѣзнодорожн. мостами для устройства тротуаровъ для пѣшеходовъ на консоляхъ или надъ верхнимъ поясомъ фермъ (рис. 454).

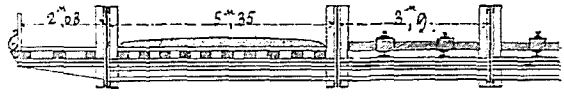


Рис. 396.

Габаритъ подвижного состава и предѣлы приближенія къ постояннымъ устройствамъ. Высота чистаго проѣзда наименьшее разстояніе отъ средины пути — стѣнъ строеній при путяхъ, внутреннихъ граней фермъ мостовъ, возвышающихся надъ уровнемъ путей, перилъ, парапетовъ моетовъ, стѣнъ тоннелей, устоевъ арокъ и портиковъ

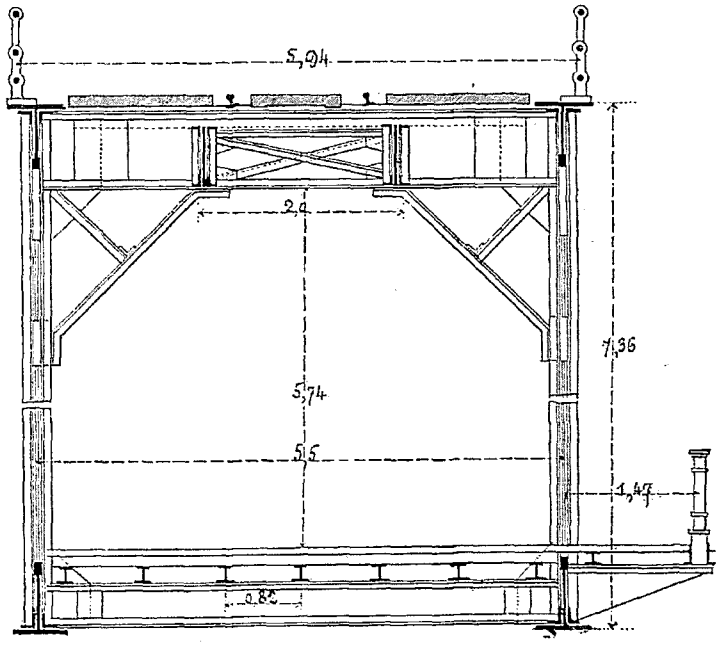


Рис. 397. — Мостъ черезъ р. Эльбу на Австрійской Сѣверо-Западн. ж. д. (въ метр.).

при въѣздахъ на мосты и другихъ строеній, на высотѣ надъ уровнемъ рельсовъ:

до 0,125 саж. = $10^1/_2$ дюйм. . . . . 0,657 саж. = 4,6 ф.
отъ 0,125 саж. = $10^1/_2$ дюйм. до 0,5 саж. = 3,5 ф. 0,90 саж. = 6,3 ф.
выше 0,5 саж. = 3,5 фут. . . . . 1,15 саж. = 8 ф.

Напменьшіе размѣры внутренней направляющей кривой сводовъ, тоннелей и мостовъ чрезъ желѣзную дорогу о двухъ путяхъ (рис. 399):

а) Высота пятъ свода надъ уровнемъ рельсовъ 1,2 саж. = 8,4 фута.

б) Радіусъ круга (при разстояніи между путями въ 7 фут.)... 2,034 саж. = 14,24 фута.

При употребленіи пологихъ арокъ и другихъ кривыхъ должно удовлетворять двумъ условіямъ: 1) чтобы разстояніе между устоями было не менѣе опредѣленнаго выше, и 2) чтобы направленіе кривой находилось внѣ показаннаго на рис. 399 предѣльнаго очертанія *А*, *Б*.

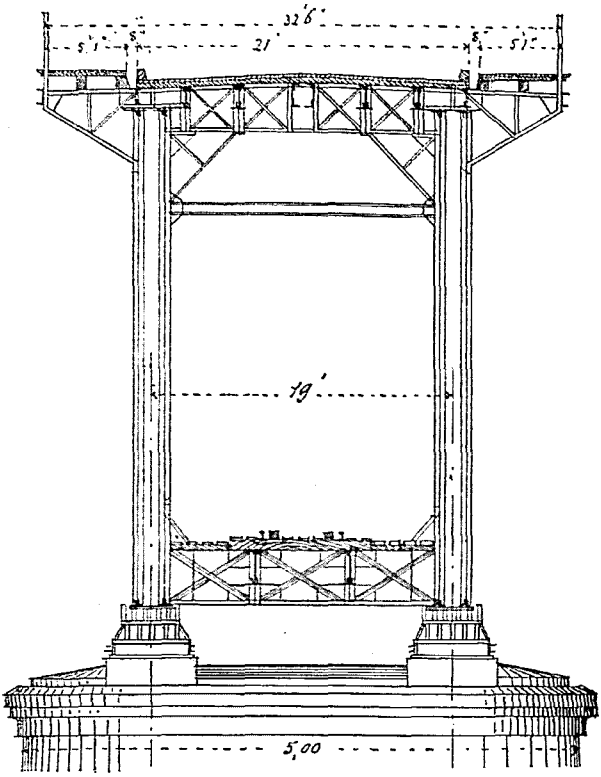


Рис. 397. — Мостъ чрезъ р. Днѣпръ въ Екатеринославѣ (въ фут.).

Наименьшая высота чистаго пролзда надъ уровнемъ рельсовъ подъ віадуками чрезъ желѣзную дорогу, а также подъ верхними поперечными связями фермъ мостовъ съ ѣздою по низу, а равно подъ сводами, стропилами или балками станціонныхъ зданій и навѣсовъ и проч.:

а) Каменными и металлическими 2,6 саж. = 18,2 фут.

б) Деревянными 3 саж. = = 21 фут.

Подкосы и другія связи деревянныхъ мостовъ и стропилъ не должны выступать за предѣлы прямыхъ, проведенныхъ чрезъ точки: *Д*, *Е*, *Ж*, взятыя въ слѣдующихъ разстояніяхъ отъ ближайшаго пути, на высотѣ надъ рельсами (рис. 399).

Д . . . 1,50 саж. = 10,5 фута . . . 1,15 саж. = 8 футамъ,
Е . . . 2,60 » = 18,2 фута . . . 0,90 » = 6,3 фута,
Ж . . . 3 » = 21 футу . . . 0,50 » = 3,5 фута.

Наименьшая высота чистаго проѣзда въ моетахъ подъ обыкновенную дорогу 2,20 с. считая отъ уровня полотна.

Когда по мосту проходитъ каналъ, то послѣднему даютъ ширину, необходимую для прохода одной баржи, съ боку же располагаютъ бичевникъ шириною около 4'.

Продольный уклонъ въѣздовъ на мосты подъ *обыкновенную дорогу* допускается не болѣе 0,033. Обыкновенно дѣлаютъ уклонъ въ 0,02 и 0,01. Это правило нарушается только въ крайнихъ случаяхъ, такъ какъ во время гололедицы въѣздъ

дѣлается крайне затруднительнымъ. Для стока воды кромѣ продольнаго уклона даютъ мосту и поперечный уклонъ. Предѣльныя крутости продольной профили моста должны быть сообразованы съ родомъ мостового настила. При досчатыхъ и асфальтовыхъ покрытіяхъ, какъ при болѣе скользкихъ въ гололедицу, подъемы должны быть самые пологіе; затѣмъ слѣдуютъ настилы торцовые и наконецъ камеиныя мостовыя. Подъемъ располагаютъ по непрерывной кривой или по ломаной линіи. Между двумя длинными и крутыми кривыми, обращенными въ противоположныя стороны, полезно включать горизонтальный участокъ. Если поверх-

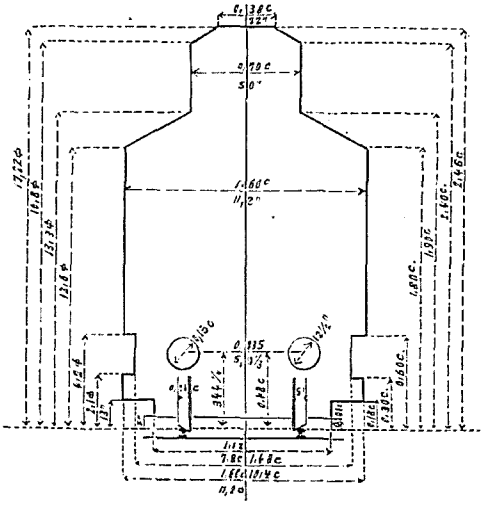


Рис. 398.

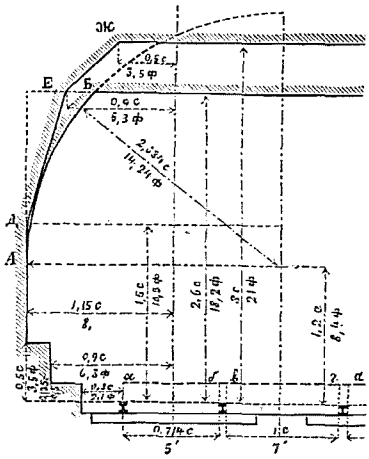


Рис. 399.

ность моста образуется двумя наклонными прямыми, то соединеніе этихъ прямыхъ производится параболическою кривою.

Въ моетахъ *подъ желѣзную дорогу* полотно дѣлаютъ обыкновенно горизонтальнымъ, допуская уклоны только при малыхъ пролетахъ. Впрочемъ въ исключительныхъ случаяхъ отступаютъ отъ этого, какъ, напримѣръ, на С. Готардской горной желѣзной дорогѣ (фиг. 130, табл. 15), гдѣ уклонъ моста 0,026, при величинѣ пролета въ 48 м. Вообще же этого слѣдуетъ избѣгать, въ виду возможной необходимости тормаженія поѣзда на мосту. По техническимъ условіямъ для магистральныхъ линій устройство моетовъ и путепроводовъ на уклоиахъ допускается лишь въ тѣхъ случаяхъ, когда общее отверстіе этихъ сооруженій не превышаетъ 7 саж., или когда мостъ хотя и имѣетъ общее отверстіе болѣе 7 саж., но состоитъ изъ отдѣльныхъ пролетовъ длиною не болѣе 5 саж. каждый, при чемъ фермы располагаются горизонтально, а необходимый уклонъ достигается частью увеличеніемъ толщины поперечинъ, частью приклепываніемъ подкладокъ подъ поперечины. При тѣхъ же условіяхъ постановка моста на закругленіи при совпаденіи съ уклоиомъ разрѣшается лишь при уклонѣ не свыше $i = 0{,}006$ и при радіусѣ не менѣе $R = 300$ с. или при иномъ соотвѣтственномъ сочетаніи уклона съ закругленіемъ.

Поперечная профиль моста подъ *обыкновенную дорогу* (рис. 400) или горизонтальна, выпукла, или же вогнута. Для каменныхъ мостовыхъ наибольшій уклонъ: 0,025—0,033, а для деревяниаго настила около: 0,017. Поверхность банкетовъ или тротуаровъ представляетъ въ сѣченіи прямую линію со скатомъ въ ту либо другую сторону, при наибольшемъ уклонѣ въ 0,01.

Если *желѣзнодорожный мостъ* устраивается на кривой (чего во всякомъ случаѣ слѣдуетъ избѣгать), то наружному рельсу придаютъ возвышеніе, сообразное съ радіусомъ кривизны и предполагаемой наибольшей скоростью, руководствуясь формулой:

$$h = \frac{s \cdot v^2}{g \cdot R},$$

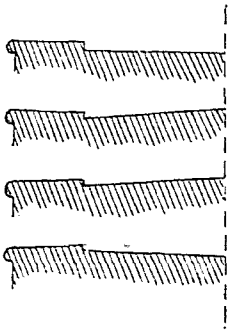


Рис. 400.

гдѣ s—ширина пути (0,714 с.), v—скорость, g—ускореніе силы тяжести, R—радіусъ кривизны. Для моста подъ два пути оба внутренніе рельса и оба внѣшніе рельса устраиваются обыкновенно на одномъ уровнѣ. Для малыхъ пролетовъ, до 4-хъ саженъ, фермы и проѣзжая часть устраиваются часто такъ, какъ для прямого участка пути, и затѣмъ всему мосту придаютъ необходимый поперечный уклонъ. Въ мостахъ бо́льшихъ пролетовъ фермы устанавливаются отвѣсно; поперечный же уклонъ достигается соотвѣтственнымъ расположеніемъ частей проѣзжей части.

Возвышеніе полотна фермъ надъ горизонтомъ высокихъ водъ. Фермы должны быть настолько подняты надъ горизонтомъ высокихъ водъ, чтобы верхъ подферменной площадки балочныхъ фермъ или нижнее ребро подферменной площадки арочныхъ и подкосныхъ фермъ, а также на несудоходныхъ рѣкахъ и наиболѣе пониженная часть фермъ—возвышались надъ упомянутымъ горизонтомъ не менѣе 0,50 с.; въ исключительныхъ случаяхъ (малое возвышеніе уровня прилегающихъ улицъ надъ горизонтомъ водъ)—возвышеніе верха подферменной площадки балочныхъ фермъ или возвышеніе нижняго ребра подферменной площадки арочной фермы ограничиваютъ нормой 0,10 с. Въ случаѣ судоходныхъ рѣкъ разстояніе нижняго пояса балочныхъ фермъ или возвышеніе внутренней направляющей въ ключѣ арки надъ горизонтомъ высокихъ водъ должно быть сообразовано съ наибольшею высотою мачтъ, пароходныхъ трубъ, но во всякомъ случаѣ высота не должна быть менѣе 1,5 с. При очень высокихъ мачтахъ очевидно выгоднѣе устроить одинъ изъ пролетовъ съ подъемною или разводною пролетною частью или же ограничиться устройствомъ мачтоподъемныхъ приспособленій.

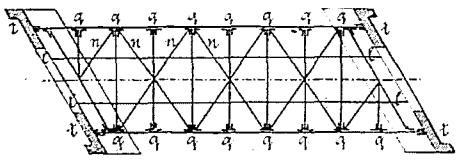


Рис. 401.

По техническимъ условіямъ для линій магистральнаго типа пролетныя части мостовъ отверстіемъ больше саженн должны быть на столько подняты надъ подпорнымъ уровнемъ самыхъ высокихъ водъ, чтобы отъ верхней поверхности подферменнаго камня до этого уровня было не менѣе 0,50 с. Если ферма имѣетъ нижній поясъ, опущенный ниже верхней поверхности подферменнаго камня, низъ мостовыхъ фермъ долженъ быть поднятъ надъ этимъ уровнемъ на 0,50 с.

Косина мостовъ. По тѣмъ же условіямъ мосты и путепроводы устраиваются перпендикулярно къ пересѣкаемымъ рѣкамъ или дорогамъ; при неизбѣжности направленія подъ угломъ опоры устраиваются косыми, а верхнее строеніе—прямымъ по направленію къ оси моста (рис. 418*а* и 418*б*). Въ случаѣ значительнаго увеличенія толщины опоръ или невозможности спрямить русло, дозволяется устраивать косыми опоры и фермы (рис. 401), не превосходя указанныхъ ниже предѣловъ.

Соображенія относительно помѣщенія моста. Мостъ подъ обыкновенную дорогу долженъ быть въ городѣ какъ можно ближе къ центру его и къ главнымъ улицамъ; обыкновенно строятъ его въ этомъ случаѣ противъ улицы; за городомъ же строятъ мосты по направленію дороги; исключеніе изъ этого правила составляютъ:

1) Неблагонадежный грунтъ противъ улицы, или по оси дороги (которую въ этомъ случаѣ отклоняютъ).

2) Слишкомъ большая глубина рѣки противъ улицы или дороги.

3) Чрезвычайно пологіе берега.

4) Пересѣченіе дороги съ рѣкой не подъ прямымъ угломъ и т. п.

Выгодное помѣщеніе моста зависитъ: отъ ширины рѣки, отъ рода грунта, высоты береговъ и проч. Низкіе берега, затопляемые весенними водами, требуютъ въѣздовъ на длинныхъ дамбахъ, а высокіе требуютъ большихъ расходовъ на устои и быки. Слабый грунтъ требуетъ большихъ издержекъ на устройство основаній; поэтому для моста выбираютъ мѣсто, стараясь по возможности избѣгнуть затрудненій и удовлетворить условіямъ удобства и дешевизны, чтобы сумма расходовъ на устройство моста и дамбъ была по возможности меньше.

Для большихъ желѣзнодорожныхъ или шоссейныхъ мостовъ выбираютъ мѣсто, не уклоняясь значительно въ сторону отъ общаго направленія линіи, и затѣмъ направленіе оси линіи желѣзной дороги вблизи моста измѣняютъ сообразно выбранному мѣстоположенію моста.

Обыкновенно для моста выбираютъ участокъ рѣки съ правильнымъ теченіемъ и съ надежнымъ грунтомъ, въ прямой и узкой части теченія, ограниченной берегами такой высоты, чтобы, при данной проектной высотѣ рельсоваго пути, количество земляныхъ работъ для устройства полотна было наименьшее.

Въ случаѣ, если рѣки имѣютъ широкій разливъ и если при этомъ главное теченіе во время разлива не совпадаетъ съ меженнимъ русломъ, то для моста выбираютъ мѣсто на этомъ главномъ теченіи, отклоняя меженнее русло. При извилистости рѣки въ мѣстѣ предполагаемаго сооруженія моста полезно спрямить ее, но при этомъ слѣдуетъ всегда брать въ расчетъ увеличеніе скорости вслѣдствіе увеличенія уклона.

Ось моста должна быть продолженіемъ оси улицы, или дороги, на которой помѣщенъ мостъ. Самое выгодное направленіе оси моста, очевидно, перпендикулярное къ теченію, потому что при этомъ длина моста будетъ наименьшая, а грани быковъ будутъ параллельны теченію. Ежели направленіе дороги не совпадаетъ съ наивыгоднѣйшимъ направленіемъ моста, то искривленіемъ дороги доставляется мосту наиболѣе выгодное направленіе. Въ случаѣ мѣстныхъ обстоятельствъ, не дозволяющихъ подобныхъ отклоненій, оси моста даютъ положеніе, наклонное къ теченію рѣки, и мостъ въ этомъ случаѣ устраиваютъ косой, при чемъ оси быковъ во всякомъ случаѣ должны быть параллельны теченію. Предѣльное значеніе величины допускаемаго остраго угла между направленіемъ теченія и осью быка составляютъ 20°—25° для мостовъ деревянныхъ и съ желѣзными фермами и 30°—40° для быковъ каменныхъ арочныхъ мостовъ. Устройства косыхъ арокъ надо избѣгать, въ виду ихъ дороговизны и меньшей прочности.

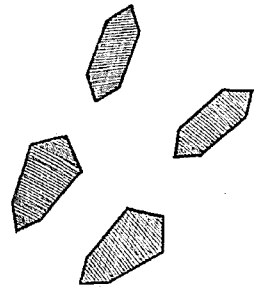


Рис. 401′.

Ось моста слѣдуетъ преимущественно располагать по прямой линіи. Если по мѣстнымъ обстоятельствамъ въ виду сокращенія расходовъ мостъ необходимо устроить по кривой, то продольныя оси быковъ располагаются по нормалямъ къ кривой. При этомъ возможны два случая: площадь заключающаяся между двумя смежными быками, имѣетъ форму трапеціи (рис. 401′), или форму прямоугольника. Въ первомъ случаѣ каменные арочные мосты устраиваются коническими, а балочные мосты—съ неравными фермами, и во второмъ случаѣ—своды цилиндрическіе, а фермы одинаковой длины.

VII.

Типы каменныхъ опоръ.

Основные типы устоевъ. Устои съ обратными стѣнами. Длина передней стѣнки устоя (ширина устоя). Высота устоя. Длина обратной стѣнки. Правила начертанія плана и профилей передней стѣнки устоевъ балочныхъ фермъ. Подферменная площадка. Уклоны граней. Начертаніе профили передней стѣнки устоя арочной и подносной фермы. Подпятныя площадки. Начертаніе плана и профилей обратныхъ стѣнокъ. Начертаніе плана и профили фундамента устоя. Дрены. Условія устойчивости устоя. Контрфорсы. Примѣры.

Опоры мостовъ непосредственно принимаютъ на себя давленіе отъ вѣса пролетныхъ частей и подвижной нагрузки и передаютъ его основанію. Береговыя опоры называются *устоями*, а промежуточныя—*быками*. Устои служатъ кромѣ того для сопряженія мостового сооруженія съ естественнымъ берегомъ или съ

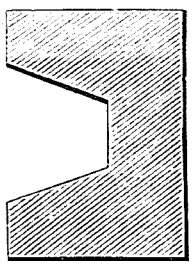


Рис. 402.

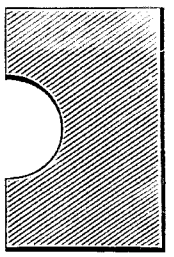


Рис. 403.

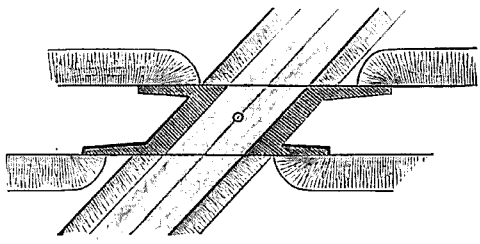


Рис. 404.

насыпью. Наружное очертаніе устоевъ, а въ извѣстныхъ случаяхъ и система разрѣзки кампей зависятъ, какъ отъ различнаго способа сопряженія съ берегомъ или насыпью, такъ и отъ системы и назначенія моста.

По роду сопряженія съ берегомъ или насыпью всѣ устои можно раздѣлить на три типа:

1) съ обратными стѣнками (рис. 402—404);

2) съ откосными крыльями прямолинейными или криволинейными (рис. 405—409);

и 3) въ видѣ прямоугольнаго столба сплошного или съ пустотами (рис. 410).

Къ этому же типу слѣдуетъ отнести и устои, представляющіе въ планѣ два прямоугольника, соединенные иногда трапеціей (рис. 411—412).

Кромѣ того, могутъ быть типы, представляющіе соединеніе двухъ основныхъ типовъ.

При сопряженіи съ каменной набережной каменная кладка набережной сопрягается непрерывнымъ образомъ съ кладкою устоя. Если необходимая тол-

щина устоя оказывается болѣе толщины набережной (какъ напр. въ арочныхъ мостахъ), то устоямъ въ большинствѣ случаевъ придаютъ типъ (3), сопрягая кладку набережной съ кладкой устоя подъ прямымъ угломъ (фиг. 89, таб. 10).

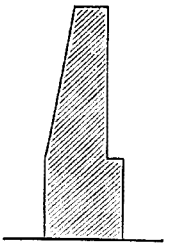
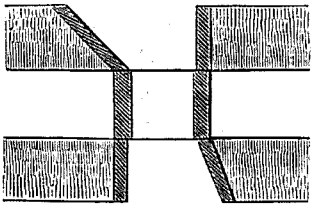


Рис. 405.



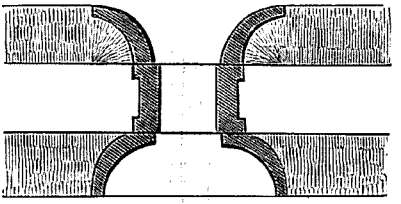


Рис. 406.

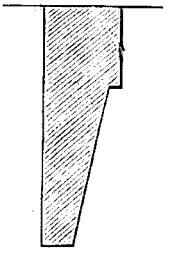


Рис. 407.

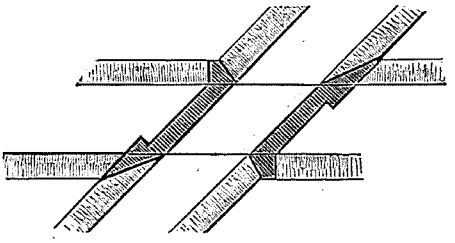


Рис. 408.

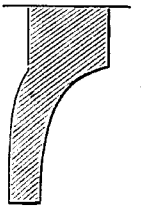


Рис. 409.

Объ опорахъ цѣпныхъ мостовъ будетъ сказано при описаніи устройства цѣпныхъ мостовъ.

Всѣ три типа употребляются безразлично при сопряженіи съ насыпью или берегомъ, независимо отъ типа фермъ. Типъ (1), примѣняемый при низкихъ и средней высоты насыпяхъ и рѣдко при высокихъ насыпяхъ, имѣетъ то преимущество, что лучше связываетъ насыпь съ устоемъ; но съ другой стороны при глинистыхъ и пучистыхъ грунтахъ отъ распора земли между обратными стѣнками происходитъ отдѣленіе боковыхъ стѣнокъ отъ передней стѣнки; въ этихъ случаяхъ слѣдуетъ засыпать пространство между стѣнками пескомъ или другимъ пропускающимъ влажность грунтомъ, устроить дренажъ, или лучше примѣнить типъ (2) или (3). Разновидность типа (1) съ наклонными передними и боковыми стѣнками, въ нижней половинѣ устоя, независимо отъ болѣе раціональнаго распредѣленія давленія внутри толщины кладки, увеличиваетъ боковую устойчивость опоръ и даетъ замѣтное сбереженіе (до 15%) сравнительно съ обыкновеннымъ типомъ при высотѣ насыпей въ предѣлахъ отъ 2 до 4,5 с.

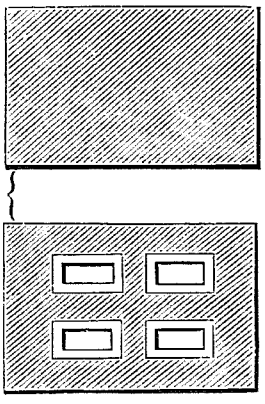


Рис. 410.

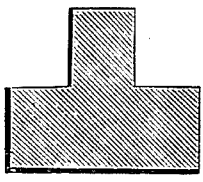


Рис. 411.

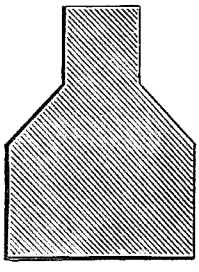
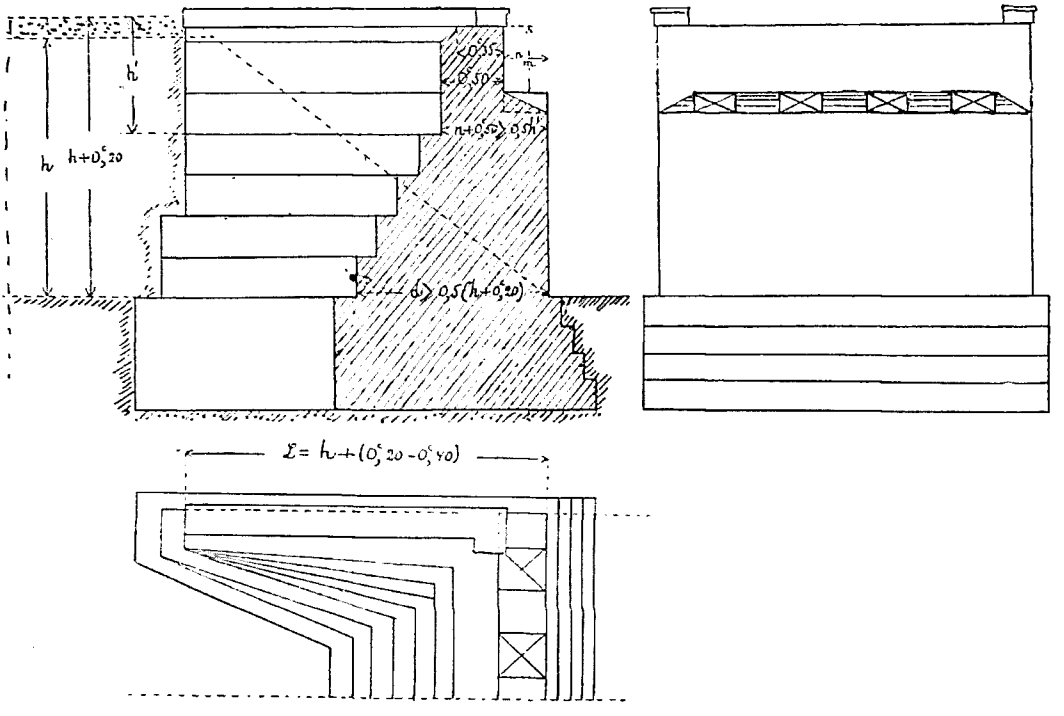


Рис. 412.

Устои типа (2) употребляются преимущественно въ тѣхъ случаяхъ, когда является необходимость ограничить насыпь по всей ея ширинѣ, когда грунтъ глинистый или пучистый, или когда опасаются за размывъ конусовъ при сильномъ

теченіи, а также при сопряженіи съ каменной набережной, если лицевая грань устоя значительно выдвинута изъ-за набережной. Наибольшее примѣненіе устоевъ этого типа встрѣчается при устройствѣ трубъ подъ насыпями. Въ смѣшанномъ типѣ (1) и (2) (откосное крыло начинается съ половины высоты устоя) достоинства обоихъ типовъ сохранены. Въ отношеніи объема кладки и особенно облицовки, типъ съ откосными крыльями уступаетъ типу съ обратными стѣнками.

Устои типа (3) примѣняются при высокихъ насыпяхъ, если фермы балочной



Черт. 413 и 414.

системы, а также при всякихъ насыпяхъ въ случаѣ арочныхъ фермъ. Они отличаются наибольшей устойчивостью, при чемъ умеиьшеніе объема кладки достигается колодцами, галлереями и проч.

Типы раздѣльныхъ устоевъ, состоящіе изъ берегового (скрытаго или обсыпного устоя) и изъ быка-устоя, выгодны при высокихъ насыпяхъ, а также въ случаѣ глубокаго заложенія основаній.

Типъ устоя *съ обратными стѣнками* состоитъ изъ передней стѣнки и двухъ обратныхъ стѣнокъ, однообразной толщины при малой высотѣ насыпи до 1,30 с. (фиг. 92, таб. 10) и перемѣнной толщины (рис. 413) при большей высотѣ; въ горизонтальномъ сѣченіи передняя стѣнка представляетъ прямоугольникъ или прямоугольникъ съ выступами (контрфорсами) (фиг. 90, таб. 10), а обратная стѣнка—большею частью трапецію (рис. 414).

Часть устоя выше поверхности земли называется *тѣломъ* устоя (цоколь и стѣнка), а ниже этого уровня—*фундаментомъ* или *основаніемъ*. При малыхъ отверстіяхъ до 2 с. включительно оба устоя выводятся на общемъ основаніи однообразной глубины; иногда для сбереженія кладки общая глубина заложенія основанія устоевъ сохраняется въ предѣлахъ лотка лишь на протяженіи 0,50 с. (рис. 292 и 415) съ верховой и низовой стороны, а среднюю часть закладываютъ на глубинѣ

0,33—0,40 с., имѣя при томъ въ виду, чтобы подъ стѣнками устоя въ сторону лотка глубокое заложеніе выступало въ планѣ не менѣе какъ на 0,10 с. изъ-за очертанія тѣла устоя; верхняя часть лотка обдѣлывается въ видѣ обратнаго свода. (Общимъ основаніемъ достигается еще другая цѣль — увеличивается масса опоры, обезпечивается неразмываемость лотка, что крайне существенно въ виду того, что при малыхъ отверстіяхъ возможныя непредвидѣнныя обстоятельства, возможныя ошибки при опредѣленіи отверстія оказываютъ болѣе ощутительное вліяніе на увеличеніе скорости, чѣмъ при болѣе значительныхъ отверстіяхъ). При отверстіи отъ 2 до 5 с. во избѣжаніе возможнаго сдвига устоевъ нерѣдко устраиваютъ между обоими устоями двѣ распорныя стѣнки толщиною не менѣе 0,66 с., заложенныя на глубинѣ фундамента и выведенныя до уровня лотка.

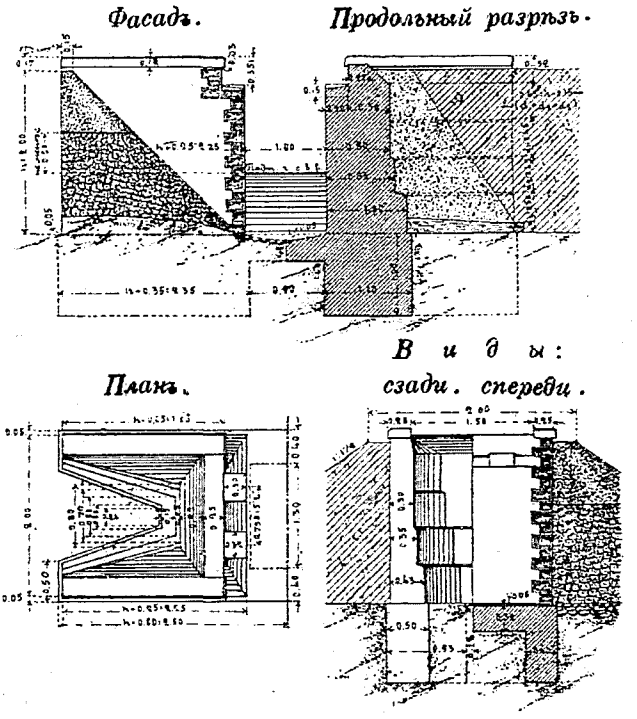


Рис. 415.—Типъ устоя на Уфа-Златоустовской ж. д.

Длина передней стѣнки устоя (что иногда называютъ *шириною* устоя) находится въ зависимости отъ ширины мостоваго полотна. Для моетовъ подъ обыкновенную дорогу она равняется ширинѣ мостового полотна съ прибавленіемъ съ каждой стороны отъ 0,30 с. до 0,80 с. на устройство парапета или карниза. Для желѣзнодорожныхъ мостовъ, устроенныхъ подъ одинъ путь и съ ѣздою по верху, наименьшая длина передней стѣнки (ширина устоя) 2 сажени, если высота устоя не болѣе 2,5 с.; длина увеличивается до 2,20 саж., при большей высотѣ устоя, а въ устояхъ мостовъ подъ два пути длина передней стѣнки или ширина устоя — 4 сажени. Длина эта увеличивается въ зависимости отъ разстоянія между фермами, измѣняющагося съ величиной пролета и съ устройствомъ пути по низу или по серединѣ. Обыкновенно назначаютъ край устоя отъ ребра подфермениаго камня на разстояніи не менѣе, чѣмъ 0,25—0,30 с.

Высота устоя до карниза опредѣляется обыкновенно положеніемъ верхней грани берега или насыпи, безъ включенія сюда толщины мостовой или балластнаго слоя; иногда впрочемъ кладку устоя ведутъ выше, не доводя однако же до верхняго ребра мостовой или балластнаго слоя. Боковыя грани и нѣкоторая часть передней грани заканчиваются карнизомъ или парапетомъ.

Длина обратныхъ стѣнокъ типа (1) по верху опредѣляется въ случаѣ сопряженія устоя съ насыпью и съ берегомъ слѣдующимъ образомъ: если высота устоя равна высотѣ насыпи, то длина верхней части обратной стѣнки равняется обыкновенно высотѣ насыпи, увеличенной на 0,20 — 0,40 саж., т. е. h + (0,20 — 0,40 саж.). Хотя насыпь имѣетъ уклонъ полуторный, но для

уменьшенія кладки ребру конуса въ плоскости стѣны придаютъ одиночный уклонъ, предупреждая возможность обвала конуса покрытіемъ поверхности ого одеждой изъ дерна или камня. Такимъ образомъ, если насыпь возведена на горизонтальной площадкѣ, то основаніе конуса будетъ не четверть круга, а четверть эллипса. Если насыпь возведена на уклонѣ, то, построивъ направляющій эллипсъ съ полуосями равными $\frac{3}{2}h$ и h, находятъ извѣстнымъ образомъ пересѣченія производящихъ конуса съ наклоннымъ естественнымъ грунтомъ, что и даетъ очертаніе конуса въ пересѣченіи съ естественнымъ грунтомъ. Если же высота устоя болѣе высоты насыпи (напримѣръ при высокомъ берегѣ), тогда длина верхней части стѣнки устоя равняется h + (0,20—0,40 саж.), увеличенной на длину горизонтальнаго заложенія откоса берега (рис. 416).

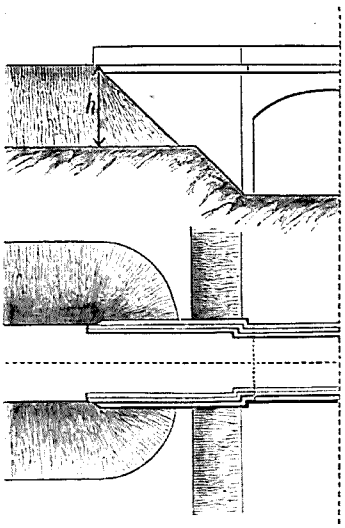


Рис. 416.

При ширинѣ насыпи, равной ширинѣ моста, первая производящая конуса находится въ плоскости стѣны устоя. Иногда же ширину моста дѣлаютъ менѣе ширины насыпи; тогда по обѣ стороны стѣнки устоя будетъ полоса наклонной плоскости, а затѣмъ уже начнется поверхность конуса. Верхнюю часть конуса одѣваютъ дерномъ, а основаніе его до горизонта высокихъ водъ, и даже нѣсколько выше, вымащиваютъ камнемъ, покрываютъ фашинной одеждой и т. п.

При сопряженіи съ естественнымъ берегомъ длина боковой грани устоя равна, по меньшей мѣрѣ, горизонтальной проекціи откоса берега, увеличенной на 0,20—0,40 саж.

Правила начертанія профили и плана передней стѣнки устоя балочныхъ фермъ. Стѣнка имѣетъ отвѣсную наружную грань (фиг. 92, табл. 10) или однообразный во всю высоту уклонъ въ $\frac{1}{20}$ — $\frac{1}{40}$; иногда передняя стѣнка имѣетъ въ нижней половинѣ наклонную наружную грань съ уклономъ около $\frac{1}{4}$ (фиг. 103, табл. 11). Въ верхней части *передней* стѣнки *) дѣлается уступъ, называемый *подферменной площадкой*, на которую опираются пролетныя части моста. Въ балочныхъ мостахъ эта площадка горизонтальная (фиг. 92, табл. 10), а въ арочныхъ и подкосныхъ — наклонная (фиг. 82, 83 и 84 табл. 9), если только арка не полуциркульная или вообще не съ горизонтальными пятами. Такъ какъ деревянныя и металлическія фермы опираются на устой не во всю его ширину, а лишь въ опредѣленныхъ мѣстахъ, то верхъ площадки въ мѣстахъ упора фермъ долженъ быть обдѣланъ твердымъ камнемъ (подферменные камни). При малыхъ пролетахъ и малыхъ опорныхъ давленіяхъ ограничиваются обдѣлкой площадки болѣе тщательно подобранными камнями и располагаютъ на ней деревянные мауэрлаты (фиг. 92. табл. 11), помощью которыхъ передается сосроточенное давленіе отъ фермъ на бутовую кладку. Мауэрлаты полезны еще, какъ упругая подушка для умѣренія вліянія ударовъ на кладку, особенно ощутительныхъ въ желѣзнодорожныхъ мостахъ малыхъ пролетовъ. При болѣе значительныхъ пролетахъ

*) Сказанное здѣсь о передней стѣнкѣ относится также къ передней стѣнкѣ типа съ откосными крыльями.

на подферменную площадку устанавливаются подфермеиные камни, которые вдѣлываются или заподлицо съ площадкой (фиг. 94*а*, табл. 10) пли, что лучше, возвышаются надъ площадкой (фиг. 114, табл. 14); для удобства же стока дождевой воды верхняя грань уступа въ промежуткѣ между камнями обдѣлывается съ уклономъ. Подфермеиные камин имѣютъ форму параллелепипеда, высотою не менѣе 0,15—0,20 с., приготовляются изъ камней твердой породы и имѣютъ назначеніе принять на себя давленіе отъ пролетныхъ частей моста и передать ихъ нижележащей бутовой кладкѣ. Разстояніе между осями двухъ смежныхъ подферменныхъ камней соотвѣтствуетъ разстоянію между осями фермъ; [въ желѣзнодорожныхъ мостахъ при ѣздѣ по верху при двухъ и болѣе путяхъ наименьшее разстояніе между осями каждой пары подферменныхъ камней:

$$0{,}714 \text{ с.} + 0{,}052 \text{ с.} + 1{,}00 \text{ с.} = 1{,}766 \text{ с.,}$$

гдѣ 0,714 с.—ширина пути; 0,052 с.—двойная ширина головки рельса, 1,00 с.—ширина междопутья (фиг. 103, табл. 11)].

Высота m и ширина n уступа подферменной площадки (рис. 413) опредѣляются въ зависимости отъ размѣровъ пролетныхъ частей моста (высоты фермъ) и отъ расположенія проѣзжей части. Если, напр., мостъ съ ѣздою по низу, то m равняется полной высотѣ опорныхъ подушекъ, сложенной съ разстояніемъ низа фермъ до уровня верхней грани продольныхъ балокъ, въ предположеніи, что на устоѣ будутъ уложены поперечины той же высоты, какъ и на продольныхъ балкахъ. Что касается ширины уступа n, то въ случаѣ примѣненія мауэрлатовъ (обыкновенно составленныхъ по ширинѣ изъ двухъ брусьевъ) ширина n рявняется ширинѣ мауэрлата съ запасомъ около 0,03 с., составляя всего около 0,25 с. Если же имѣется въ виду уложить подферменные камни, то ширина n равняется ширинѣ подфермениаго камня съ запасомъ около 0,05 с.—0,10 с.

Линейные размѣры прощади основанія подфермеиiаго камня находятся въ зависимости отъ опорнаго давленія, прочнаго сопротивленія раздробленію бутовой кладки и кромѣ того дѣлаются пропорціональными линейнымъ размѣрамъ нижней чугунной подушки, опредѣляемымъ въ свою очередь по прочному сопротивленію раздробленію подфермеиiаго камня. Такимъ образомъ, если P— опорное сопротивленіе, R и R'—прочное сопротивленіе подфермеиiаго камня и бутовой кладки; a и a', n и n'—линейные размѣры основанія чугунной подушки и подфермеиiаго камня, то:

$$P = R \times a \times a' = R' \times n \times n'$$

и кромѣ того:

$$\frac{a}{n} = \frac{a'}{n'}.$$

Устон однорукавиыхъ поворотныхъ мостовъ имѣютъ широкую подферменную площадку для установки круга катанія съ механизмами (445 и 445′).

Толщина передней стѣнки выше подферменной площадки, какъ подверженная непосредственно ударамъ подвижной нагрузки, дѣлается не менѣе 0,50 с. Толщина эта сохраняется постоянной, если высота стѣнки, считая отъ уровня площадки, не болѣе 0,75 с.; если этотъ предѣлъ превзойденъ, какъ напр. въ мостахъ съ ѣздою по верху, то толщина увеличивается уступами, такъ чтобы въ каждомъ сѣченіи толщина $d \geqslant 0{,}65\, h'$, гдѣ h' — разстояніе сѣченія до уровня балласта. Толщина передней стѣнки въ уровнѣ подферменной площадки $n + d$ сохраняется до обрѣза фундамента, если $n + d \geqslant 0{,}50$ ($h + 0{,}20$ с.), гдѣ h—высота насыпи, считая отъ обрѣза фунтамента, и 0,20 с.—толщина балласта. Въ противномъ случаѣ и если при томъ наружная грань передней стѣнки вертикальная или

съ небольшимъ уклономъ, толщину передней стѣнки дѣлаютъ перемѣнной съ увеличеніемъ толщины по мѣрѣ приближенія къ основанію, наблюдая, чтобы въ каждомъ сѣченіи толщина $d \geqslant 0{,}5\ h'$, гдѣ h'—разстояніе сѣченія до уровня балласта. Съ этою цѣлью, опредѣливъ наименьшую толщину устоя вверху и внизу, дѣлаютъ заднюю грань наклонною или раздѣляютъ высоту устоя на приблизительно равныя части, не менѣе 0,40 с. — 0,50 с., и разбиваютъ на уступы въ 0,10 с. — 0,20 (рис. 413). Уступы дѣлаются горизонтальными или, чтобы не задерживалась влага, съ небольшимъ уклономъ.

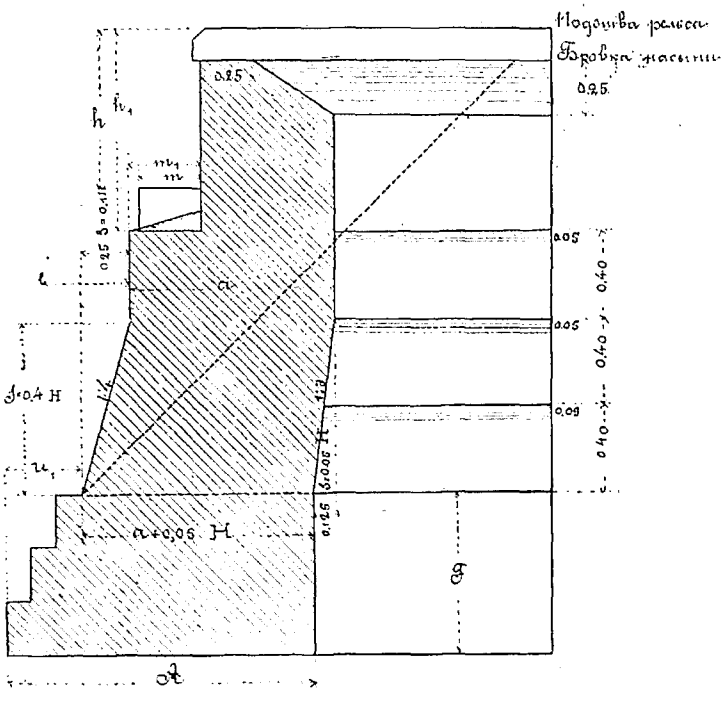


Рис. 417*а*.—Разрѣзъ типа устоя на Моск.-Виндавской ж. д.

Наружная грань передней стѣнки дѣлается отвѣсной или въ нижней части наклонной (фиг. 103, табл. 11); послѣднее, если высота устоя не менѣе 1,75 с., предпочтительнѣе, такъ какъ увеличивается устойчивость при нѣкоторомъ сбереженіи матеріаловъ. Въ этомъ случаѣ толщину стѣнки можно дѣлать почти однообразной. Такъ напр., на Московско-Виндавской жел. дорогѣ (рис. 417*а*—417*г*) уклонъ передней стѣнки сдѣланъ въ нижней половинѣ ея на высотѣ 0,4 h; верхняя половина стѣнки имѣетъ отвѣсныя грани, при толщинѣ стѣнки ниже подфермепнаго камня въ $d = 0{,}65$ с. $+ 0{,}2\ h$, если высота насыпи до 2,5 с., и $d = 0{,}4$ с. $+ 0{,}3\ h$ при насыпяхъ большей высоты. Наклонная часть стѣнки ограничена снаружи гранью съ уклономъ въ $\frac{1}{4}$, а сзади — съ уклономъ $\frac{1}{8}$, такъ что толщина

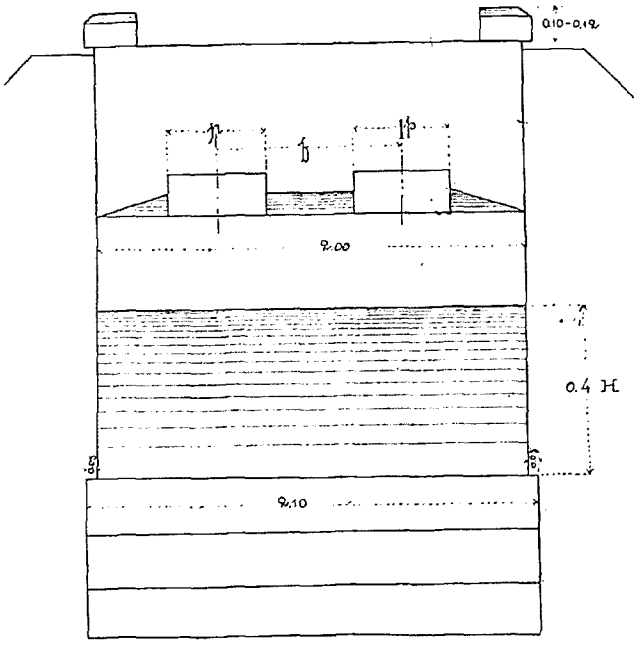


Рис. 417*б*.—Передній фасадъ типа устоя на Моск.-Виндавской ж. д.

паклонной стѣнки въ плоскости обрѣза фундамента:

$$d' = d + 0{,}125 \times 0{,}4\ h = d + 0{,}05\ h.$$

Для опредѣленія толщины передней стѣнки устоя могутъ служить еще слѣдующія эмпирическія формулы. Если h—высота стѣнки, и насыпь не возвышается надъ кордоиомъ стѣнки, то при задней вертикальной грани и передней съ уклономъ $\frac{1}{6}$, толщина по верху: d метр. $= 0{,}438 + 0{,}2\ h$ метр. Профиль эта можетъ быть преобразована въ другую, съ тѣмъ же моментомъ сопротивленія. Если напр.,

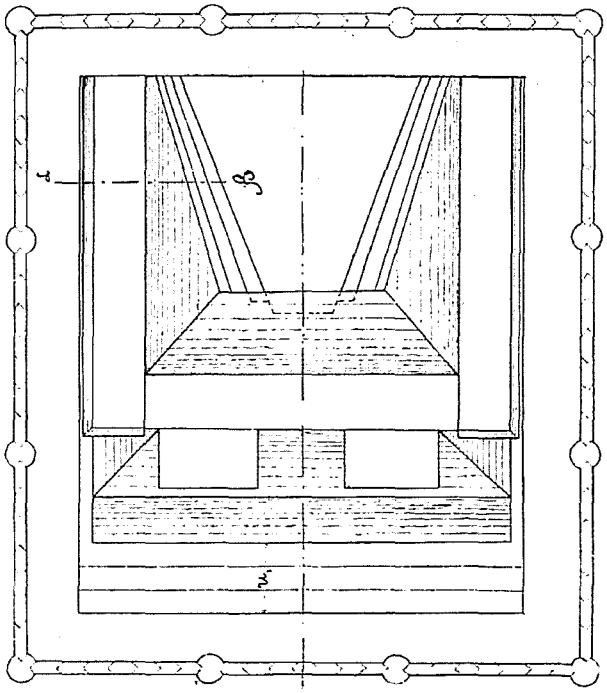


Рис. 417*в*.—Планъ типа устоя на Моск.-Виид. ж. д.

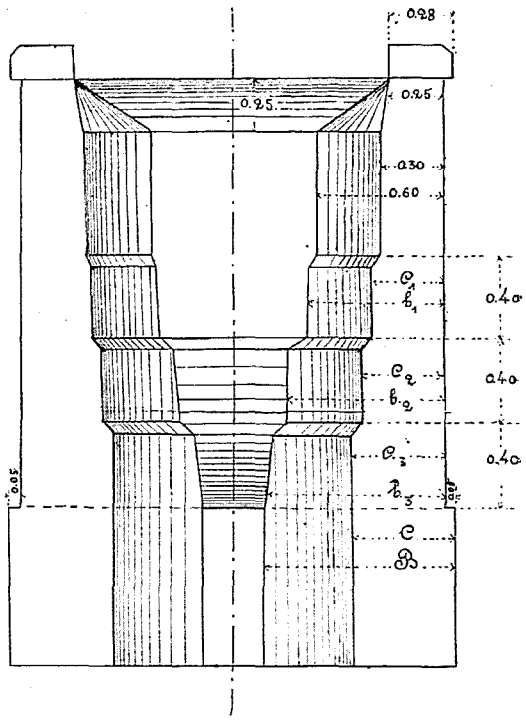


Рис. 417*г*.—Задній фасадъ.

$h = 10$ м., то по приведеннымъ правиламъ толщина по верху: 2,44 м., а по низу: 4,10 м. Моментъ сопротивленія:

$$2{,}44 \times 10 \cdot \left(\frac{2{,}44}{2} + 1{,}66\right) + 1{,}66 \times \frac{10}{2} \times 1{,}66 \times \frac{2}{3} = 79{,}47.$$

При преобразованіи въ другую профиль съ передней вертикальной гранью и съ толщиною по верху: 0,6 с. $= 1{,}28$ метр., толщина по низу x найдется изъ:

$$1{,}28 \times 10 \times \frac{1{,}28}{2} + (x - 1{,}28)\,\frac{10}{2}\left[1{,}28 + \frac{1}{3}\,(x - 1{,}28)\right] = 79{,}47,$$

откуда $x = 6{,}18$ м., что немного болѣе принятой у насъ нормы $d = 0{,}5\ h$. Если устои должны служить опорой для арокъ, то нижняя часть стѣнки, начиная отъ уровня пятъ арки, должна быть настолько утолщена или снабжена контрфорсами, чтобы кривая давленія отъ распора арки (предполагая, что распоръ арки болѣе распора земли) не выходила изъ средней трети сѣченія сплошной стѣнки или не уклонялась значительно отъ ц. т. сѣченія, образуемаго стѣнкой и контрфорсами (фиг. 93, табл. 10). Обыкновенно, если d—толщина пяты арки, то толщина сплошного устоя въ уровнѣ пятъ не менѣе: $1{,}5\ d$ — $2\ d$ съ постепеннымъ утолщеніемъ на 0,10 с. — 0,15 с. на каждые 0,40 — 0,50 с. по высотѣ устоя.

При *косыхъ* мостахъ передняя стѣнка дѣлается толще, особенно при двухъ путяхъ, для возможности укладки подферменныхъ камней прямыхъ фермъ (рис. 418 *а* и 418 *б*).

Если въ устоѣ должны быть заложены минные колодцы, то таковые, діаметромъ около 1-2 д., устраиваются обыкновенно въ передней стѣнкѣ (фиг. 103, табл. 11) между подферменными камнями или за ними и закрываются деревянной пробкой, задѣланной сверху кладкой.

Начертаніе профили передней стѣнки устоя арочной и подкосной фермы. Указанные пріемы начертанія профиля устоя имѣютъ преимущественно въ виду

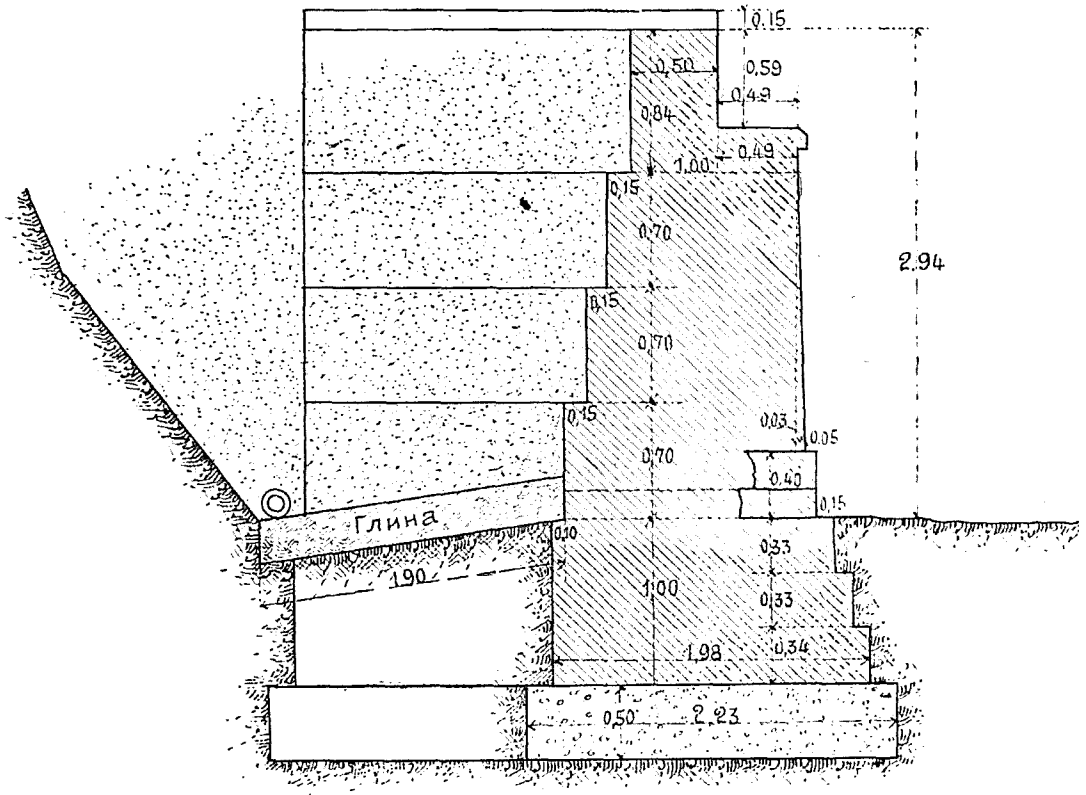


Рис. 418*а*.—Разрѣзъ устоя віадука черезъ Портовую вѣтвь на Царскосельской ж. д.

пролетныя части балочной системы. Если пролетная часть—*арочной* или *подкосной* системы, то въ уровнѣ пятъ арки устраивается *подпятная* площадка, нормально къ касательной къ послѣдиему элементу арки (рис. 50 и фиг. 107 *в*, табл. 13). Ширина этихъ площадокъ въ случаѣ деревянныхъ или металлическихъ арочныхъ или подкосныхъ фермъ опредѣляется по тѣмъ же соображеніямъ, какъ и въ случаѣ балочныхъ фермъ. Въ каменныхъ арочныхъ мостахъ размѣры подпятныхъ площадокъ опредѣляются размѣрами пяты арки. Различные типы профилей устоевъ каменныхъ арочныхъ мостовъ показаны на фиг. 107, табл. 13, при чемъ иерѣдко для пониженія точки приложенія распора арки сводчатая кладка продолжается внутрь устоя (фиг. 107*а*, 107*д* и 108*а*, табл. 13). Такъ какъ распоръ арокъ обыкновенно значительно болѣе распора земли, то сравнительно съ устоями балочныхъ фермъ въ нижней части устоя приходится дѣлать значительныя утолщенія, которыя иногда могутъ быть настолько велики, что толщина передней стѣнки сдѣлается равной длинѣ обратныхъ стѣнокъ, т. е. устой съ обратными

стѣнками обратится въ устой въ видѣ сплошного столба (фнг. 107*а*, табл. 13) или столба съ пустотами (фиг. 107*в*, табл. 13 и рис. 129). Наибольшее разнообразіе формъ встрѣчается, когда арки каменныя. Такъ, въ изображенныхъ на фиг. 427 и 429, табл. 62 устояхъ мостовъ съ бетонными арками нижняя часть устоя, принимающая на себя распоръ отъ арки, составляетъ какъ бы независимую часть, значительно углубленную и уширенную, и надъ нею уже выведенъ для сопряженія съ насыпью устой съ двумя короткими обратными стѣнками.

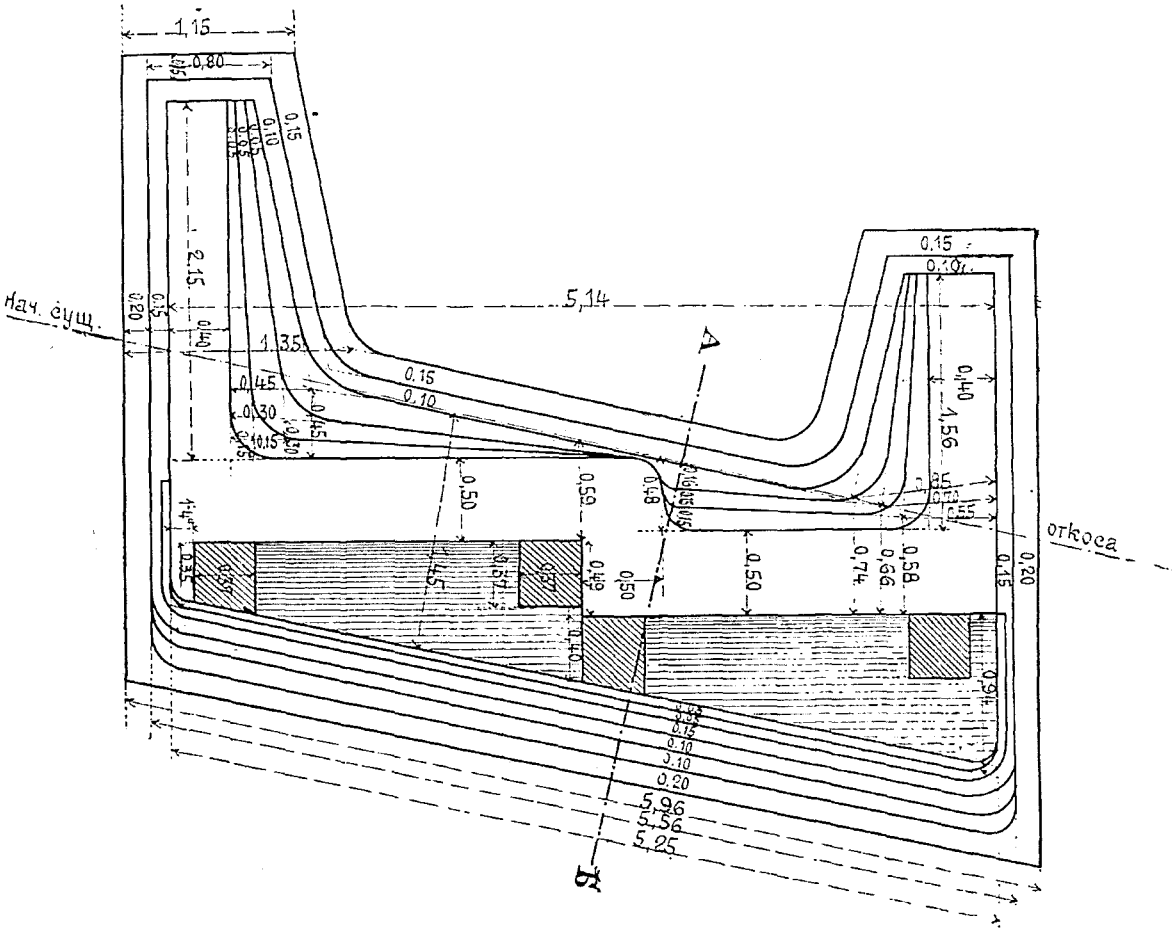


Рис. 418*б*.— Планъ устоя віадука черезъ Портовую вѣтвь на Царскосельской ж. д.

Начертаніе плана и профили обратныхъ стѣнокъ. Подобно передней стѣнку, наружная грань обратной стѣнки можетъ быть отвѣсной, наклонной во всю высоту или только въ нижней части. Въ первомъ случаѣ уклонъ дѣлается около $\frac{1}{20} - \frac{1}{40}$, а во второмъ увеличивается даже до $\frac{1}{4}$. *Обратная* стѣнка въ мѣстѣ сопряженія съ передней стѣнкой имѣетъ ту же толщину, какъ и передняя стѣнка, или же немного менѣе (около 0,4 h'), но во всякомъ случаѣ не менѣе 0,50 с.; въ хвостѣ она дѣлается тоньше, но не менѣе 0,30 с. Если насыпь возвышается выше обратной стѣнки, какъ это, напр., имѣетъ мѣсто въ головахъ трубъ съ обратными стѣнками (фиг. 352, табл. 52), то толщина стѣнки дѣлается равною 0,7 h, если h — высота стѣнки, или же равною отъ 0,3 h_0 до 0,4 h_0, гдѣ:

$$h_0 = h + \sqrt{h^2 - \left[\frac{3}{2}(h_0 - h)\right]^2} \quad \text{или} \quad h_0 = h + \sqrt{h^2 - (h_0 - h)^2}$$

(въ первомъ случаѣ приблизительно: $h_0 = 1{,}55\,h$, а во второмъ случаѣ $h_0 = 1{,}71\,h$). Если передняя стѣнка имѣетъ уклонъ $\frac{1}{6}$, а задняя вертикальная, и насыпь возвышается съ единичнымъ или полуторнымъ уклономъ на H метр. надъ кордономъ, то толщина стѣнки по верху:

$$d \text{ метр.} = 0{,}438 + 0{,}3\,h - \frac{h}{10}\left(1 - \frac{H}{3h}\right)^2,$$

гдѣ h—высота стѣнки. Профиль эта можетъ быть преобразована въ другую ей равную по сопротивленію. На тѣхъ же горизонтахъ, гдѣ имѣются уступы передней стѣнки, дѣлаются уступы въ обратныхъ стѣнкахъ, сводя въ хвостѣ на нѣтъ всѣ уступы или по нѣсколько уступовъ (рис. 414) съ соотвѣтственнымъ иногда удлиненіемъ стѣнки. Постепенное уменьшеніе толщины обратной стѣнки въ одномъ и томъ же горизонтальномъ сѣченіи достигается или приданіемъ стѣнкѣ въ планѣ формы трапеціи (рис. 414), или же при помощи уступовъ (рис. 419) въ вертикальномъ направленіи (устои Майденхедскаго моста) или по обоимъ направленіямъ (рис. 420). Если обратныя стѣнки не длинныя, то толщина ихъ сохраняется постоянной (фиг. 101, табл. 12). Переходы отъ передней стѣнки къ обратнымъ дѣлаются иногда по ломанной линіи или по закругленію (фиг. 104, табл. 12).

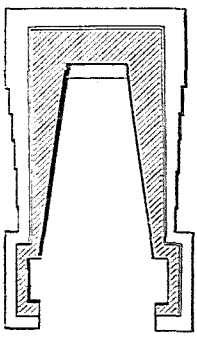


Рис. 419.

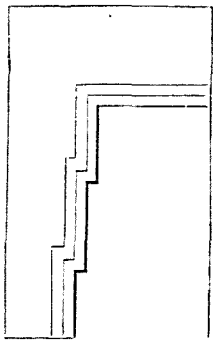


Рис. 420.

Если передняя стѣнка имѣетъ въ нижней своей половинѣ уклонъ, то то же соблюдается и въ отношеніи обратныхъ стѣнокъ (фиг. 103, табл. 11), хотя иногда при малыхъ высотахъ (менѣе 2,80 с. — 3,00 с.) отвѣсная боковая грань встрѣчается и при наклонныхъ переднихъ стѣнкахъ (рис. 417 *а*—417 *г*). Уклонъ наружной грани обратныхъ стѣнокъ имѣетъ особенное значеніе при узкихъ и высокихъ устояхъ.

Для удержанія балласта, а также для красоты, верхъ обратныхъ стѣнокъ устоя и на нѣкоторомъ протяженіи передняя стѣнка обносятся карнизомъ (рис. 413 и 414) шириною около 0,30 с. и высотою около 0,25 с. Иногда помѣщаютъ карнизъ и въ уровнѣ подферменной площадки для предохраненія боковой поверхности отъ потоковъ дождевой воды (фиг. 92 и 94, табл. 10). Для удержанія же балласта со стороны передней грани кладется на верхнюю площадку устоя одиночный (фиг. 92, табл. 10) или парный брусъ, прикрѣпленный къ кладкѣ.

Начертаніе плана и профили фундамента устоя. Верхняя поверхность основанія (фундамента) устоя выступаетъ въ планѣ изъ-за очертанія тѣла устоя не менѣе какъ на 0,10 с. по всѣмъ направленіямъ (рис. 413 и 414). при чемъ при малыхъ устояхъ нерѣдко фундаментъ имѣетъ въ планѣ форму прямоугольника. Основаніе закладывается непосредственно на грунтѣ, на ростверкѣ, на свайномъ основаніи, на опускныхъ колодцахъ и проч. Если фундаментъ закладывается на грунтѣ, то глубина заложенія должна быть не менѣе глубины промерзанія (около 1,00 с. въ сѣверной полосѣ Россіи, 0,75 с. — въ средней ея части). Для уменьшенія давленія на грунтъ полезно постепенно увеличивать площадь фундамента уступами, соразмѣряя число и размѣры

уступовъ съ толщиною фундамента и сопротивленіемъ грунта (фиг. 98 и 103, табл. 11). Во всякомъ случаѣ, независимо отъ толщины фундамента, въ устояхъ балочныхъ мостовъ безусловно необходимо увеличивать число уступовъ съ передней стороны (фиг. 103, табл. 11), чѣмъ обезпечивается болѣе равномѣрная передача давленія на грунтъ, при совмѣстномъ дѣйствіи вертикальной нагрузки и распора земли. Уступы дѣлаютъ высотою около 0,15 с.—0,20 с. и шириною около 0,10 с. — 0,15 с., руководствуясь тѣмъ, чтобы уклонъ былъ около $\frac{2}{3}$ или $\frac{1}{1}$.

Дрены. Пространство между обѣими стѣнками заполняютъ пескомъ, или сухой песчанистой землей, пропускающей воду, съ плотной утрамбовкой слоями не толще

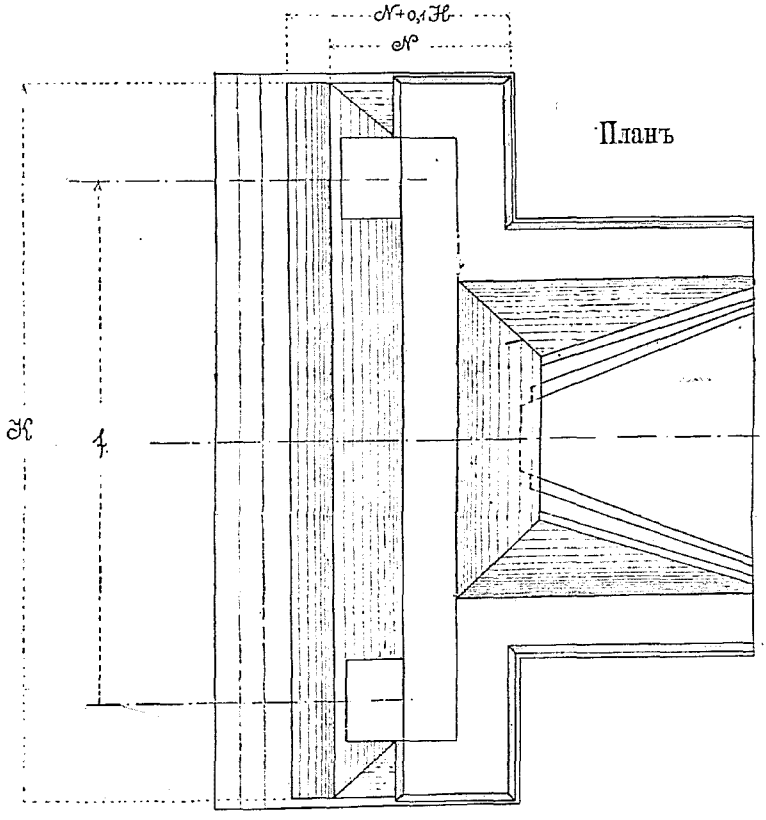


Рис. 421.— Планъ типа устоя на Моск.-Виндавской ж. д. при фермѣ съ ѣздою по низу.

),25 саж. Подъ песчаную засыпку приготовляютъ основаніе изъ естественнаго грунта съ уклономъ къ задней поверхности, гдѣ располагаютъ поперечные дрены (рис. 418*а* и 418*б*).

Условія устойчивости устоя. Поперечные размѣры устоя должны быть во всякомъ случаѣ таковы, чтобы помимо условій прочности онъ удовлетворялъ условіямъ устойчивости относительно скольженія и вращенія въ любомъ сѣченіи. Такъ если F — горизонтальная сила (распоръ земли или распоръ арки), стремящаяся сдвинуть или опрокинуть устой; d—разстояніе точки приложенія этой силы отъ нижняго или промежуточнаго передняго или въ арочныхъ фермахъ отъ нижняго или промежуточнаго задняго ребра основанія; P — вѣсъ устоя надъ плоскостью скольженія; p — плечо этой силы относительно того же ребра; f—коэффиціэнтъ тренія каменной кладки по кладкѣ (f=0,7) или по грунту (въ среднемъ f=0,4),

то: $m.F = P.f$ и $m.F.d = P.p$, гдѣ m—коэффиціентъ устойчивости отъ 1,5 до 2,0. Кромѣ того, въ видахъ достиженія болѣе равномѣрнаго давленія на грунтъ, необходимо, чтобы равнодѣйствующая силъ F и P пересѣкала подошву основанія въ средней ея трети (рис. 422). Въ этомъ послѣднемъ случаѣ подъ P слѣдуетъ понимать не только вѣсъ устоя, но и соотвѣтствующій вѣсъ пролетныхъ частей моста и подвижной нагрузки.

Контрфорсы. Обратныя стѣнки значительно увеличиваютъ устойчивость опоры; но для того, чтобы стѣнки можно было считать какъ одно нераздѣльное цѣлое съ передней стѣнкой, разстояніе между ними не должно быть велико; обыкновенно считаютъ, что *разстояніе между осями двухъ стѣнокъ въ корневой части не должна быть болье тройной ихъ толщины.* Въ противномъ случаѣ, какъ это, напр., можетъ встрѣтиться при широкихъ или косыхъ устояхъ, во избѣжаніе выпучиванія передней стѣнки отъ дѣйствія распора земли или арки, устраиваютъ рядъ промежуточныхъ стѣнокъ (контрфорсовъ) (фиг. 90 и 93, табл. 10), которыя полезно связывать вверху и внизу арками, или же обратныя стѣнки сближаются, помѣщаются не по концамъ передней стѣнки, а немного отступя, напоминая въ планѣ очертаніе устоя на рис. 421, примѣненнаго на Моск.-Виндав. ж. д. для мостовъ съ ѣздою по низу.

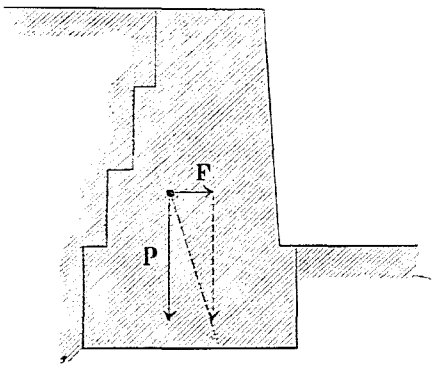


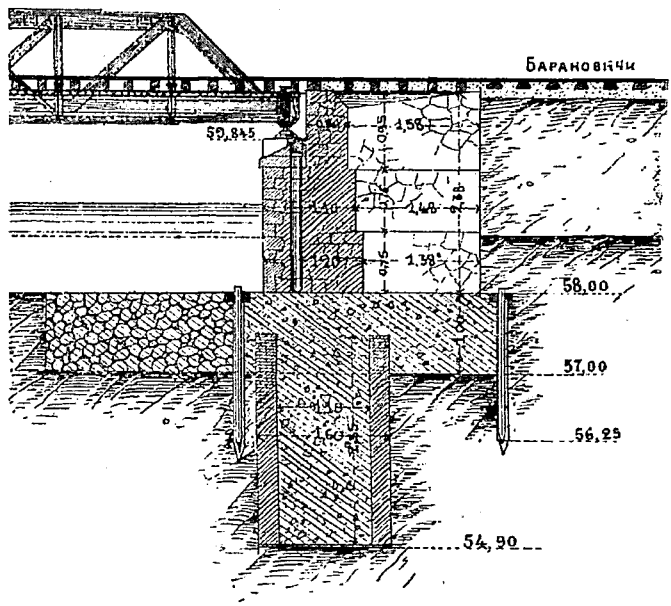
Рис. 422.

На рис. 415 изображенъ типъ устоя съ обратными стѣнками при высотѣ насыпи въ 2,00 с. при величинѣ пролета въ 1 с. на общемъ основаніи, заложенномъ на глубину 1,00 с. На ту же глубину заложенъ лотокъ на протяженіи 0,50 с. съ верховой и низовой стороны; на остальномъ протяженіи глубина заложенія лотка 0,33 с., при чемъ однако фундаментъ подъ стѣнками устоя имѣетъ обрѣзъ въ 0,10 с. въ сторону лотка. Передняя стѣнка имѣетъ три уступа, при наименьшей толщинѣ вверху въ 0,50 с., а внизу въ 1,00 с.; въ обратной стѣнкѣ сдѣлано четыре уступа въ корнѣ и три уступа въ хвостѣ.

На фиг. 92, табл. 10 изображенъ одинъ изъ типовъ устоя съ обратными стѣнками на Ростово-Владикавказской ж. д. для невысокихъ насыпей. Высота насыпи 1,23 с., высота устоя—1,35 с., при однообразной толщинѣ передней стѣнки 0,70 с., что немного менѣе нормы: d=0,5 (h+0,20 с.), толщина стѣнки выше подферменной площадки: 0,45 с. (менѣе нормы 0,50 с.). Длина обратной стѣнки: 1,39 с. = h + 0,16 с., ширина подферменной площадки: 0,24 с.; устои обнесены карнизомъ вверху и въ уровнѣ подферменной площадки. Устои при величинѣ пролета въ 2,00 с. заложены на общемъ основаніи; подъ устоями глубина заложенія 0,50 с. (что объясняется мягкостью климата); въ предѣлахъ лотка наименьшая толщина лотка 0,20 с. (слѣдовало бы не менѣе 0,33 с.); фундаментъ выдвинутъ изъ-за очертанія стѣнки устоя на 0,05 с. въ сторону лотка и на 0,10 с. въ сторону насыпи. Для удержанія балласта съ передней стороны на обрѣзѣ уложенъ брусъ соотвѣтствующей высоты; фермы—деревянная составная балка, опирающаяся на опорный мауэрлатъ.

На рис. 417*а*—417*г* изображенъ типъ устоя при насыпяхъ отъ 1,90 с. до 2,50 с. на Московско-Виндавской ж. д. для мостовъ подъ одинъ путь съ ѣздою по верху. Наименьшая ширина передней стѣнки 2,00 с. въ мостахъ съ ѣздою по верху; высота устоя, считая отъ обрѣза фундамента,—H, а съ карнизомъ—H + 0,20 с., гдѣ H—высота насыпи; длина обратной стѣнки H + 0,20 с. Передняя стѣнка на высотѣ 0,4 H, считая отъ обрѣза фундамента, имѣетъ уклонъ съ наружной стороны: $\frac{1}{4}$, а съ внутренней: $\frac{1}{8}$; толщина стѣнки на остальной высотѣ до подферменной площадки: d=0,65 с.+0,2H; толщина стѣнки выше подферменной площадки составляетъ 0,50 с. при вы-

сотѣ этой части стѣнки до 0,70 с., увеличиваясь до 0,85 при измѣненіи высоты стѣнки до 1,70 с.; за этимъ предѣломъ толщина опредѣлена по формулѣ $d = 0{,}5h_0$, гдѣ h_0 разстояніе отъ нижней грани подферменнаго камня до уровня рельса. Наружная грань обратныхъ стѣнокъ отвѣсная; въ планѣ обратная стѣнка имѣетъ форму трапеціи, при чемъ въ плоскости обрѣза фундамента и въ мѣстѣ сопряженія съ передней стѣнкой толщина стѣнки: 0,35 (H + 0,20 с.), а вверху 0,60 с. на высоту 1,20 с.; сѣченіе измѣняется уступами чрезъ 0,40 с. Фундаментъ не имѣетъ обрѣзовъ съ внутренней стороны; съ наружной стороны имѣется по одному обрѣзу въ 0,05 с. съ боковъ и по три уступа съ передней стороны, по 0,10 с. на каждыя 0,40 с.



Типъ устоя при ѣздѣ по низу отличается лишь уширеніемъ передней стѣнки въ зависимости отъ разстоянія между осями фермъ, при чемъ обратная стѣнка помѣщена не по концамъ передней стѣнки, а немного отступя (рис. 421).

На фиг. 103, табл. 11 изображенъ типъ устоя съ наклонными наружными гранями въ передней и обратныхъ стѣнкахъ, примѣненный на Луковъ-Люблинской ж. д. при высотѣ насыпи отъ 0,75 с. до 3,00 с. (пунктиромъ обозначено необходимое уширеніе устоя для двухъ путей). Уклонъ наружной и задней грани передней и боковыхъ стѣнокъ начинается съ 0,4 H и сдѣланъ въ $\frac{1}{3{,}5}$; верхняя часть стѣнокъ ограничена отвѣсными гранями; длина обратной стѣнки: H + 0,20 с.; въ передней стѣнкѣ сдѣлано по мѣрному колодцу позади каждаго подферменнаго камня. Фундаментъ, опущенный на глубину 0,75 с., имѣетъ одинъ обрѣзъ съ внутренней стороны и съ боковъ и по четыре уступа съ наружной стороны передней стѣнки. Толщина передней и боковой стѣнокъ сохраняется однообразной по высотѣ.

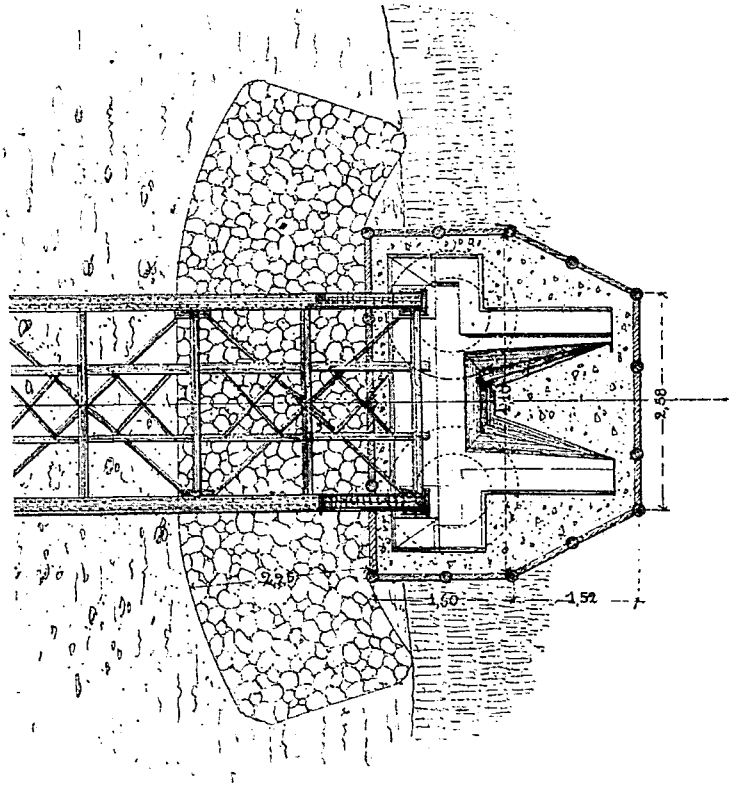


Рис. 422.—Мостъ черезъ р. Зельвянку на Барановичи-Бѣлостокской ж. д.

На рис. 422′ изображенъ устой моста черезъ рѣку Зельвянку на Барановичи-Бѣлостокской ж. д. Тѣло устоя проектировано по типу со сближенными обратными стѣнками. Основаніемъ служитъ бетонный массивъ толщиною 1,00 с. въ огражденномъ шпунтами пространствѣ,—опирающійся на два столба діамстромъ 1,50 с. Каждый столбъ состоитъ изъ кирпичной оболочки толщиною 0,25 с. и бетоннаго заполненія. Столбы опущены на глубину 3,10 с. ниже дна рѣки. Укрѣпленіе впереди устоя сдѣлано крупнымъ камнемъ на ширину 2,25 с. и на глубину 1,00 с., для чего выбранъ предварительно естественный грунтъ на указанную глубину. При высотѣ устоя въ 2,38 с. и толщинѣ бетоннаго массива въ 1,00 саж.—объемъ кладки въ обоихъ устояхъ: 24,95 куб. с.; бетона—29,13 куб. саж., кирпичной кладки въ колодцахъ:—11,02 куб. саж.; поверхность тески: 13,03 кв. саж.

Фиг. 99, таб. 11, представляетъ сомкнутый устой Нигулецкаго моста на Екатерининской ж. д. Въ виду того, что грунтъ скалистый,—основаніе устоя заложено съ обратными уступами. Высота устоя 7,10 с., длина 8,10 с.; галлерея отверстіемъ 2,25 с. перекрыта вверху и внизу арками толщиною 0,33 и 0,38 с.; наружная грань устоя ниже подферменной площадки имѣетъ уклонъ $\frac{1}{25}$; наименьшая толщина стѣнокъ 2,14 с. Поверхъ забутки уложенъ слой бетона; стѣнки по бокамъ и спереди возвышаются для огражденія балласта; спереди стѣнка на срединѣ понижена на высоту окаймляющаго деревяннаго бруса. Нижняя часть сквознаго отверстія прикрыта земляннымъ конусомъ.

Устои съ откосными крыльями.—Основные размѣры передней стѣнки и ея начертаніе.—Различные типы откосныхъ крыльевъ.—Длина откосныхъ крыльевъ.—Толщина крыльевъ.—Примѣры.

Устои съ откосными крыльями. Въ этомъ типѣ устоевъ имѣется передняя стѣнка и два откосныхъ крыла, начинающихся отъ вершины стѣнки (рис. 423 и 424; фиг. 93, табл. 10, фиг. 111, табл. 13, фиг. 585, табл. 74) или примѣрно на половинѣ ея высоты (фиг. 104, табл. 12). Этотъ послѣдній типъ удобенъ въ томъ отношеніи, что при высокихъ и узкихъ устояхъ опора тѣмъ не менѣе устойчива, при чемъ въ то же время существуетъ достаточно хорошая связь съ ядромъ насыпи и передняя часть конусовъ не подвергается дѣйствію размыва проточныхъ водъ.

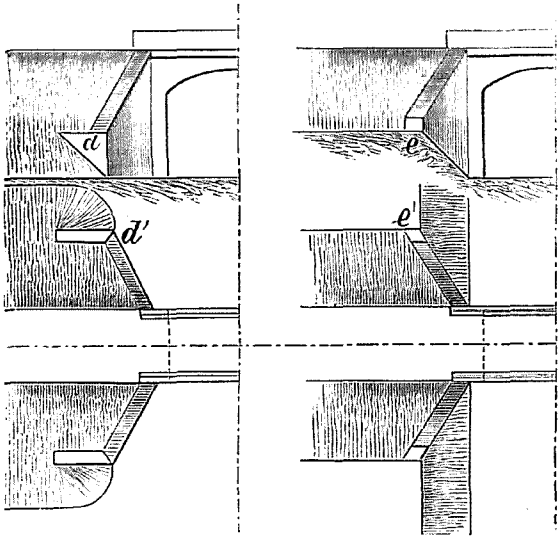


Рис. 423. Рис. 424.

Основные размеры передней стѣнки и ея начертаніе. Что касается *высоты, длины и начертанія профиля передней стѣнки*, то слѣдуетъ повторить то же, что было сказано относительно передней стѣнки устоевъ съ обратными стѣнками. Необходимо и здѣсь замѣтить, что при устройствѣ каменныхъ трубъ высота устоевъ можетъ быть сдѣлана значительно менѣе высоты насыпи и находится главнымъ образомъ въ зависимости отъ горизонта подъема водъ, очертанія внутренней направляющей свода и проч.

Различные типы откосныхъ крыльевъ. Крыло можетъ имѣть направленіе *перпендикулярное* къ продольной оси моста (рис. 407), *наклонное* (рис. 405, рис. 424, фиг. 111, табл. 13), *ломанное* (рис. 423) или *криволинейное (выпуклое* или *вогнутое)* (рис. 406, рис. 425*а* и *б*); наклонное (расходящееся) направленіе полезно въ смыслѣ постепеннаго сжатія струи. Передняя грань крыла дѣлается или отвѣсною,

или наклонною (для большей устойчивости); при криволинейномъ очертаніи крыла боковая поверхность—цилиндрическая или коническая. Различные типы откосныхъ крыльевъ показаны на рис. 426. Вогнутыя крылья предпочтительнѣе выпуклыхъ; послѣднія непредставляются раціональными въ отношеніи распора отъ откоса насыпи. Если нижнее ребро насыпи находится на одномъ уровнѣ съ лоткомъ, то впереди откосныхъ крыльевъ (рис. 423) не можетъ расположиться откосъ насыпи. Если же нижнее ребро откоса насыпи выше лотка (рис. 424), то при наклонномъ направленіи крыла, доведеннаго до пересѣченія съ нижнимъ ребромъ, впереди передней стѣнки расположится часть откоса естественнаго грунта (берега). Отъ очертанія крыла въ планѣ зависитъ и перемѣнная высота его, опредѣленная по правиламъ начертательной геометріи, въ виду чего верхняя наклонная грань представитъ плоскую или криволинейную поверхность.

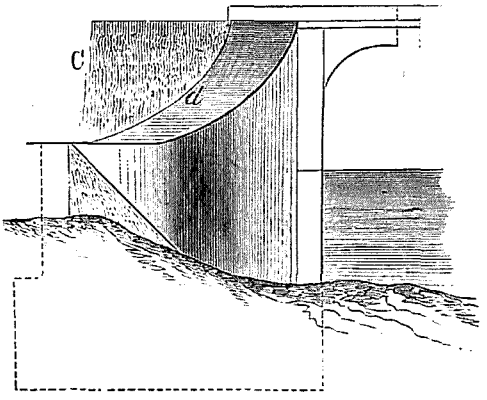


Рис. 425*а*.

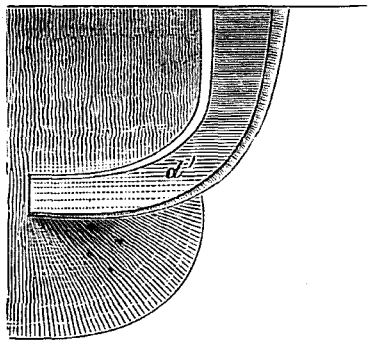


Рис. 425*б*.

Если высокія воды поднимаются значительно выше нижняго ребра насыпи, то верхнюю наклонную грань откоснаго крыла опускаютъ обыкновенно только до горизонта высокихъ водъ, а на остальномъ протяженіи крыла дѣлаютъ ее горизонтальной, при чемъ или не измѣняютъ направленія крыла (фиг. 93, табл. 10), или же, сдѣлавъ поворотъ, даютъ крылу направленіе, параллельное оси полотна, и углубляютъ въ насыпь настолько, чтобы откосъ насыпи не выходилъ изъ-за ребра (d, d') (рис. 423). Въ этомъ послѣднемъ случаѣ для удобства стока воды придаютъ верхней грани загнутой части крыла уклонъ, равный уклону откоса насыпи; вмѣсто остраго ребра (d, d') дѣлаютъ закругленія (рис. 425). Для большей устойчивости прибавляютъ контрфорсы къ задней поверхности крыльевъ и стѣнокъ устоя; это позволяетъ придавать меньшіе поперечные размѣры стѣнкамъ. Контрфорсы для лучшей взаимной связи соединяются прямыми и обратными сводами (фиг. 93, табл. 10). Въ пучистыхъ грунтахъ лучше располагать крылья по кривой.

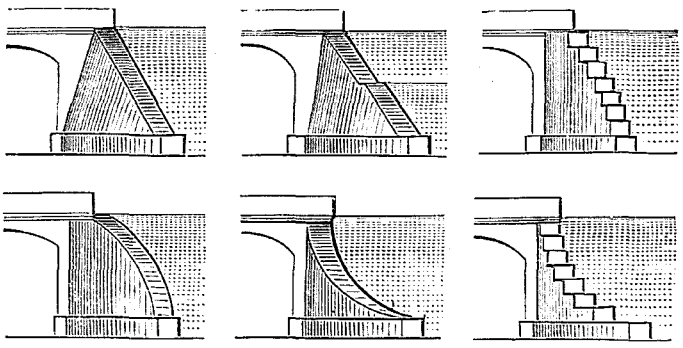


Рис. 426.

Въ типахъ устоевъ, представляющихъ соединеніе типа (1) и (2), т. е. когда откосныя крылья начинаются примѣрно съ половины высоты (фиг. 104 табл. 12, рис. 427),—крыломъ отсѣкается извѣстная часть конуса. Если задаться требованіемъ, чтобы перемѣнная высота крыла нигдѣ не возвышалась надъ кривой пересѣченія конуса съ крыломъ, то этому можно удовлетворить, если расположить крыло нормально къ оси пути или по нѣкоторой кривой. Если горизонтальная проекція крыла нормальна къ оси полотна, то вертикальная проекція — парабола. Если поставить условіе, чтобы вертикальная проекція на плоскость, перпендикулярную къ продольной оси пути, была наклонная прямая линія, то горизонтальная проекція будетъ нѣкоторая кривая (рис. 427). Наконецъ, можно выбрать промежуточное положеніе (фиг. 104 табл. 12). Длина обратной стѣнки выше крыла должна отвѣчать горизонтальному заложенію оставшейся части конуса съ запасомъ въ 0,20 с.—0,30 с.

Длина откосныхъ крыльевъ. *Длина откосныхъ крыльевъ* въ случаѣ сопряженія съ насыпью находится въ зависимости отъ высоты насыпи, отъ направленія и очертанія крыла въ планѣ. Если крыло начинается отъ вершины стѣнки и доводится до ближняго ребра откоса насыпи, то длина прямого крыла равна $\frac{3}{2}\,h$, если h — высота насыпи, или $\frac{3}{2\cos\alpha}\,h$, если α — уголъ, составленный направленіемъ крыла съ направленіемъ перпендикулярнымъ къ продольной оси полотна. Иногда, впрочемъ, крыло не доводятъ до ближняго ребра, наблюдая при этомъ, чтобы толщина крыла въ концѣ соотвѣтствовала полуторному заложенію высоты тої отмѣтки откоса насыпи, гдѣ закапчивается крыло (фиг. 111, табл. 13). Длина криволинейныхъ крыльевъ или прямыхъ, отсѣкающихъ часть конуса, опредѣляется по правиламъ начертательной геометріи.

Толщина крыльевъ. *Толщину* крыла дѣлаютъ равною 0,5 h, гдѣ h—перемѣнная высота крыла, равная высотѣ земляной засыпки, при наименьшей толщинѣ крыла въ концѣ въ 0,30 с. Если h довольно значительно, напримѣръ болѣе 1 сажени, то толщину крыла постепенно увеличиваютъ къ основанію или ведутъ ее уступами. Если же откосъ насыпи или конуса возвышается надъ верхнею поверхностью крыла подъ одиночнымъ или полуторнымъ уклономъ, какъ это напр. имѣетъ мѣсто въ типѣ устоя, представляющемъ соединеніе (1) и (2) (фиг. 104, табл. 12), то толщина опредѣляется по тѣмъ же формуламъ, которыя приведены въ подобныхъ же случаяхъ для обратныхъ стѣнокъ, т. е. по формуламъ: $d = 0{,}3\ h_0$ или $d = 0{,}4\ h_0$, гдѣ h_0 отъ 1,55 h до 1,71 h, если h — высота стѣнки. Если передняя грань крыла имѣетъ уклонъ $\frac{1}{6}$, а задняя вертикальна, H — поремѣнное возвышеніе насыпи надъ кордономъ, h — перемѣнная высота крыла, то толщина крыла по верху въ метрахъ:

$$d \text{ м.} = 0{,}438 + 0{,}3\ h - \frac{h}{10}\left(1 - \frac{H}{3h}\right)^2$$

На основаніи этой формулы составлена таблица, помѣщенная на стр. 534.

На рис. 428*а* и 428*б* изображенъ устой Каменноостровскаго моста, состоящій изъ передней стѣнки и двухъ откосныхъ крыльевъ на свайномъ основаніи.

На рис. 429*а*, 429*б* и 429*в* показаны устои бывшаго Исаакіевскаго плашкоутнаго моста со сходнями около откосныхъ крыльевъ. На рис. 429*б* изображено и сѣченіе каменной набережной, съ которой сопрягается устой.

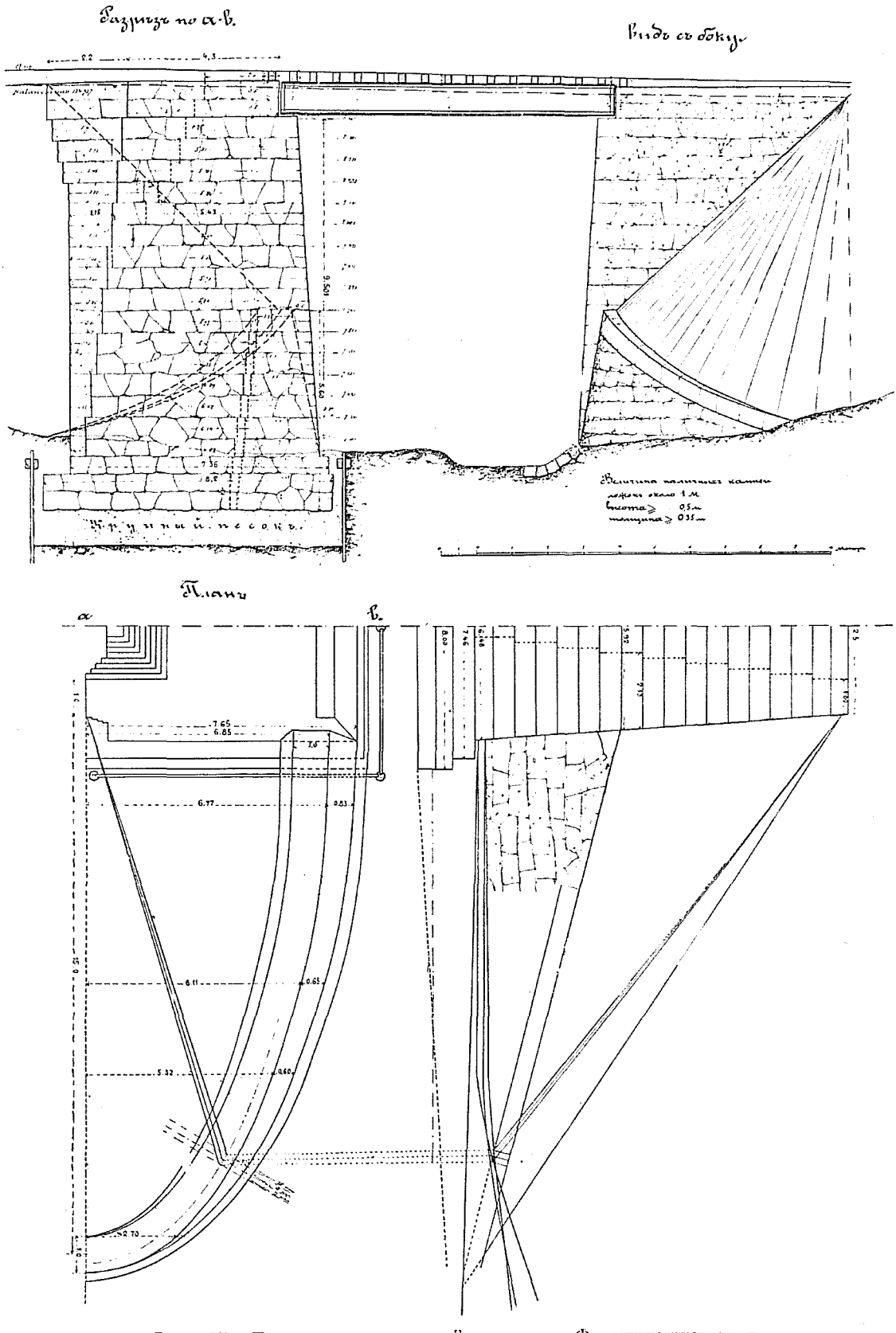


Рис. 427.—Типъ устоя изъ сухой кладки на Финляндскихъ ж. д.

Высота стѣнки надъ поверхностью земли.	Толщина поверху, предполагая, что передняя грань имѣетъ уклонъ $^1/_6$, а задняя—вертикальна.								
	При высотѣ кавальера.								
	0—1 м.	3 м.	6 м.	9 м.	12 м.	15 м.	20 м.	25 м.	30 м.
1 метр. . . .	0,64	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74		
2 „ . . .	0,84	0,90	1,04	1,04	1,01	1,04	1,04		
3 „ . . .	1,04	1,21	1,31	1,34	1,34	1,34	1,34		
4 „ . . .	1,24	1,42	1,54	1,62	1,64	1,64	1,64	Тоже	Тоже
5 „ . . .	1,44	1,62	1,76	1,86	1,92	1,94	1,94		
6 „ . . .	1,64	1,82	1,97	2,09	2,17	2,22	2,22		
7 „ . . .	1,84	2,03	2,18	2,31	2,41	2,48	2,54		
8 „ . . .	2,04	2,23	2,39	2,53	2,64	2,73	2,82		
9 „ . . .	2,24	2,43	2,60	2,74	2,86	2,96	3,08	3,14	3,14
10 „ . . .	2,44	2,63	2,80	2,95	3,08	3,19	3,33	3,41	3,44

На фиг. 93, таб. 10 представленъ типъ устоя арочнаго моста съ откосными крыльями. Устои, на которые опирается арка пролетомъ 20 ф. 4 д., имѣютъ высоту въ 12 ф. Стѣнки устоя и откосныхъ крыльевъ усилены контрфорсами, связанными вверху и внизу арками. Толщина контрфорсовъ—2 ф., ширина ихъ по верху—2 ф. 3 д., а по низу—5 ф.; разстояніе между осями контрфорсовъ около 7 ф. Толщина свода, поддерживающаго мостовое полотно шоссейнаго моста, 2 ф. 3 д. Арка ограничена съ обоихъ концовъ фронтонами съ карнизомъ. Толщина стѣнки 2 ф. 3 д., что при пологой аркѣ и высотѣ стѣнки

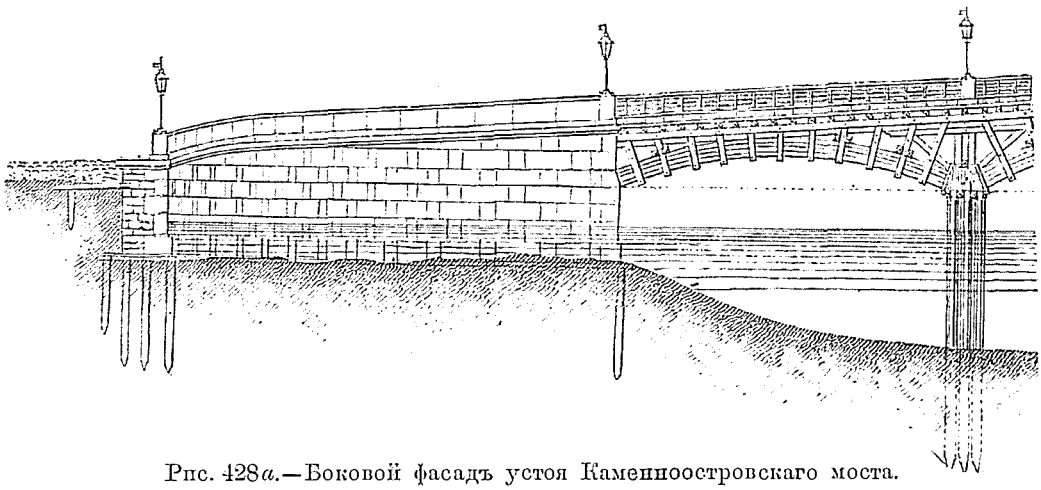


Рис. 428*а*.—Боковой фасадъ устоя Каменноостровскаго моста.

въ 12 ф. слѣдуетъ отнести къ очень смѣлымъ размѣрамъ. Откосныя крылья, начинающіяся отъ уровня карниза фронтона,—расходящіяся и имѣютъ наружную и заднюю грань наклонными въ одну сторону, что въ случаѣ примѣненія контрфорсовъ не представляетъ затрудненія при возведеніи кладки. Верхъ откоснаго крыла имѣетъ въ концѣ горизонтальное направленіе.

На фиг. 111, таб. 13 показанъ типъ устоя съ откосными крыльями безъ контрфорсовъ; толщина устоя и крыла въ корневой части—4 ф., т. е. вдвое толще арки; наружная и задняя грани наклонены въ разныя стороны; наружная грань крыла проведена такъ, что пяты арокъ не прикрыты крыломъ.

На фиг. 104, таб. 12 изображенъ устой (соединеніе типа 1 и 2), примѣненный на Екатеринбурго-Тюменской ж. д. при насыпяхъ свыше 3,00 с. Высота устоя 5 с.; откосные крылья начинаются

съ половины высоты устоя и проведены въ планѣ по пологой кривой, въ виду чего длина крыла 5,20 с., нѣсколько болѣе $\frac{3}{2} \times 5 \times \frac{1}{2} = 3{,}75$ с. Крылу въ зависимости отъ условій заданія можно дать различное направленіе. Если крыло будетъ нормально къ продольной оси моста, то горизон-

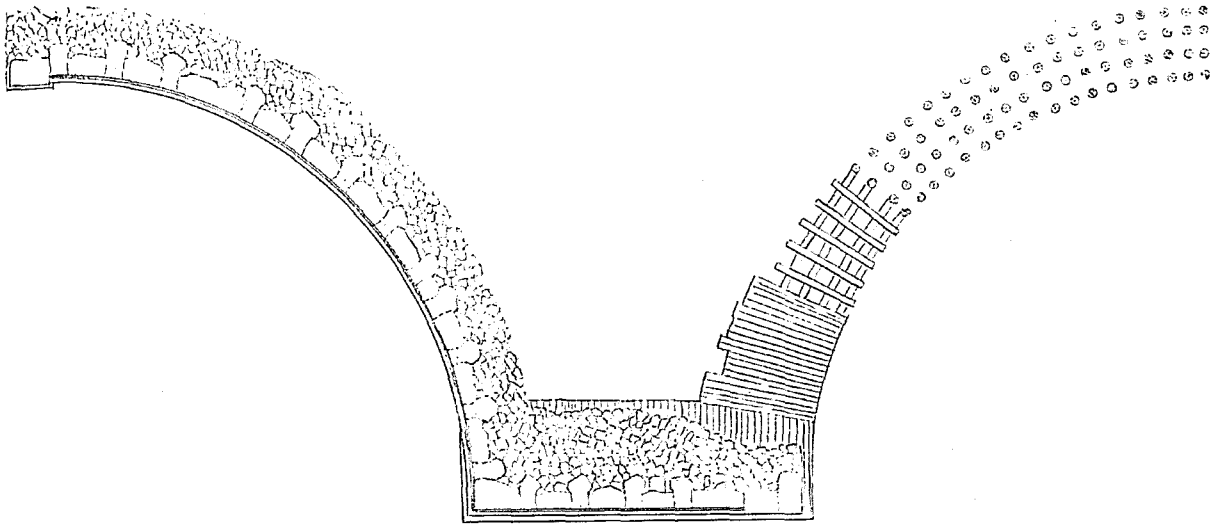


Рис. 428*б*.—Планъ устоя Каменноостровскаго моста.

тальная проекція будетъ прямая линія, а вертикальная — парабола. Можно, обратно, задаться требованіемъ, чтобы вертикальная проекція была наклонная прямая, тогда горизонтальная расположится по нѣкоторой кривой. Въ данномъ случаѣ выбрано промежуточное заданіе и пересѣченіе конуса съ цилиндромъ проектируется въ вертик. проекціи въ видѣ выпуклой кривой. Толщина откоснаго крыла однообразная по высотѣ ($0{,}42h'$), гдѣ h'—высота крыла, и измѣняется по длинѣ крыла отъ 1,00 с. до 0,30 с. Обратная стѣнка устоя длиною $0{,}5h + 0{,}20$ с., однообразной толщины по длинѣ и измѣняется въ толщинѣ по высотѣ отъ 0,30 с. до 0,40 с. Толщина передней стѣнки внизу: $0{,}4h = 2{,}00$ с., а вверху—1,25 с. Незначительная толщина обратныхъ стѣнокъ 0,80 с. и 0,40 с. въ мѣстѣ сопряженія съ передней стѣнкой (2,00 с. и 1,25 с.) объясняется тѣмъ, что стѣнки обсыпаны снаружи конусами на значительную высоту.

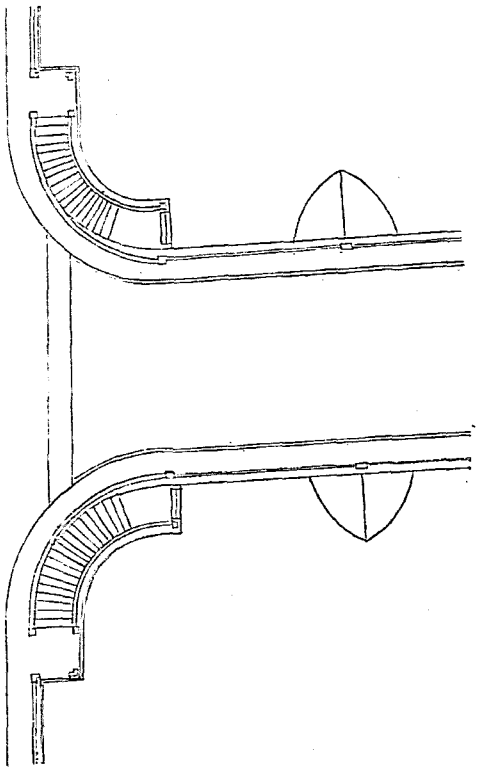


Рис. 429*а*.

На рис. 427 изображенъ того же типа устой на Финляндской ж. дор. изъ *сухой* кладки. Высота устоя 10,5 м.; съ высоты 5,6 м. начинается откосное крыло, доведенное до нижняго ребра откоса насыпи. Направленіе крыла задано такъ, что въ вертикальной проекціи на плоскость, параллельную лицевой грани устоя, верхняя грань крыла проектируется по прямой наклонной линіи; въ зависимости отъ сего (вычертивъ въ планѣ конусъ до полной четверти) по точкамъ построено очертаніе крыла въ планѣ, а затѣмъ и проекція крыла на плоскость, параллельную боковой поверхности устоя. Толщина передней стѣнки устоя 4,3 м., а въ плоскости обрѣза фундамента 6,62 м., что соот-

вѣтствуетъ нормѣ $d = 0{,}66h'$; передняя и задняя грани наклонны; задняя грань короткихъ обратныхъ стѣнокъ впущена напускомъ внутрь ядра насыпи. Толщина откоснаго крыла въ корневой части

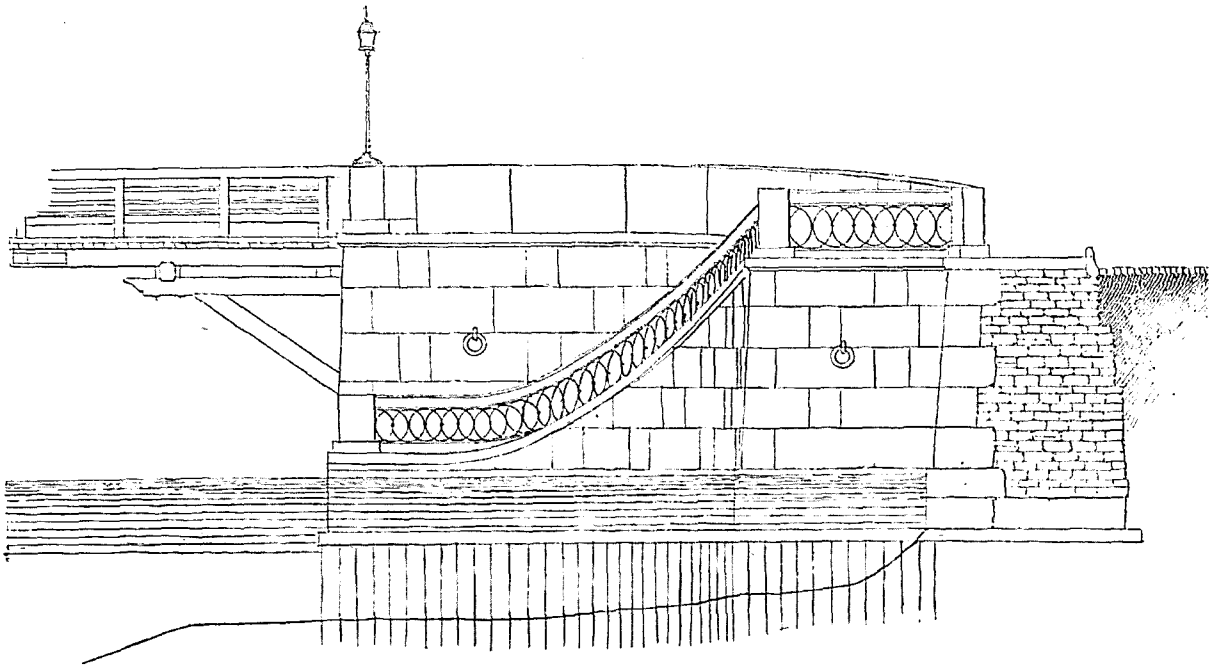


Рис. 429*б*.—Боковой фасадъ устоя бывшаго Исаакіевскаго моста черезъ р. Неву.

вверху—1 метр., внизу—2 метр.; толщина въ хвостѣ—1 м.; въ мѣстѣ сопряженія съ тѣломъ устоя уклонъ передней грани крыла $\frac{1}{11}$. Основаніемъ служитъ крупный песокъ, въ огражденномъ шпунтами пространствѣ. Для сухой кладки употребляются въ Финляндіи гранитные камни размѣровъ не

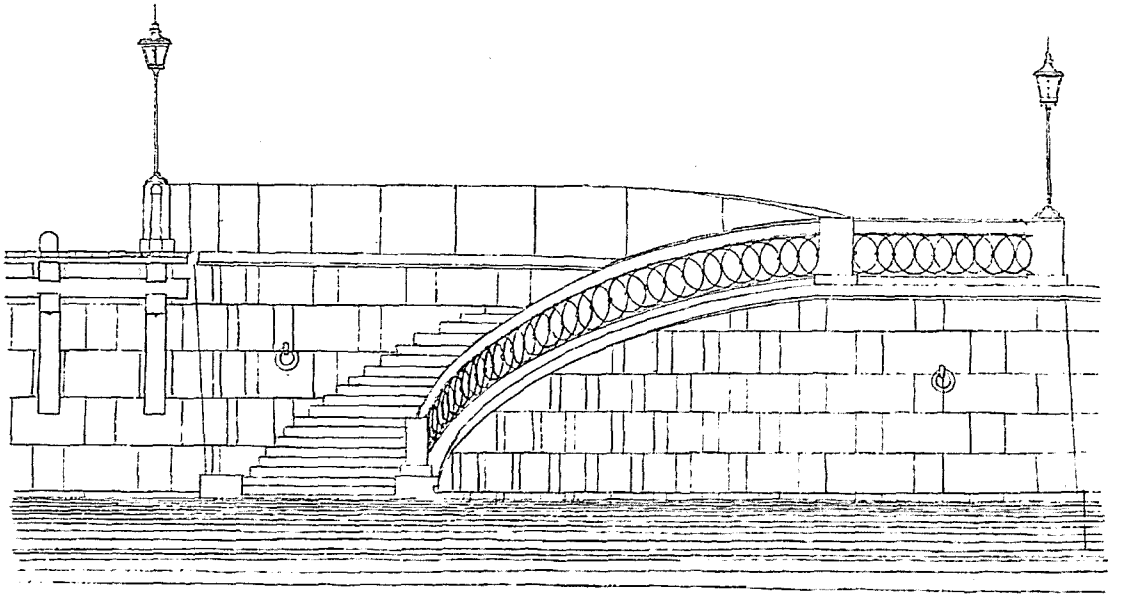


Рис. 429*в*.—Лицевой фасадъ устоя бывшаго Исаакіевскаго моста.

менѣе $0{,}6 \times 0{,}6 \times 1{,}0$ метр. для облицовки и нѣсколько менѣе для остальной части, но той же толщины. Кладка ведется безъ мху, требуется, чтобы камни лежали плотно на постеляхъ, правильно чередовались ложки съ тычками, и возможныя щели расклинивались мелкимъ камнемъ. Особенное вниманіе обращается на прочность основанія, на правильную связь облицовки съ остальной

частью кладки и на устройство насыпи вблизи устоя изъ песку, слоями, съ плотной утрамбовкой. Устои изъ сухой кладки допускаются въ Финляндіи до высоты насыпи 10 метр. при величинѣ пролета не болѣе 12 метр.

Различные типы устоевъ въ видѣ сплошныхъ или полыхъ столбовъ, съ колодцами и съ поперечными галлереями (сомкнутые устои). Условія начертанія сплошныхъ устоевъ съ колодцами и сомкнутыхъ устоевъ. Примѣры.

Различные типы устоевъ въ видѣ сплошныхъ или полыхъ столбовъ. Устои этого типа состоятъ изъ сплошныхъ или полыхъ столбовъ прямоугольнаго и тавроваго сѣченій (рис. 410, фиг. 94 и 97, табл. 10). Тавровыя сѣченія встрѣчаются

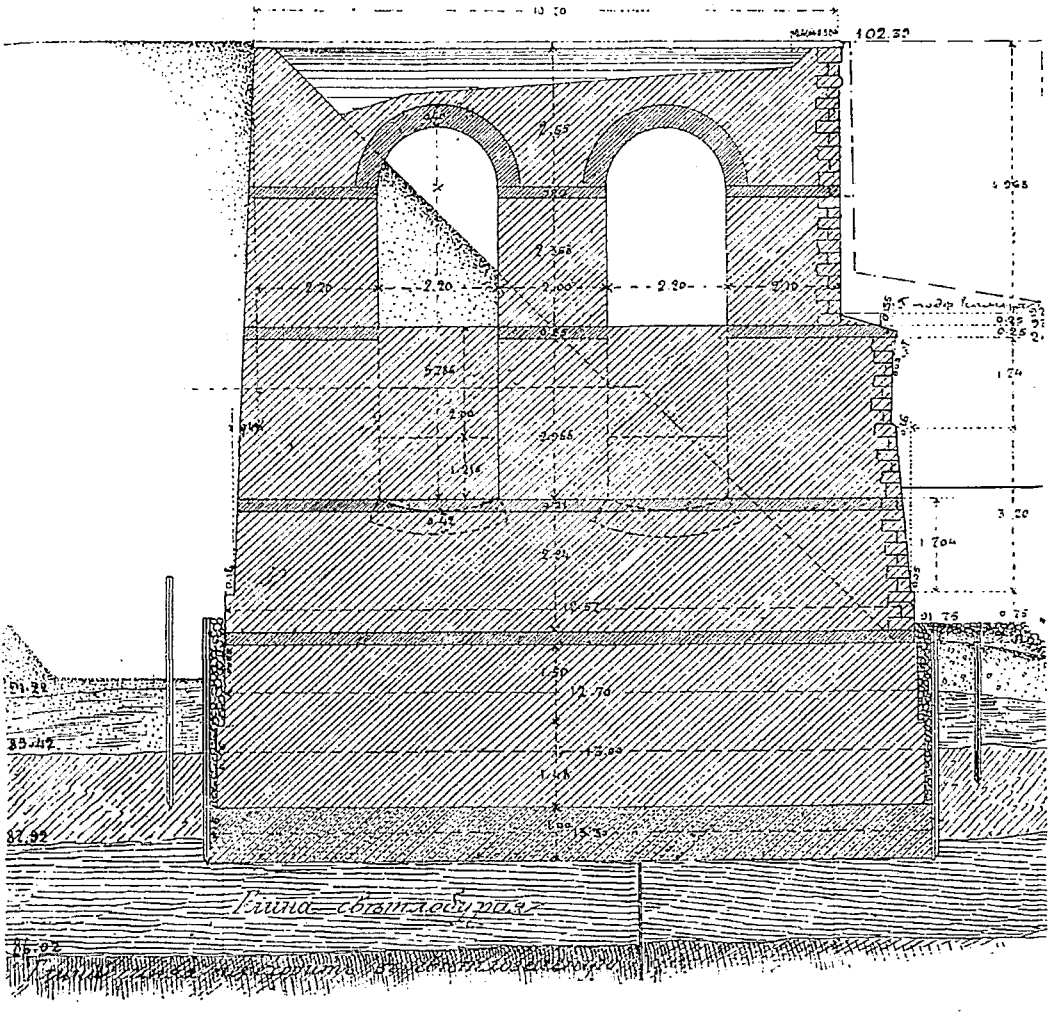


Рис. 430*а*.—Продольный разрѣзъ устоя моста черезъ р. Волгу на Ржево-Вяземской ж. д.

въ мостахъ съ ѣздою по низу, когда требуется значительная ширина устоя; сохраненіе такой ширины по всей длинѣ устоя, не вызываемое требованіями устойчивости, было бы безцѣльнымъ; въ этомъ случаѣ задняя часть устоя представляетъ сведенныя въ одно цѣлое двѣ обратныя стѣнки. Наименьшая толщина уширенной части тавра, смотря по высотѣ насыпи и величинѣ пролета, составляетъ около 1,50 с. Сопряженіе уширенной части съ заднею частью дѣлается подъ прямымъ угломъ (фиг. 97, табл. 10) или же при помощи трапецеидальной вставки (фиг. 95, табл. 10).

Для уменьшенія кладки устои-столбы дѣлаются внутри полыми, что достигается разнообразными пріемами: устраиваются по ширинѣ и длинѣ столба одинъ или болѣе рядовъ колодцевъ, постепенно съужающихся къ низу (фиг. 94 и 94*а*, табл. 10) или однообразнаго сѣченія: прямоугольнаго (фиг. 95, фиг. 96, табл. 10) или цилиндрическаго (фиг. 101, табл. 11), открытыхъ сверху (фиг. 94, табл. 10), или перекрытыхъ сводами только вверху (фиг. 95 и 96, табл. 10 и фиг. 393, табл. 57), или связанныхъ по высотѣ промежуточными сводами (фиг. 91, табл. 10).

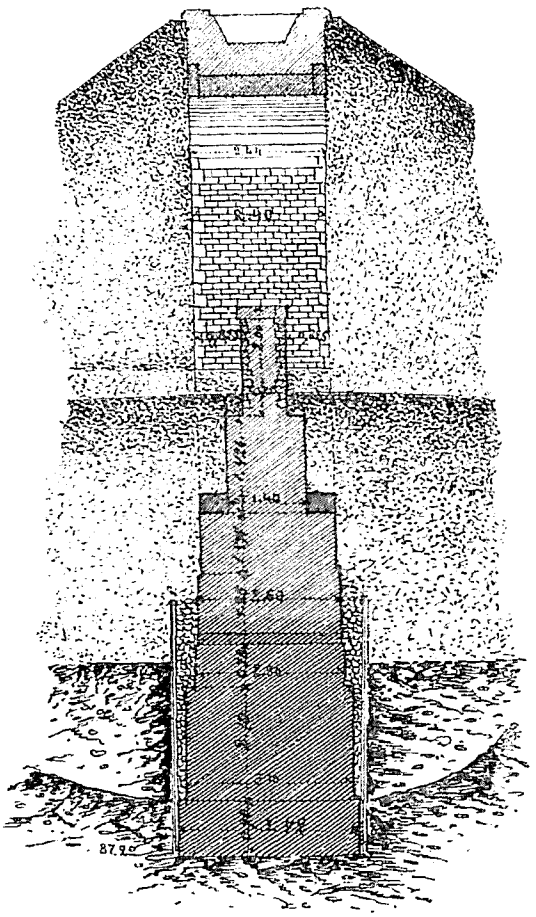


Рис. 430*б*.—Поперечный разрѣзъ устоя моста черезъ р. Волгу на Ржево-Вяземской ж. д.

Уменьшеніе кладки достигается еще устройствомъ поперечныхъ галлерей, сквозныхъ (фиг. 99 и 102, табл. 11) или ограниченныхъ съ боковъ стѣнками (фиг. 98, табл. 11). Иногда для бо́льшаго уменьшенія кладки оставляютъ сверхъ того сводчатыя отверстія какъ въ передней стѣнкѣ (фиг. 100, табл. 11), такъ и въ задней стѣнкѣ (рис. 430*а* и *б*). Вся эта группа устоевъ съ поперечными галлереями называется *сомкнутыми* устоями. Типомъ сомкнутыхъ устоевъ пользуются иногда для проложенія чрезъ опоры бичевника, дороги и пр. (фиг. 102, табл. 11 и фиг. 107, табл. 13).

Этотъ типъ устоевъ по своей массивности наиболѣе пригоденъ для арочныхъ или подкосныхъ мостовъ. Какъ уже сказано было при описаніи типа устоевъ съ обратными стѣнками, для пониженія точки приложенія распора въ каменныхъ арочныхъ мостахъ сводчатая кладка продолжается внутрь устоя (фиг. 107*в* и 107*д* табл. 13), а также для увеличенія сопротивленія скольженію основаніе закладывается наклонно, съ наклонно забитыми сваями подъ частью устоя (фиг. 107*б* и 107*в* табл. 13) или подъ всѣмъ устоемъ.

Условія начертанія сплошныхъ устоевъ съ колодцами и съ поперечными галлереями (сомкнутые устои). *Ширина, высота и длина* устоя этого типа опредѣляется на основаніи тѣхъ же соображеній, какъ и въ типѣ устоя съ обратными стѣнками.

Что касается размѣровъ стѣнокъ устоя типа (3) съ колодцами, то обыкновенно придерживаются того правила, чтобы наименьшая толщина была не менѣе 0,50 саж. Толщину передней стѣнки на различныхъ высотахъ дѣлаютъ отъ $(0{,}4 - 0{,}5)\,h$ въ виду того, что эта стѣнка не подвержена непосредственно дѣйствію распора земли. Уступы ведутъ чрезъ такіе промежутки, чтобы приращеніе толщины не превосходило 0,10—0,20 саж., что соотвѣтствуетъ высотѣ уступа 0,30—0,50 саж. Иногда, впрочемъ, отступаютъ отъ этого правила—ведутъ уступы чрезъ 0,75 или даже 1,00 саж., дѣлая утолщенія на 0,10—0,15 саж., соблюдая при томъ, чтобы

перемѣнная толщина пигдѣ не была менѣе $0{,}4\,h$. Боковыя и заднія стѣнки дѣлаютъ по-верху 0,50 саж. и затѣмъ утолщаютъ на тѣхъ же горизонтахъ, какъ и переднюю стѣнку.

Для опредѣленія размѣровъ сводовъ въ сомкнутыхъ устояхъ могутъ служить для соображенія слѣдующія данныя, примѣненныя на Ряз.-Уральской и Моск.-Виндавской ж. д.

Отверстіе галлереи.	Толщина свода кирпичнаго или бутоваго.	Толщина тесоваго свода.	Толщина задней стѣнки въ пятахъ верхняго свода не менѣе:	Толщина задней стѣнки у обратнаго свода не менѣе:	Примѣчаніе.
с.	с.	с.	с. с.	с. с.	
0,50	0,25	0,17	$0{,}28 + 0{,}08\,t$	$0{,}28 + 0{,}25\,t$	t = высотѣ отъ пятъ верхняго свода до обратнаго свода въ саженяхъ.
0,75	0.25	0,17	$0{,}35 + 0{,}09\,t$	$0{,}35 + 0{,}26\,t$	
1,00	0,32	0,22	$0{,}43 + 0{,}12\,t$	$0{,}43 + 0{,}29\,t$	
1,25	0,32	0,22	$0{,}48 + 0{,}12\,t$	$0{,}48 + 0{,}29\,t$	
1,50	0,32	0,22	$0{,}53 + 0{,}12\,t$	$0{,}53 + 0{,}29\,t$	
1,75	0,32	0,22	$0{,}57 + 0{,}12\,t$	$0{,}57 + 0{,}29\,t$	
2,00	0,32	0,22	$0{,}61 + 0{,}12\,t$	$0{,}61 + 0{,}29\,t$	
2,25	0,38	0,22	$0{,}67 + 0{,}14\,t$	$0{,}67 + 0{,}31\,t$	

Дно колодцевъ слѣдуетъ закладывать на высотѣ нѣсколько бо́льшей горизонта высокихъ водъ, въ виду возможности просачиванія воды внутрь колодца. Колодцы, а въ особенности открытые, для увеличенія устойчивости заполняются иногда сухимъ пескомъ, щебнемъ или лучше тощимъ бетономъ. Верхъ открытыхъ колодцевъ (фиг. 94 и 94*a*, табл. 10), заполненныхъ сухимъ матеріаломъ, покрывается бетономъ, слоемъ цемента и асфальта съ общимъ скатомъ къ продольной оси моста и къ задней стѣнкѣ. Если устой длинный, и нежелательно спускать значительное количество дождевой воды позади устоя, то около задней стѣнки дѣлается порогъ, препятствующій стеканію воды, которая выводится на боковыя грани устоя помощью особыхъ трубъ, подобно тому, какъ это указано на фиг. 430*a* Такъ какъ нельзя быть увѣреннымъ, что предохранительный слой изъ бетона предохранитъ доступъ дождевой воды внутрь колодца, то полезно въ уровнѣ дна колодцевъ оставлять въ боковыхъ стѣнкахъ отверстія съ выходомъ на конуса. Если колодцы оставляются незаполненными, то верхъ перекрывается сводами, продольная ось которыхъ направлена по длинѣ устоя. При узкихъ устояхъ располагаютъ одинъ рядъ колодцевъ по длинѣ устоя (фиг. 95, табл. 10), а при широкихъ одинъ рядъ по ширинѣ (фиг. 96, табл. 10). Своды закрытыхъ колодцевъ перекрываются забуткой съ общимъ скатомъ къ задней поверхности и перекрываются рольпымъ свинцомъ или слоемъ бетона въ 8 д. или цемента толщиною не менѣе 2 д. и асфальта толщиною не менѣе 1 д., на которомъ располагается балластъ подъ желѣзнодорожный путь или подъ мостовую. При нѣсколькихъ галлереяхъ по ширинѣ устоя боковыя стѣнки дѣлаются толще промежуточныхъ стѣнокъ. Если промежуточныя стѣнки очень высоки и тонки, то для увеличенія устойчивости нижняя часть стѣнокъ дѣлается толще (фиг. 96, табл. 10), или стѣнки связываются по высотѣ промежуточными сводами (фиг. 91, табл. 10, фиг. 396, табл. 57). Полезно связывать внизу всѣ стѣнки обратными сводами для передачи давленія отъ стѣнокъ на всю площадь основанія. Для увеличенія

сопротивленія поперечныхъ стѣнокъ боковому выпучиванію и дѣйствію распора полезно также связывать ихъ на половинѣ высоты продольными стѣнками, толщиною не менѣе 0,50 с., размѣщая эти стѣнки чрезъ 1 с.—1,50 с. подобно тому, какъ это напр. сдѣлано въ устоѣ моста чрезъ р. Волгу на Ржево-Вяземской жел. дор. (рис. 430*а* и 430*б*), и въ типѣ сомкнутыхъ устоевъ Моск.-Виндавской ж. д.; для возможности осмотра оставляютъ внутри проходы и лазы со стороны передней стѣнки (фиг. 96, табл. 10).

Въ сомкнутыхъ устояхъ галлереи также перекрываются сводами; если основаніе общее, примѣняютъ кромѣ того обратные своды (фиг. 99 и 102, табл. 11), и при значительной высотѣ галлерей связываютъ стѣнки на половинѣ ихъ высоты соеди-

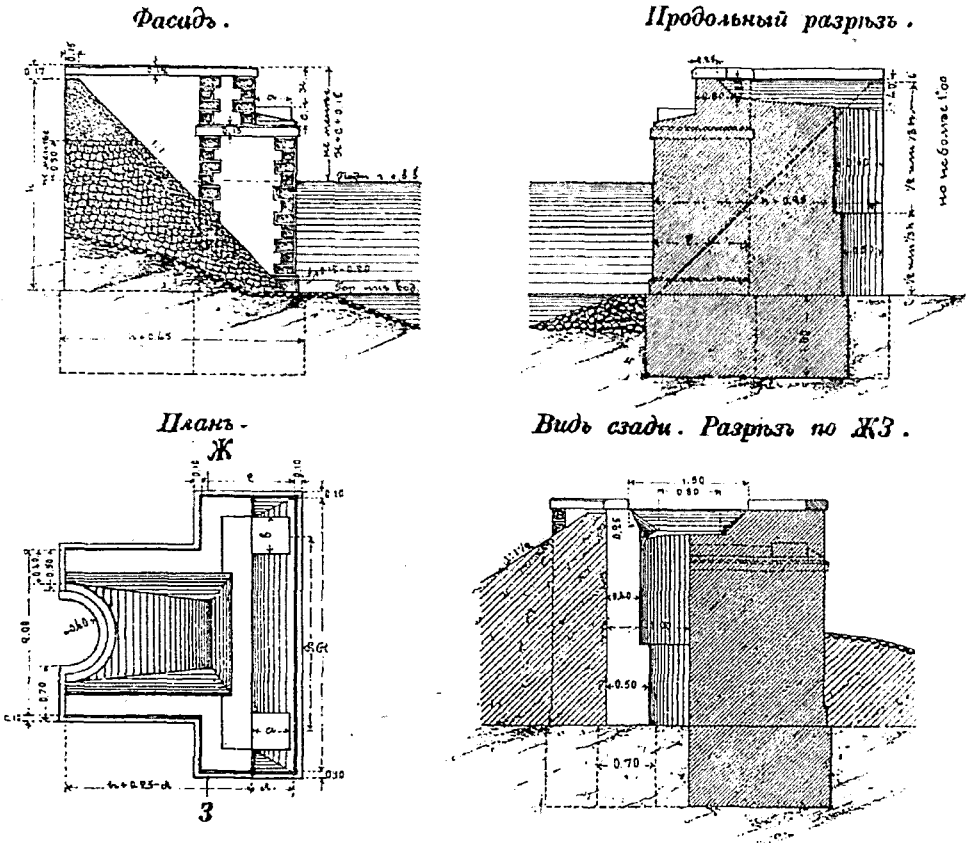


Рис. 431.—Типъ устоя на Уфа-Златоустовской ж. д.

нительными тонкими стѣнками (рис. 430*а* и 430*б*). Когда же передняя и задняя стѣнки имѣютъ самостоятельныя основанія, то ограничиваются однимъ верхнимъ сводчатымъ перекрытіемъ, на которомъ располагается балластъ подъ полотно (фиг. 98 и 100, табл. 11), при чемъ иногда поперечная галлерея замыкается по концамъ стѣнками, выведенными на узкихъ аркахъ, перекинутыхъ съ задней стѣнки на переднюю (фиг. 98, табл. 11). При раздѣльныхъ основаніяхъ передней и задней стѣнокъ устраивается иногда надъ ними одинъ общій устой-столбъ (фиг. 113, табл. 14), въ которомъ устроена сквозная галлерея. Сомкнутые своды требуютъ безусловно падежнаго основанія, иначе въ сводахъ могутъ появиться трещины, вслѣдствіе неравномѣрной осадки.

На фиг. 97 таб. 10 изображенъ устой въ видѣ сплошного столба тавроваго сѣченія для мостовъ съ ѣздою по низу при высотѣ насыпи не менѣе 3,5 саж. Ширина устоя 3,50 саж.; длина: $h +$

0,15 саж. Ширина хвоста: 2,20 саж.; въ задней части сдѣланы небольшія выкружки. Верхняя поверхность устоя, обдѣланная въ видѣ корыта, окаймленнаго стѣнкой шириною 0,45 саж., имѣетъ скатъ къ задней грани устоя; на передней возвышенной стѣнкѣ устоя установленъ брусъ, ограничивающій балластный слой.

На рис. 431 — изображенъ подобный же типъ устоя, примѣненный на Уфа-Златоустовской ж. д. для моста съ ѣздою по низу.

На фиг. 94 табл. 10—показанъ устой въ видѣ прямоугольнаго столба съ четырьмя колодцами 10 саженнаго моста чрезъ р. Шпасвку на Моршанско-Сызранской ж. д. Мостъ подъ два пути съ ѣздою по верху. Колодцы прямоугольнаго сѣченія, имѣютъ вверху 1,0 саж. въ сторонѣ, а внизу—

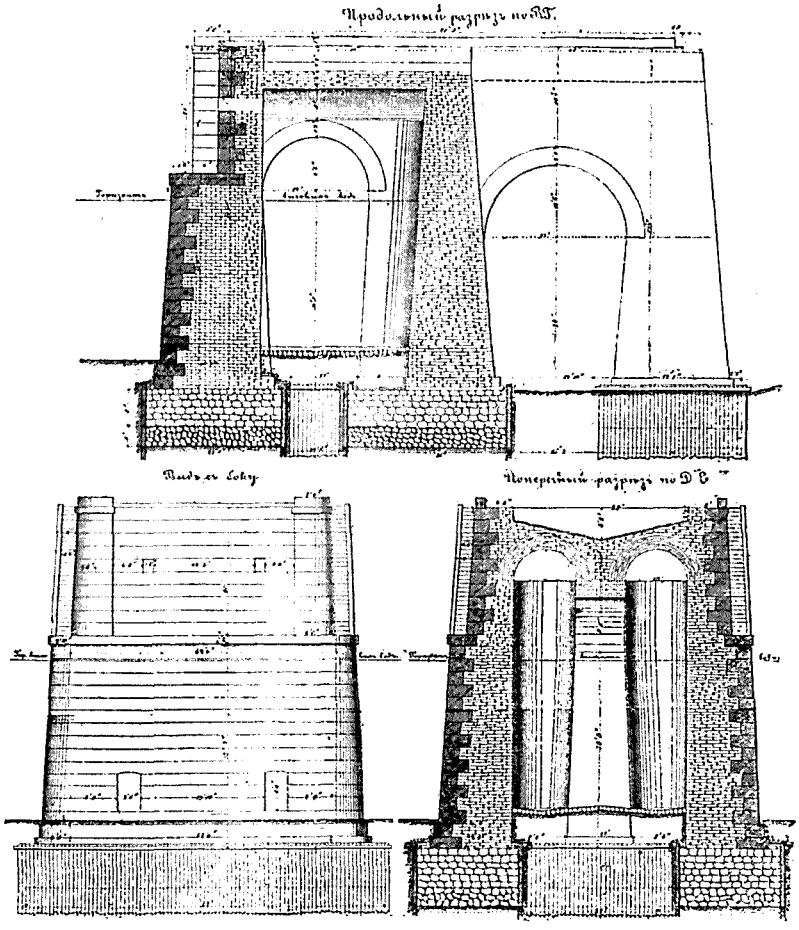


Рис. 432. — Устой моста черезъ р. Лугу на С.-Петербурго-Варшавской ж. д.

0,40 саж., уступы по 0,10 саж. Наименьшая толщина стѣнокъ вверху — 0,50 саж., внизу — въ передней стѣнкѣ 1,20 саж., въ средней — 1,10 саж., въ задней — 0,30 саж. Колодцы заполнены щебнемъ и перекрыты вверху бетоннымъ слоемъ и асфальтомъ, съ общимъ скатомъ къ задней грани; съ боковъ и спереди стѣнка возвышается, образуя корыто; основаніе свайное.

На фиг. 94*а* табл. 10 показанъ устой того же типа моста чрезъ р. Быстрицу на Привислянской ж. д.

На фиг. 95 табл. 10—представленъ устой (тавроваго сѣченія) моста чрезъ р. Вепржь на той же дорогѣ съ ѣздою по низу. Всѣ три колодца расположены въ рядъ по длинѣ устоя, имѣютъ однообразное по высотѣ прямоугольное сѣченіе 8 ф. × 4,5 ф. въ широкой части устоя и 4 ф. × 4,75 ф. въ узкой части; перекрыты вверху сводами, а внизу стѣнки имѣютъ утолщенія въ видѣ уступовъ (лучше было бы замѣнить ихъ обратными сводами). Высота устоя 30,83 ф., длина — 32,70 ф. Толщина передней стѣнки 6,20 ф., а остальныхъ 3,5 ф.; толщина стѣнокъ, поддерживающихъ своды,

8,5 ф. при величинѣ пролета 8 ф., и 4,75 ф. при величинѣ пролета въ 4 ф. Поверхъ сводовъ сдѣлана забутка съ общимъ скатомъ къ задней грани; боковая стѣнка верхняго корыта возвышается

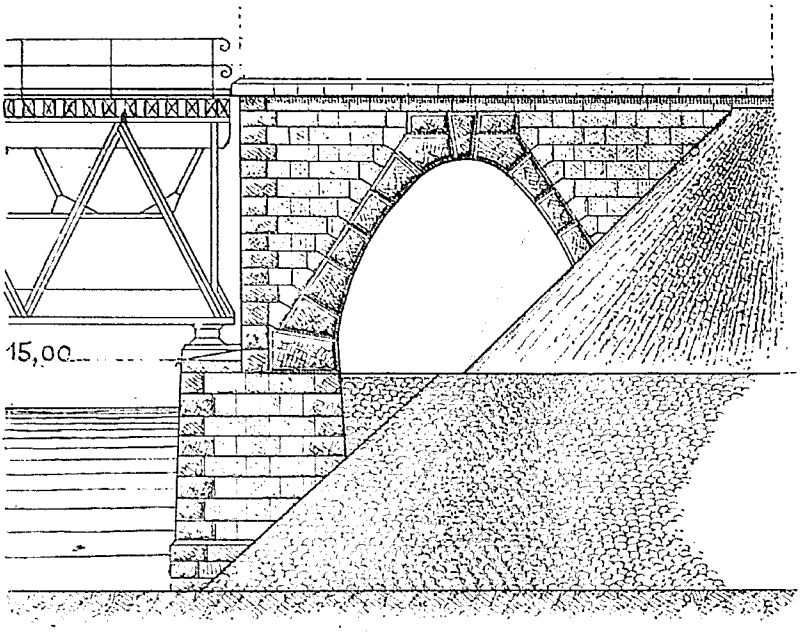


Рис. 433*а*.—Фасадъ устоя моста черезъ р. Куберла на Владикавказской ж. д.

нѣсколько болѣе передней стѣнки, на которой уложенъ деревянный брусъ, окаймляющій балластъ. Фундаментъ заложенъ непосредственно на грунтѣ въ шпунтовомъ огражденіи.

На фиг. 96 табл. 10—показанъ устой Троицкаго моста въ Петербургѣ, состоящій въ планѣ изъ

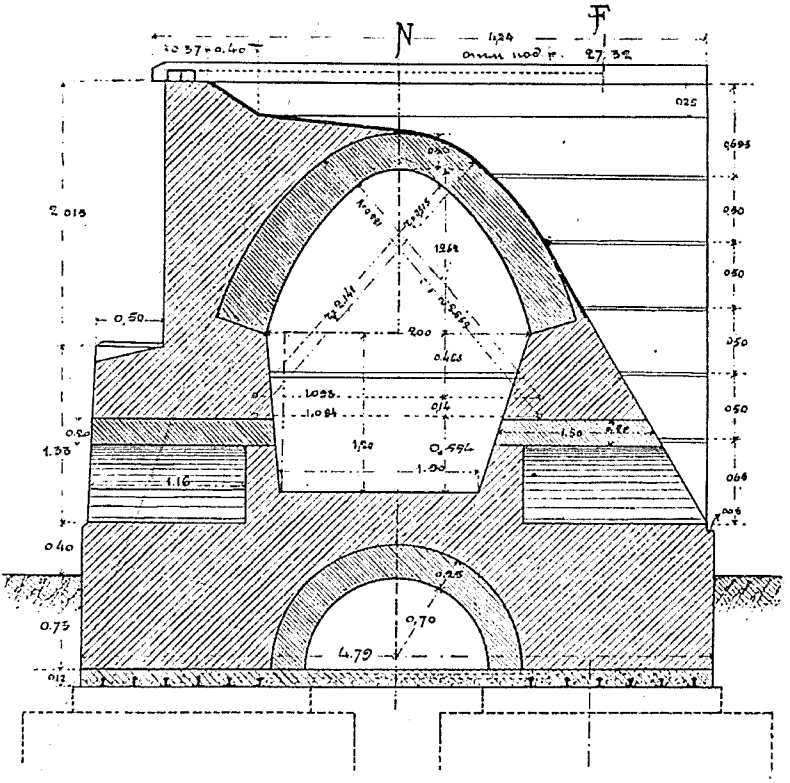


Рис. 433*б*. — Продольный разрѣзъ устоя моста черезъ р. Куберла.

полаго четыреугольника съ поперечными стѣнками, перекрытыми арками. Ширина устоя, *выше* обрѣза фундамента: 24,50 м., длина: 11 метр., высота: 8 метр. Передняя и задняя стѣнки

соединены помимо крайнихъ поперечныхъ стѣнокъ четырьмя внутренними поперечными стѣнками, высотою 5,5 м., толщиною 1 м., разставленными на взаимномъ разстояніи въ 3,5 м. въ свѣту и перекрытыми арками толщиною: 0,5 м. Толщина передней стѣнки выше подферменной площадки 2 м., ширина площадки: 1,35 м.; толщина задней стѣнки: 1,5 м.; толщина поперечныхъ крайнихъ стѣнокъ 1,70 м. въ уровнѣ пятъ, а внизу на разстояніи 5,5 м. отъ пятъ толщина 2,00 м.; ниже этого уровня крайнія и внутреннія поперечныя стѣнки, а также передняя и задняя стѣнки имѣютъ утолщеніе на высоту 1,5 м., переходящее въ сплошной бетонный массивъ высотою 4 м. и площадью: 26,5×11,7 м.; массивъ опирается на свайное основаніе. Въ виду толстаго сплошного основанія высотою 4 м., признано было излишнимъ соединять стѣнки внизу обратными сводами. Для

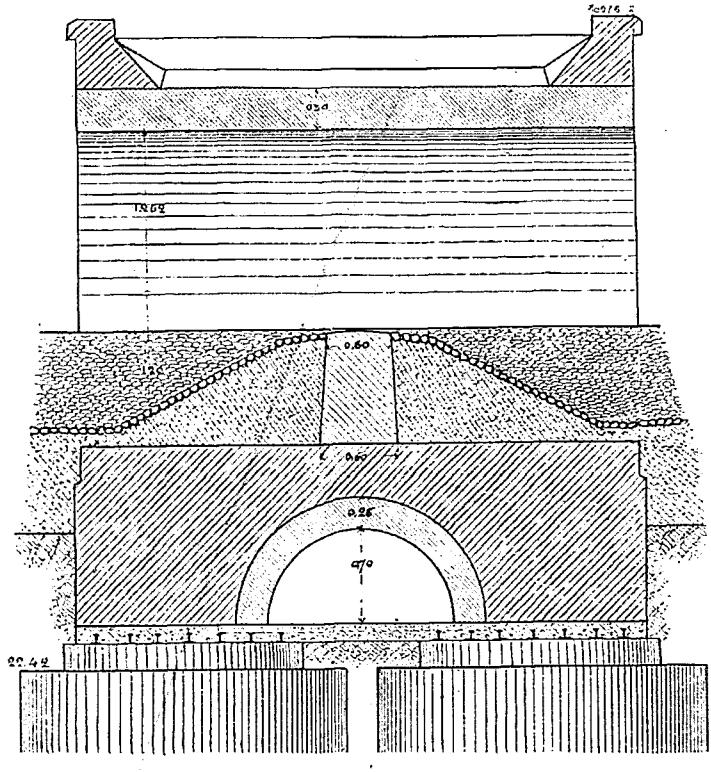


Рис. 433 *а*. — Поперечный разрѣзъ устоя.

осмотра внутренности устоя устроены лазы въ лицевой стѣнкѣ и сквозные проходы въ поперечныхъ стѣнкахъ въ нижней утолщенной части.

На фиг. 101 табл. 11 изображенъ устой путепровода подъ два пути чрезъ р. Индръ во Франціи на ж. д. изъ Тура въ Бордо. Путепроводы имѣютъ 59 полуциркульныхъ арокъ отверстіемъ по 32,14 ф. Въ сплошномъ прямоугольномъ устоѣ сдѣлано два цилиндрическихъ колодца діаметромъ 15,74 ф., перекрытые купольнымъ сводомъ. Общее бетонное основаніе толщиною 3,5 ф. недостаточно мощное; подъ быками толщина бетона доходитъ до 16 ф.; передняя стѣнка вышиною около 40 ф., подверженная дѣйствію распора двухъ арокъ пролетомъ въ 32,14 ф. и 15,74 ф., имѣетъ наименьшую толщину въ: 13,12 ф., которая постепенно увеличивается; той же толщины сдѣлана и задняя стѣнка, промежуточная тоньше; около основанія стѣнки утолщены. Купольные своды перекрыты забуткой изъ бетона съ общимъ скатомъ отъ свода віадука къ задней грани. Боковыя стѣнки, съ наружнымъ уклономъ вверху въ 0,02, а внизу въ 0,05, выведены выше купольнаго свода и заканчиваются каменными парапетами; каменная кладка задней стѣнки также выведена выше купольныхъ сводовъ. Это возвышеніе боковыхъ стѣнокъ окаймляетъ пространство, гдѣ уложена бетонная забутка надъ сводами. Поверхъ бетонной забутки уложенъ балластный слой двойного желѣзнодорожнаго пути.

На рис. 432 представленъ устой моста чрезъ р. Лугу на С.-Петербурго-Варшавской ж. д.; устой по плану представляетъ тинъ устоя съ обратными стѣнками. Въ передней стѣнкѣ устоя, высотою 9 саж. и толщиною 7 саж., сдѣланъ колодезь площадью 4×2,5 саж. съ двумя полуцилиндри-

ческими углубленіями; колодезь перекрытъ сверху двумя системами арокъ; средняя арка, поперечная, служитъ опорою для двухъ боковыхъ продольныхъ арокъ; низъ колодца вымощенъ; для стока воды во время спада водъ въ нижней части передней стѣнки оставлены отверстія. Объ обратныя стѣнки имѣютъ сквозныя отверстія, перекрытыя сводомъ.

На рис. 430а и 430б изображенъ устой моста черезъ рѣку Волгу на Ржево-Вяземской ж. д.; ширина устоя 2,40 с.; по длинѣ устоя имѣются двѣ галлереи, шириною 2,20 с. и высотою 5,78 с. между пятами арокъ; галлереи связаны на половинѣ высоты стѣнкой, толщиною 1,40 с. въ нижней части на высоту 1,42 с. и толщиною 0,75 с.—въ верхней части на высоту 2,00.

На фиг. 98, таб. 11, изображенъ устой желѣзнодорожнаго моста чрезъ р. Рейнъ близъ Геремергейма; этотъ устой принадлежитъ также къ разряду сомкнутыхъ устоевъ. Передняя и задняя стѣнки

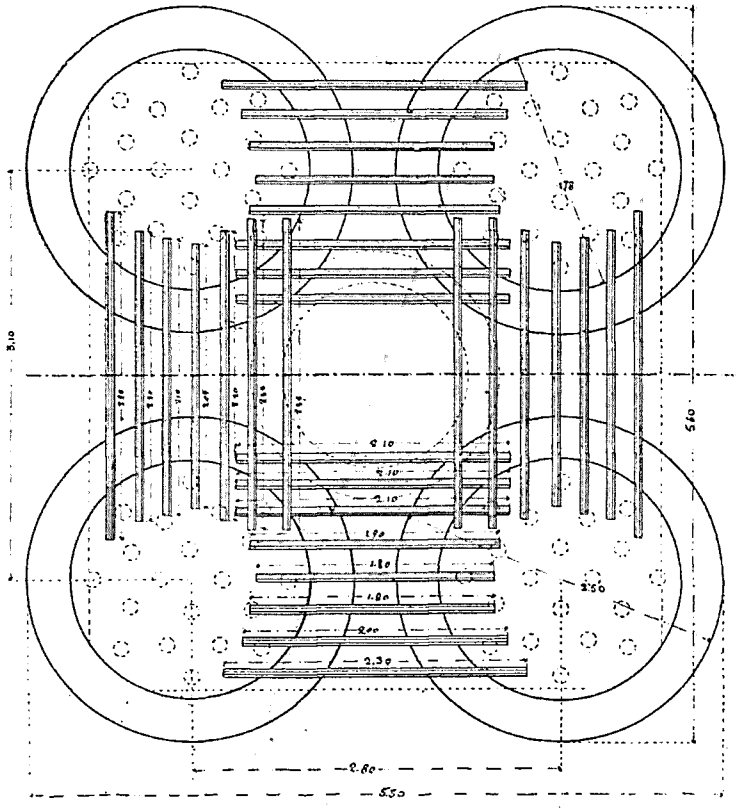


Рис. 433г.—Расположеніе колодцевъ подъ устоемъ.

заложены на отдѣльномъ основаніи и перекрыты аркой пролетомъ 8 м., которая занимаетъ однако не всю ширину устоя. Для того, чтобы замаскировать арку, а также, чтобы увеличить сопротивленіе стѣнокъ дѣйствію распора этой арки, передняя и задняя стѣнка связаны по бокамъ поперечными стѣнками, толщиною 1,15 м., опирающимися также на арки, заложенныя значительно ниже, почти на уровнѣ поверхности земли. Фундаментъ глубиною 4 м. постепенно уширяется съ 3,50 до 5,15 м., что крайне раціонально; подобное же уширеніе сдѣлано и по другому направленію; подъ фундаментомъ передней стѣнки уложенъ слой бетона толщиною 1 м. Высота устоя 11 м., ширина 15 м., при чемъ, начиная отъ горизонта пятъ главной арки, ширина увеличивается, что содѣйствуетъ боковой устойчивости; толщина арки 0,50 м.; наименьшая толщина передней и задней стѣнокъ: 3,5 м. Поверхъ арки устроена забутка со скатомъ къ задней грани; по бокамъ возвышаются стѣнки съ парапетами.

На фиг. 100, таб. 11—показанъ сомкнутый устой одного изъ мостовъ въ Италіи, на линіи Bari Taranto. Передняя стѣнка въ видѣ отдѣльной опоры (берегового быка) состоитъ въ свою очередь изъ ряда сводчатыхъ перекрытій. Нижняя часть, цоколь, имѣетъ цилиндрическій колодезь, перекрытый купольнымъ сводомъ. Надъ нею возвышаются двѣ боковыя стѣнки, перекрытыя ступенчатой аркой; одна изъ арокъ, болѣе возвышенная, служитъ для поддержанія подферменной площадки, а другая съ болѣе низкой пятой и ключемъ поддерживаетъ пяту арки, пролетомъ 10 м., и толщи-

ною 0,68 м., соединяющей переднюю часть устоя съ задней. Благодаря мѣстнымъ условіямъ (крутому скалистому берегу) заднюю часть арки можно было упереть непосредственно на скалу. Боковыя щеки арки возвышаются до уровня балласта, и, такъ какъ въ этомъ мѣстѣ насыпь достаточно еще высока, то, чтобы не закрывать проевѣта конусомъ, боковыя щеки арки продолжены въ видѣ откосныхъ крыльевъ подъ угломъ 61° 30′ къ продольной оси моста.

На рис. 433а, б, в, г, д изображенъ устой 15 саж. моста, черезъ р. Куберла на Владикавказской ж. д. Основаніемъ служатъ четыре опускныхъ колодца діаметромъ 2,5 с. при толщинѣ каменной оболочки въ 0,25 с.; внутренность заполнена бетономъ; бетонное заполненіе опирается на сваи, забитыя частоколъ. На бетонные массивы, выступающіе изъ-за оболочки, на глубинѣ 1 саж. ниже поверхности земли уложены рельсы (по 8 шт.), задѣланные въ бетонную массу. На образованную

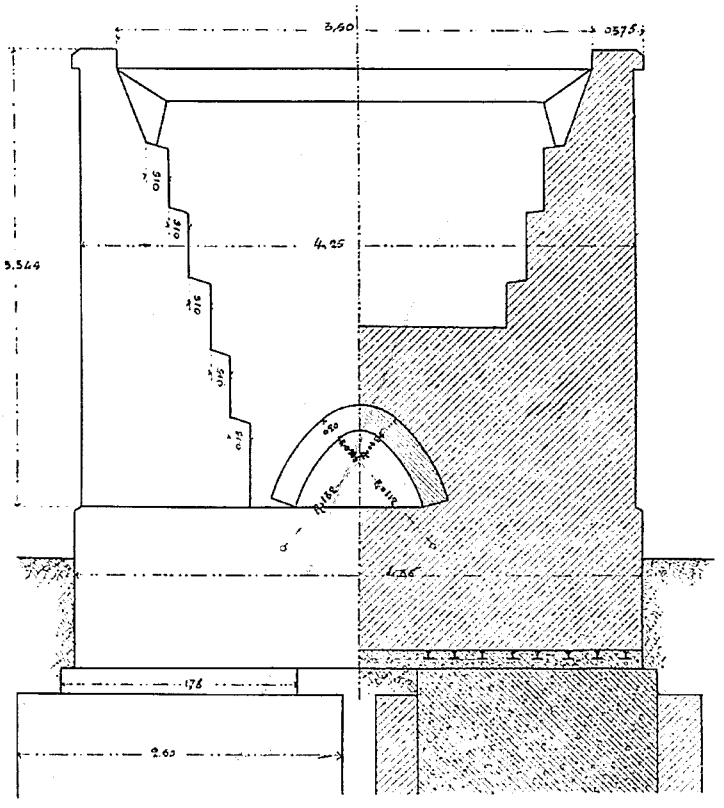


Рис. 433*д*.—Задній фасадъ и поперечный разрѣзъ устоя моста черезъ р. Куберла.

такимъ образомъ четырсугольную раму опирается нижняя массивная часть устоя съ куполообразной выемкой по средниѣ; на этомъ массивѣ выведена передняя стѣнка устоя, соединенная параболической аркой, отв. 2,00 с. съ задней низкой стѣнкой. Во избѣжаніе прохода водъ черезъ отверстіе, что могло бы имѣть послѣдствіемъ размывъ конуса, устроена до уровня водъ стѣнка толщиною 0,50 с. Для уменьшенія кладки въ передней и задней стѣнкѣ сдѣланы сводчатыя выемки. Боковыя стѣнки, образующія щеки свода, возвышаются до уровня балласта.

Спеціальные типы устоевъ. Обсыпные и скрытые устои. Типы раздѣльныхъ устоевъ. Примѣры. Устои-віадуки. Примѣры. Типы укрѣпленія русла и лотковъ. Данныя объ объемѣ и о наружныхъ размѣрахъ желѣзнодорожныхъ устоевъ подъ одинъ путь.

Обсыпные и скрытые устои (culées perdues). Къ типу устоевъ-столбовъ слѣдуетъ отнести *обсыпные* устои, т. е. такіе устои, длина коихъ менѣе горизонтальнаго заложенія откоса насыпи, вслѣдствіе чего часть земляной отсыпи (конуса) располагается впереди устоя. Если эта отсыпь подвергается дѣйствію проточныхъ водъ, то она должна быть очень тщательно укрѣплена и требуетъ постояннаго надзора, во избѣжаніе обвала насыпи вслѣдствіе размыва нижней части конуса.

Кромѣ того, если размѣры устоя расчитаны съ принятіемъ во вниманіе распора отсыпи, то при размывѣ послѣдней устойчивость можетъ быть значительно понижена. При такихъ условіяхъ типъ этотъ нельзя рекомендовать. (По этоему типу построены устои моста черезъ р. Бугъ на Варшаво-Тереспольской ж. д.).

Если же обсыпка не можетъ быть смыта или сползти и т. д., то примѣненіе обсыпныхъ устоевъ не встрѣчаетъ возраженій. На фиг. 117, табл. 14, показанъ такой устой, примѣненный на Златоустовской ж. д. На фиг. 91, табл. 10, показанъ другой типъ обсыпного устоя, состоящаго изъ столба съ колодцами, перекрытаго вверху и связаннаго въ двухъ мѣстахъ по высотѣ арками. На Моск.-Виндавской ж. д. примѣнены обсыпные устои при высотѣ насыпей болѣе 5 саж., при чемъ имъ придано приблизительно то же очертаніе, какъ и передней стѣнкѣ устоя, изображеннаго на рис. 417а—417г. Лицевая сторона на высоту до 0,4 H. имѣетъ уклонъ $\frac{1}{4}$. Задняя сторона сдѣлана съ уклономъ въ $\frac{1}{16}$ или вертикально. Толщина вверху опредѣлена по формулѣ: $d = 0{,}525$ с. $+ 0{,}275\,H$, а внизу въ первомъ случаѣ по формулѣ: $d = 0{,}525$ с. $+ 0{,}35\,H$, а во второмъ: $d = 0{,}525$ с. $+ 0{,}375\,H$.

Того же характера такъ называемые *скрытые* устои (culées perdues), когда опоры пролетной части скрыты въ естественномъ грунтѣ. Этотъ типъ опоръ встрѣчается преимущественно въ каменныхъ или бетонныхъ арочныхъ мостахъ, въ которыхъ пяты заложены на уровнѣ поверхности земли и не имѣется видимой опоры (фиг. 109, табл. 13, фиг. 410, табл. 59).

Типы раздѣльныхъ устоевъ. Если насыпь довольно высокая или берегъ пологій, то длина устоевъ получается очень значительная; если еще при этомъ во избѣжаніе подмыва основаніе устоя приходится закладывать на значительной глубинѣ, то объемъ кладки въ устоѣ выходитъ чрезмѣрно большимъ. Въ такихъ случаяхъ для умепьшенія расходовъ дѣлаютъ устой *раздѣльнымъ*, т. о. составляютъ его по длинѣ изъ двухъ независимыхъ частей, хотя рядомъ расположенныхъ, но заложенныхъ на отдѣльныхъ основаніяхъ и на разныхъ глубинахъ (рис. 431, фиг. 102, фиг. 105, табл. 11). Передняя часть, подверженная дѣйствію только вертикальной нагрузки (вѣсъ пролетныхъ частей и подвижного груза), можетъ быть сдѣлана незначительныхъ поперечныхъ размѣровъ (по типу быковъ) и, въ зависимости отъ размыва, опущена на большую глубину. Задняя часть закладывается на мѣньшей глубинѣ и дѣлается такой длины, какъ того требуетъ высота насыпи. Кромѣ того, эта часть устоя, принимающая на себя непосредственно распоръ земли, понижаетъ точку приложенія этого послѣдняго на переднюю часть устоя.

На фиг. 105 табл. 11—показанъ такого типа устой моста чрезъ р. Вислу на обводной вѣтви въ Варшавѣ (типъ, предложенный инжен. Хржановскимъ). Передняя часть, высотою 20 ф. надъ поверхностью земли и толщиною 12 ф., построена по типу устоя съ короткими (до $4^1/_4$ ф.) обратными стѣнками и опущена на глубину 22 ф.; задняя часть, толщиною въ среднемъ 12 ф., опущена лишь на глубину 6 фут. ниже дна.

На рис. 434 показанъ устой моста чрезъ р. Припять на Полѣсскихъ ж. дор., соединяющій въ себѣ типъ обсыпного и раздѣльнаго устоевъ. Передняя часть выведена на кессонѣ, а задняя приставная непосредственно на грунтѣ. Примѣненіе здѣсь обсыпного устоя не вполнѣ умѣстно.

На рис. 435 показанъ устой моста чрезъ р. Днѣпръ на Лунинецъ-Гомельской ж. д.—раздѣльнаго типа, при чемъ задней части дана такая длина, что конусъ не выходитъ изъ-за лица устоя что по сравненію съ предыдущимъ примѣромъ раціональнѣе.

На фиг. 102, табл. 11, изображенъ устой моста черезъ р. Лекъ близъ Квиленбурга, состоящій изъ двухъ независимыхъ частей: изъ передней стѣнки, заложенной на большей глубинѣ, и изъ задней приставки для сопряженія съ насыпью, заложенной на меньшей глубинѣ. Основаніе передней стѣнки

состоитъ изъ бетоннаго массива высотою около 6 фут., на которомъ выведено тѣло устоя съ наружной наклонною гранью и съ перекрытой сводомъ выемкой на задней поверхности. Передняя часть, высотою 14,47 фут. при наименьшей толщинѣ 4,96 фут., заканчивается двумя выступами, цилиндрическими внизу и призматическими вверху.

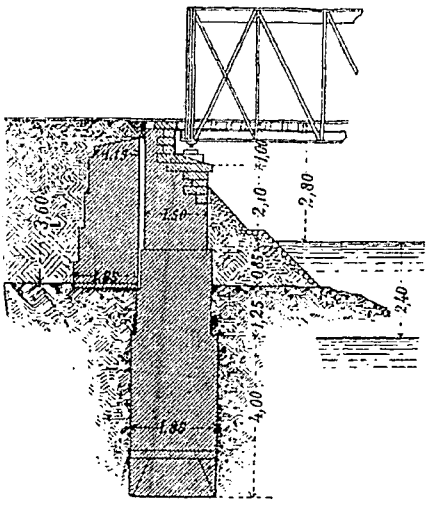


Рис. 434. — Устой моста черезъ р. Припять на Полѣсскихъ ж. д.

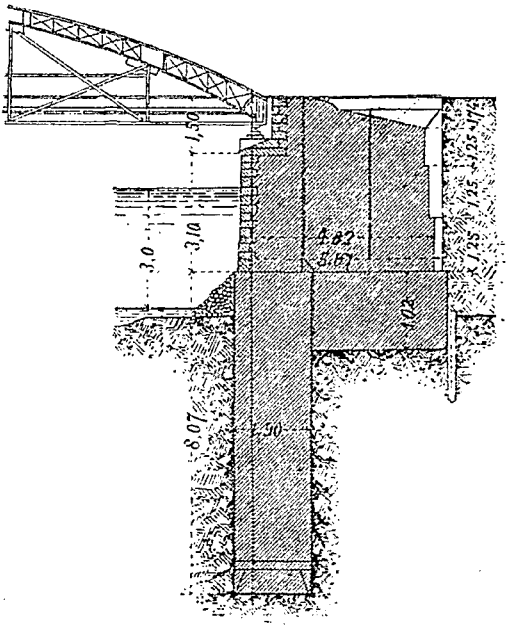


Рис. 435.—Устой моста черезъ р. Днѣпръ на Лунинецъ-Гомельской ж. д.

Основаніе выступовъ постепенно уширяется съ 7 ф. до 10,70 ф. Къ передней стѣнкѣ примыкаетъ задняя часть устоя, заложенная на меньшей глубинѣ, въ тѣлѣ которой сдѣлано три просвѣта, крайніе по 4,20 ф., средній — въ 4,70 ф., перекрытые вверху сводами съ обратными арками внизу. Средній просвѣтъ задѣланъ съ обоихъ концовъ тонкой стѣнкой; въ переднемъ устроенъ проходъ. Забутка надъ арками сдѣлана съ пониженіемъ къ пятамъ арокъ; въ пониженной части уложены поперечныя трубы для вывода дождевой воды. Высота просвѣтовъ—7,5 ф., толщина крайнихъ стѣнокъ—3,4 ф., а промежуточныхъ—2,00 ф.

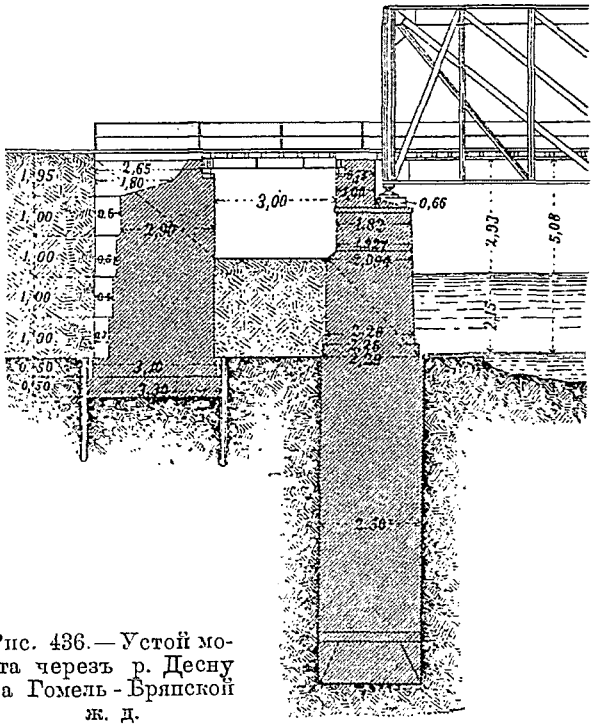


Рис. 436.—Устой моста черезъ р. Десну на Гомель-Бряпской ж. д.

Непосредственное примыканіе задней части устоя къ передней, при недостаточныхъ размѣрахъ приставки или при ненадежномъ основаніи, можетъ вызвать наклоненіе ея на переднюю часть. Въ виду сего нерѣдко заднюю часть отставляютъ отъ передней (фиг. 117, табл. 14, рис. 436) и перекрываютъ образующійся пролетъ фермами. Раздѣльные устои представляютъ еще ту выгоду, что при высокой насыпи оказывается возможнымъ избѣжать необходимости примѣнять высокіе устои съ длинными обратными стѣнками, такъ какъ для задней части можетъ быть

примѣненъ типъ обсыпного устоя (фиг. 117, табл. 14 и рис. 436); передняя же часть устраивается по типу быка. При этомъ однако слѣдуетъ имѣть въ виду,

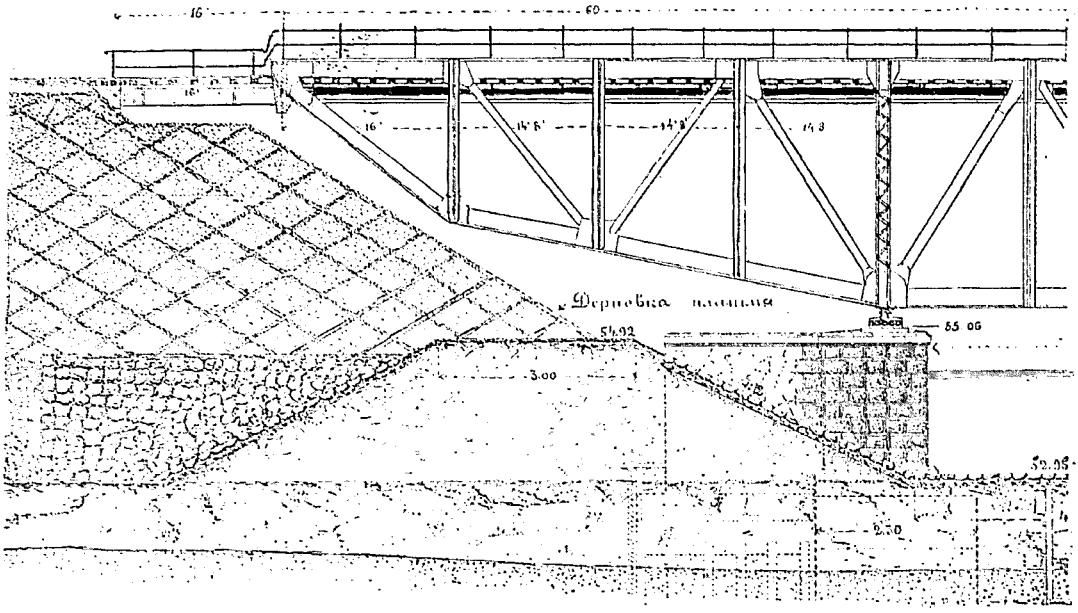


Рис. 437.—Быкъ-устой моста черезъ р. Сулу на Ромны-Кременчугской ж. д.

чтобы вода не могла проходить въ промежутокъ между обсыпнымъ устоемъ и быкомъ и размывать обсыпку. Съ этою цѣлью, если горизонтъ воды поднимается

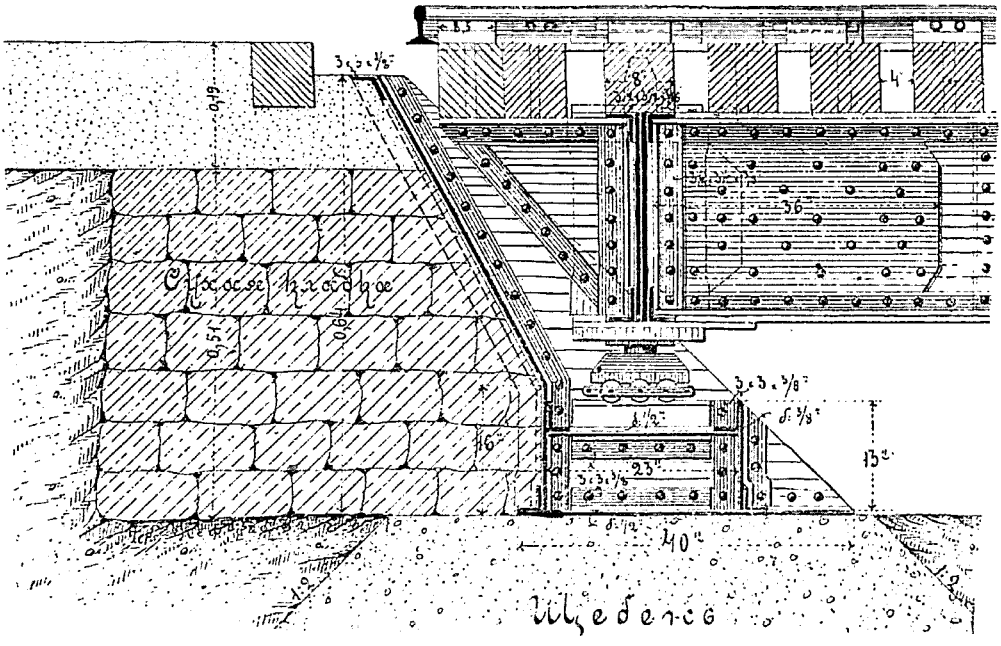


Рис. 438.—Деталь опирающагося на насыпь конца соединительной фермы моста черезъ р. Сулу на Ромны-Кременчугской ж. д.

не высоко, устраиваютъ щебеночную засыпку съ пологими скатами въ обѣ стороны (фиг. 117, табл. 14); при болѣе значительномъ иодпитіи горизонта всегда устраиваютъ между быкомъ-устоемъ и обсыпнымъ устоемъ (фиг. 106, таб. 12) или при

скалистомъ берегѣ между быкомъ-устоемъ и берегомъ (фиг. 118, табл. 14) стѣнку, толщиною отъ 0,50 с. до 1,00 с., основанную на груитѣ или на сваяхъ и возвышающуюся надъ горизонтомъ весеннихъ водъ не менѣе, какъ на 0,50 саж.

На рис. 436 показанъ устой моста чрезъ р. Десну на Гомель-Брянской дорогѣ. Задняя приставка отставлена на 3 саж. отъ передней части, основанной на кессонѣ. Конусъ насыпи располагается въ предѣлахъ между быкомъ-устоемъ и береговымъ устоемъ. Во избѣжаніе размыва конуса, промежутокъ между обоими устоями засыпанъ нѣсколько выше уровня весеннихъ водъ землей, гдѣ

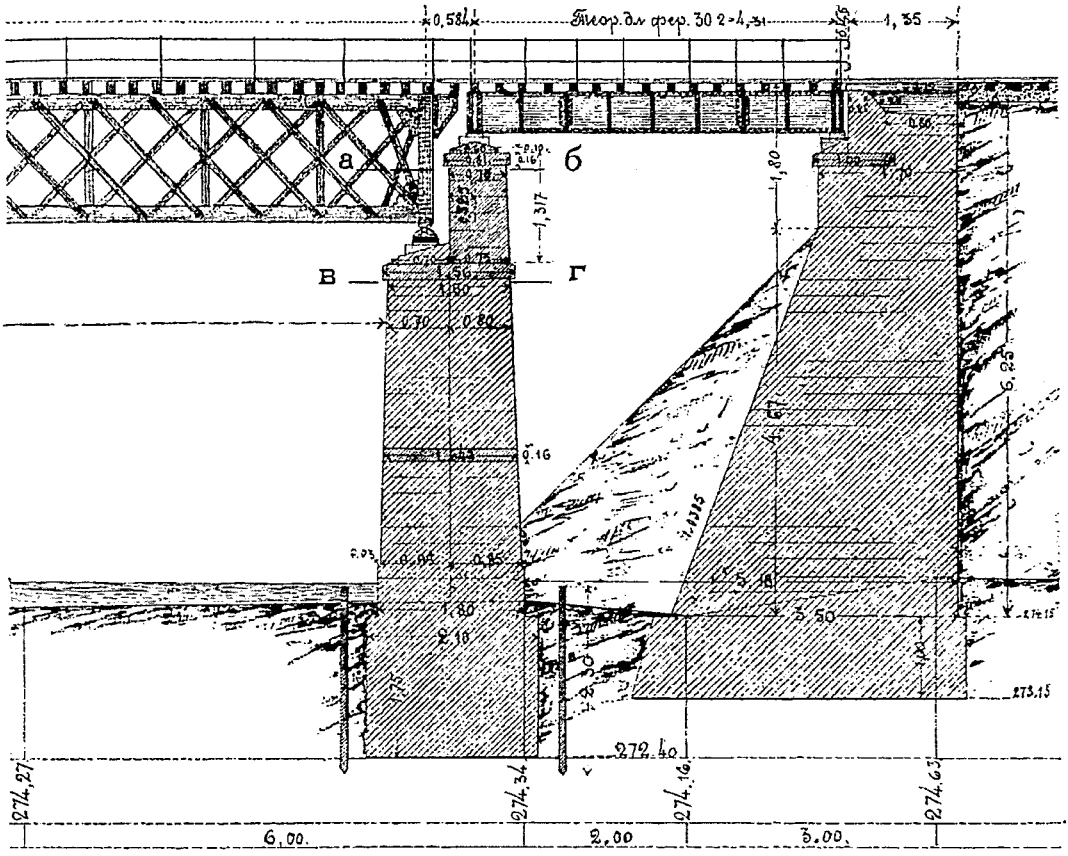


Рис. 439.—Устой моста черезъ р. Уфу на Самаро-Златоустовской ж. д.

устроена проѣзжая дорога. Безопаснѣе было бы устроить между ними соединительную тонкую поперечную стѣнку.

На фиг. 106, табл. 12 и на рис. 437 представленъ быкъ-устой моста черезъ р. Сулу на Ромны-Кременчугской ж. д. Здѣсь обсыпного устоя не имѣется; неразрѣзныя фермы въ два пролета по 30 с., съ ѣздою по верху, опирающіяся на быки-устои, имѣютъ консоли длиною около 8 саж., отъ конца которыхъ перекинуты соединительныя 2-саж. фермы на бровку конуса; на бровкѣ конуса (рис. 438) въ ядрѣ насыпи устроена щебеночная отсыпь; на эту послѣднюю установленъ металлическій такъ называемый стулъ, на который опирается 2-саж. ферма. Основаніемъ быку-устою служатъ два опускныхъ колодца, опущенныхъ на глубину до 6 саж. Каждый колодезь состоитъ изъ бетонной оболочки прямоугольнаго сѣченія съ закругленными ребрами толщиною 0,50 с. Внутренность колодцевъ заполнена бетономъ, но не во всю высоту; начиная съ горизонта на 3,20 с. выше основанія, бетонное заполненіе замѣнено бутовой кладкой; оба колодца соединены вверху сводомъ, перекрытымъ забуткой, надъ которой устроено тѣло устоя-быка, вышиною 1,737 с. и толщиною 1,50 с. Къ задней грани устоя-быка примыкаетъ, безъ соединенія съ кладкой, преграждающая стѣнка, толщиною 0,70 с., выведенная на свайномъ основаніи и возвышающаяся на 0,50 с. выше горизонта весеннихъ водъ. Горизонтальное заложеніе откоса конуса доходитъ до передней грани устоя-быка.

На фиг. 117, табл. 14, изображенъ обсыпной устой и устой-быкъ моста черезъ р. Юрюзань на Самаро-Златоустовской ж. д. Пролетъ въ 40 с. перекрывается фермами полупараболической системы съ ѣздою по верху. Быкъ-устой, основанный на кессонѣ, имѣетъ вверху толщину въ 2,03 с., для возможности установки подферменныхъ камней 40 саж. фермы и для возведенія стѣнки толщиною въ 0,935 с. по краямъ и въ 1,075 с. по серединѣ, на которую опирается соединительная ферма, пролетомъ 12,447 с. Уклонъ граней быка-устоя: 0,07. Примѣрно по серединѣ высоты имѣется прокладной рядъ. Полная высота быка 13,58 с., а отъ обрѣза фундамента—10,62 с.; высота облицовочнаго камня внизу 0,25 с. и постепенно уменьшается до 0,18 с. Обсыпной устой основанъ непосредственно на грунтѣ, имѣетъ въ подошвѣ уступы во избѣжаніе скольженія и огражденъ сзади

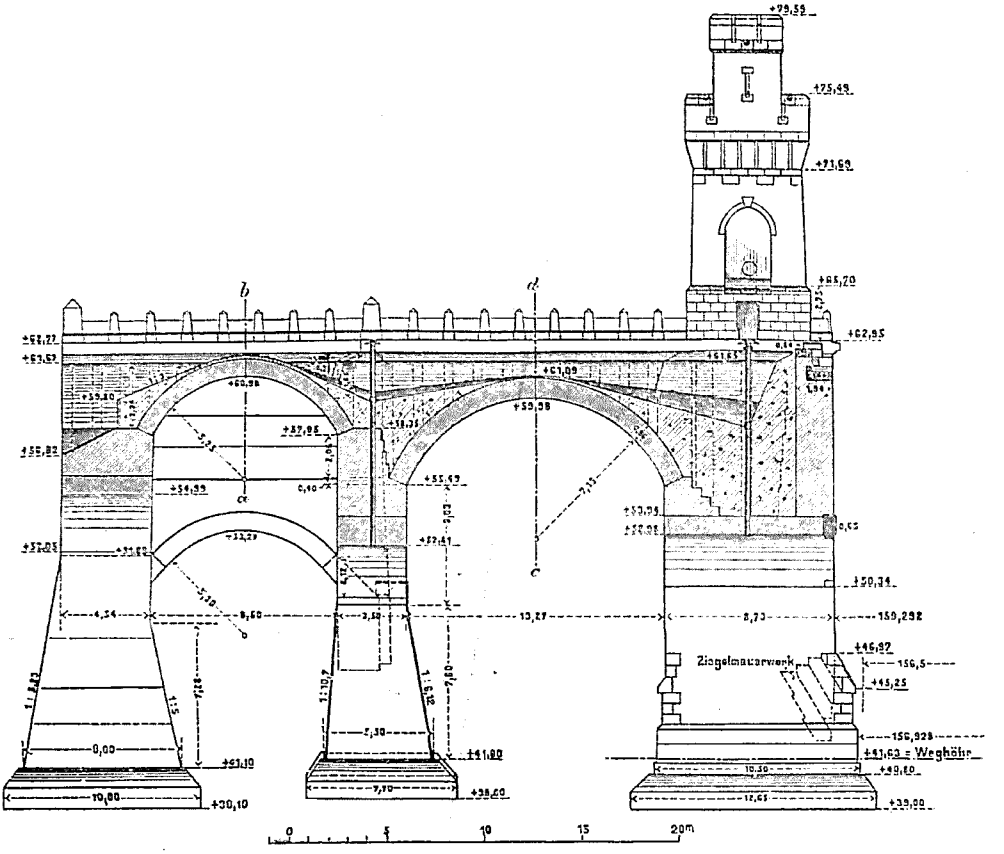


Рис. 440*а*.—Продольный разрѣзъ устоя моста черезъ Сѣверный каналъ близъ Грюненталя.

вертикальной гранью, а спереди—наклонною съ уклономъ въ $^1/_3$. Обсыпной устой можно было бы настолько приблизить къ быку, чтобы откосъ конуса не выступалъ изъ-за лица быка, но это въ данномъ случаѣ не сдѣлано изъ опасенія появленія односторонняго распора на тонкій быкъ.

На рис. 439 показанъ того же типа устой моста чрезъ р. Уфу. Обсыпной устой настолько приближенъ къ быку, что откосъ конуса почти доходитъ до лица быка.

На фиг. 118, табл. 14, изображенъ быкъ-устой и береговой малый устой моста черезъ р. Спмъ на Самаро-Златоустовской ж. д. Берегъ крутой и скалистый, что позволило ограничиться устройствомъ невысокаго берегового устоя для малой соединительной фермы, другой конецъ которой опирается не на кладку быка-устоя, какъ въ примѣрѣ фиг. 117, табл. 14, а непосредственно на опорную поперечную балку фермы главнаго пролета. Эта ферма опирается на низкій быкъ-устой; между берегомъ и этимъ быкомъ устроена преграждающая тонкая стѣнка. Разстояніе между береговымъ устоемъ и быкомъ-устоемъ такъ опредѣлено, чтобы откосъ конуса не выступалъ изъ-за передней грани быка.

Устои-віадуки. При очень значительной высотѣ насыпи или пологомъ берегѣ длинный устой замѣняется уже не двумя опорами, перекрытыми фермами, а цѣлымъ

рядомъ малыхъ перекрытій балочной или арочной (фиг. 91, табл. 10) системъ, и тогда такой устой обыкновенно называется *устоемъ віадукомъ*.

На рис. 440 *а*, *б*, *в* изображенъ устой моста чрезъ Сѣверный каналъ близъ Грюненталя, по типу устоя-віадука, состоящій изъ трехъ отдѣльныхъ опоръ, съ перекинутыми поверхъ нихъ каменными арками. Полная длина устоя 39,5 м.; при этомъ передняя опора, принимающая на себя давленіе арки, находится внѣ заложенія откосовъ конуса. Всѣ три опоры состоятъ каждая изъ двухъ отдѣльныхъ наклонныхъ стѣнокъ, соединенныхъ аркой съ постепеннымъ утолщеніемъ къ низу. Передняя опора, наиболѣе толстая (8,7 м.), имѣетъ просвѣтъ отверстіемъ : 7,81 м.; въ нижнюю часть стѣнки опоры упираются пяты арочной фермы, расположенной въ планѣ по кривой. Остальныя двѣ опоры имѣютъ также просвѣты. Промежутки между первой и второй опорой (13,27 м.) и между второй и третьей (9,50 м.) перекрыты сводомъ толщиною въ 1 м. Пролетъ между второй и третьей

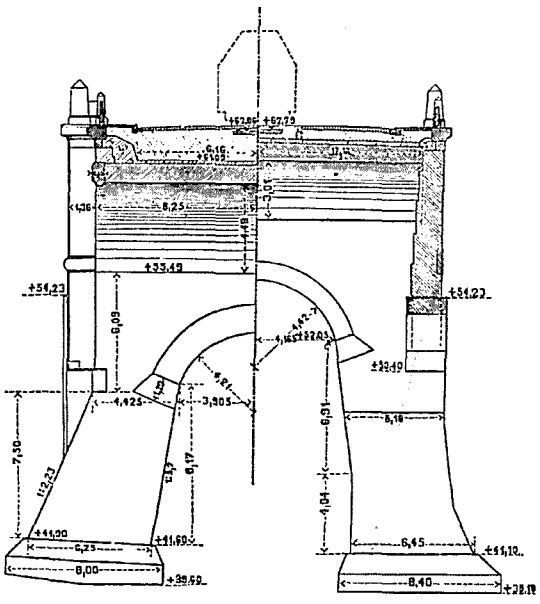


Рис. 440*б*.—Поперечный разрѣзъ устоя моста черезъ Сѣверный каналъ.

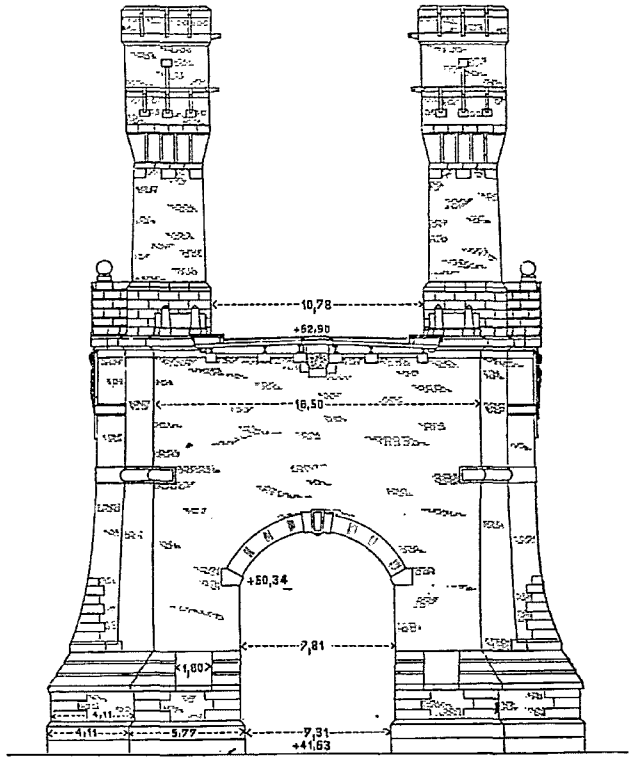


Рис. 440*в*.—Передній фасадъ устоя.

опорой не сдѣланъ сквознымъ во всю длину; съ боковъ пролетъ прикрытъ топкой щитовой стѣнкой, опирающейся на самостоятельную арку. Спереди и съ боковъ устой огражденъ стѣнками, возвышающимися до уровня балласта и мостовой; толщина передней стѣнки 1,94 м., а средняя толщина боковыхъ стѣнокъ 1,38 м. Поверхъ арокъ и между ограждающими стѣнками сдѣлана забутка изъ бетона, прикрытая слоемъ асфальта, а затѣмъ заложенъ слой песку подъ желѣзнодорожный путь и подъ мостовую для обыкновеннаго проѣзда; общая ширина проѣзда въ предѣлахъ устоя 18,50 м.; забуткѣ даны скаты къ пятамъ арокъ и къ оси устоя, съ выводомъ дождевой воды вертикальною трубой, проходящей сквозь вершину арочныхъ просвѣтовъ первой и второй опоръ. Надъ первой опорой выведены для красоты двѣ башни, со вставленными въ нишахъ щитами; кладка надъ нишей поддерживается металлическими балками, опирающимися на боковыя части башенъ. Размѣры площади основанія такъ расчитаны, что наибольшее давленіе на грунтъ не превосходитъ 5 $\frac{\text{кпл.}}{\text{см.}^2}$, наибольшее давленіе въ аркѣ : 25 $\frac{\text{кпл.}}{\text{см.}^2}$, а въ подпятныхъ камняхъ 16 $\frac{\text{кпл.}}{\text{см.}^2}$. Основаніе заложено на слоѣ бетона въ составѣ: 1 ц. : 3,5 п. : 6 гранит. щеб. Составъ цементнаго раствора въ кладкѣ: 1 ц. : 3 п. Составъ песчанаго бетона для забутки и для ограждающихъ стѣнокъ: 1 ц. : 7 п. и 1 ц. : 9 п. Кладка въ большинствѣ случаевъ кирпичная; своды и цоколь обложены гранитомъ, остальная часть—кирпичомъ.

Типы укрѣпленія основанія устоевъ для предохраненія отъ подмывовъ и типы укрѣпленій входныхъ и выходныхъ лотковъ. Для защиты основанія устоевъ отъ подмывовъ впереди устоя дѣлается отсыпь изъ крупныхъ камней, на слоѣ мелкаго камня; полезно дать отсыпи такую профиль, чтобы она представляла горизонтальную

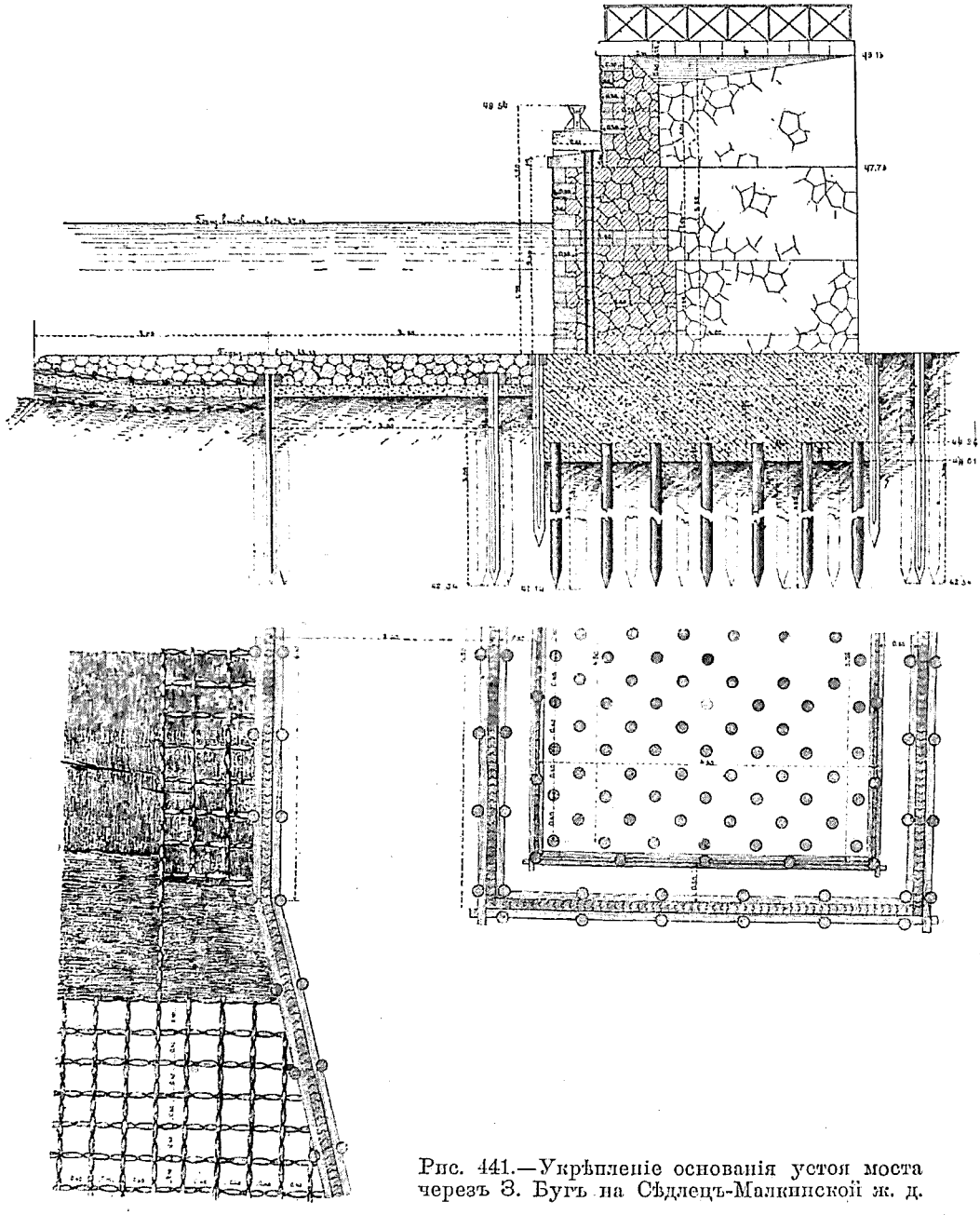


Рис. 441.—Укрѣпленіе основанія устоя моста черезъ З. Бугъ на Сѣдлецъ-Малкинской ж. д.

площадку, шириною не менѣе 1,5 с. съ пологими откосами; кромѣ того располагается тяжелый фашинный тюфякъ, загруженный камнемъ, при чемъ тюфякъ прижимается иногда ко дну забитыми ручной бабой свайками съ пропущенными сквозь проушины дручками. Для увеличенія сопротивленія отсыпи дѣйствію теченія—или чтобы предотвратить скатываніе камней при крутыхъ откосахъ ложа рѣки, забиваютъ нѣсколько рядовъ свай въ шахматномъ порядкѣ и между

ними дѣлаютъ отсыпь изъ камней. (Для той же цѣли предлагается соединять камни цѣпями, съ задѣланными въ камень штырями). При малыхъ отверстіяхъ ложе въ предѣлахъ моста укрѣпляется иногда во всю ширину; укрѣпленіе состоитъ изъ мостовой толщиною не менѣе 0,25 с., изъ плетневыхъ ящиковъ, заполненныхъ камнемъ, или же выше и ниже моста забиваютъ сплошные шпунтовые ряды, на разстояніи не ближе 3—5 саж. отъ устоевъ, соединенные со шпунто-

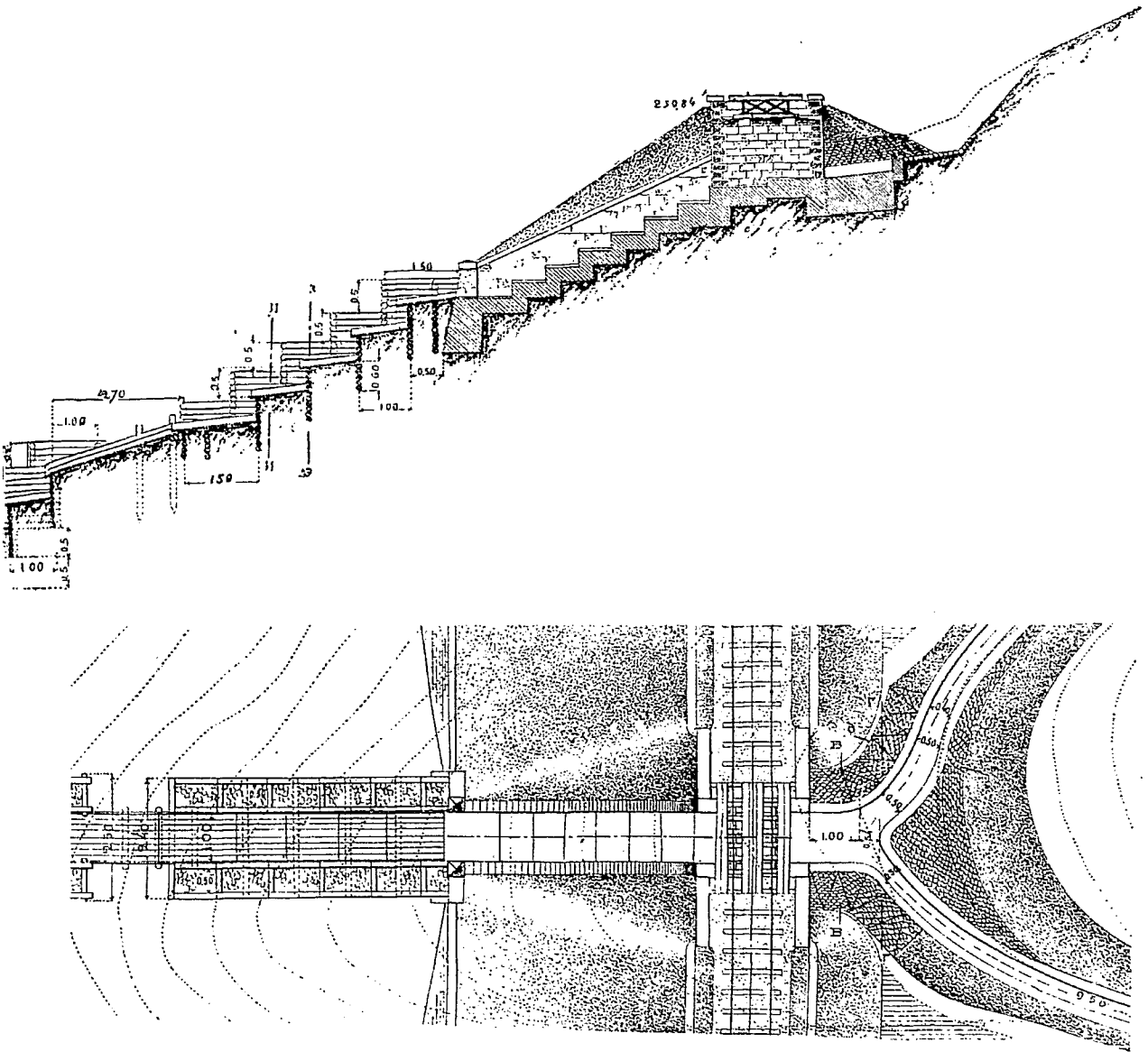


Рис. 442*а*.—Укрѣпленіе лотка на Уфа-Златоустовской ж. д.

вой стѣнкой устоевъ; ложе между шпунтами укрѣпляютъ накидпымъ камнемъ съ обязательнымъ устройствомъ рисбермы за предѣлами пизоваго шпунтоваго ряда во пзбѣжаніе образованія размыва отъ перепада. Въ спеціальныхъ случаяхъ, когда, напр., ложе рѣки легко размывается и основаніе заложено не глубоко, русло рѣки въ предѣлахъ моста и съ уширеніями въ обѣ стороны укрѣпляется фашинпымъ тюфякомъ (цѣпной мостъ черезъ р. Днѣпръ въ Кіевѣ, мостъ чрезъ р. Припять на Полѣсскихъ дорогахъ), или же сваями съ заполненіемъ пространства между

ними бетономъ, какъ это, напр., сдѣлано въ пролетѣ разводной части Николаевскаго моста черезъ Неву (рис. 445'), гдѣ впрочемъ подобнымъ укрѣпленіемъ имѣли также въ виду увеличить устойчивость толстаго быка относительно горизонтальнаго пере-

Рис. 442б.

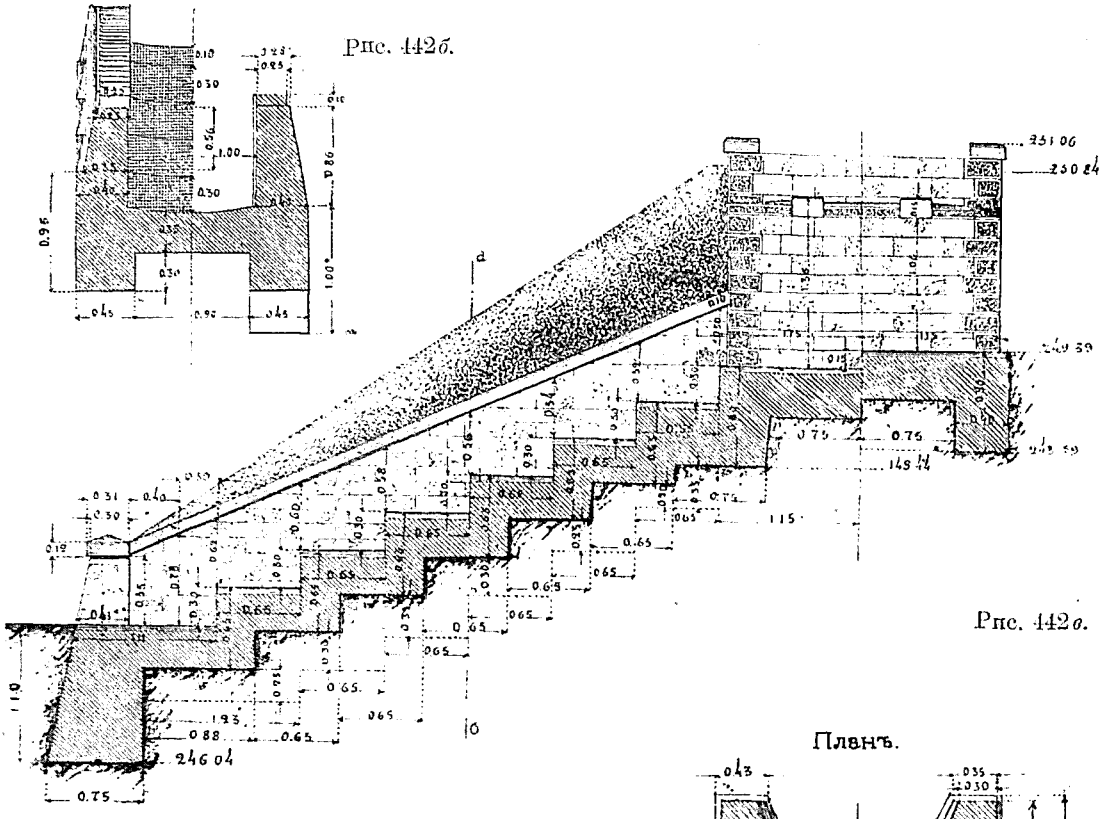
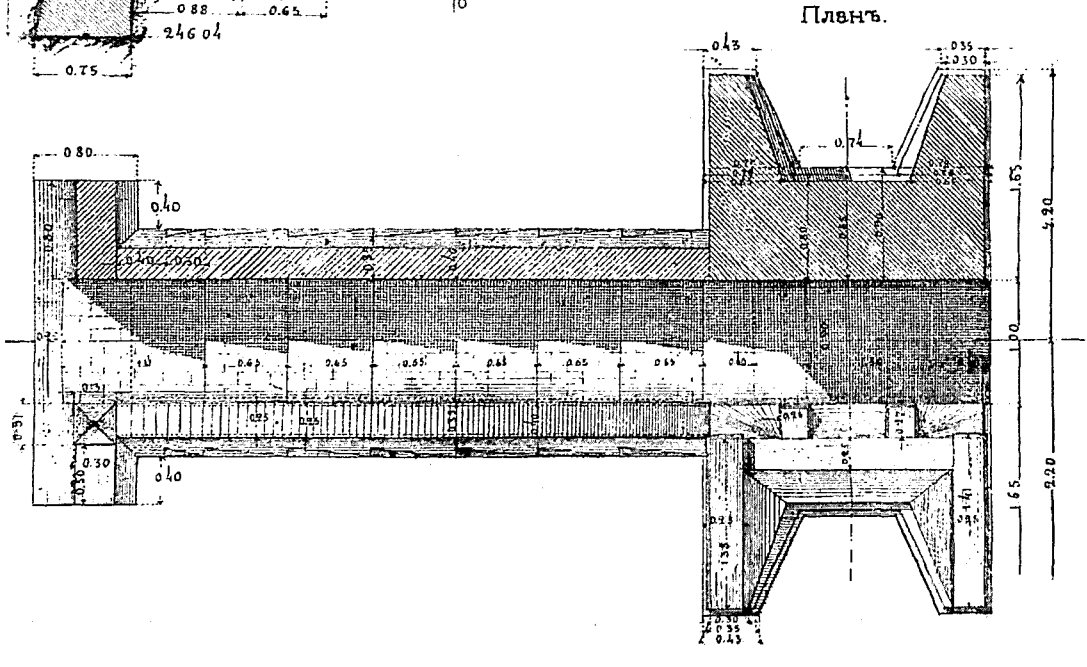


Рис. 442в.



мѣщенія. Подобная мѣра, или по крайней мѣрѣ устройство двухъ распорныхъ стѣнокъ между устоями толщиною не менѣе 0,66 с., — выведенныхъ до уровня фундамента, представляетъ весьма дѣйствительное средство противъ возможности скольженія устоевъ вслѣдствіе неблагопріятныхъ грунтовыхъ условій (какъ напр. при наклонномъ напластованіи и проч.).

Приведемъ нѣсколько примѣровъ укрѣпленія.

На рис. 441 показано укрѣпленіе русла впереди устоя моста чрезъ р. Бугъ на Сѣдлецъ-Малкинской ж. д.; мостъ о семи пролетахъ по 21,38 с. съ фермами раскосной системы, съ ѣздою по низу подъ обыкновенную и желѣзную дороги, въ одномъ уровнѣ; фермы по стратегическимъ соображеніямъ проектированы низкія $h = 11{,}8$ ф., что составляетъ около $^1/_{13}$ пролета; поперечное сѣченіе моста показано на рис. 395′. Основаніе устоя обнесено съ четырехъ сторонъ двойнымъ шпунтовымъ рядомъ (наружный рядъ брусчатый), на взаимномъ разстояніи 0,50 с. Внутри второго ряда забиты сваи въ шахматномъ порядкѣ, при разстояніи 0,60 с. между сваями въ одиомъ ряду; рядъ отъ ряда отстоитъ на разстояніи 0,33 с. Сваи впущены головами на 0,25 с. въ бетонный массивъ толщиною 1,50 с.; на общемъ бетонномъ массивѣ выведено тѣло устоя (по типу съ обратными стѣнками); въ передней стѣнкѣ между подферменными камнями устроенъ минный колодезь. Для защиты основанія отъ вліянія подмывовъ впереди устоя, на разстояніи 3 с. отъ передней брусчатой стѣнки, забита третья шпунтовая стѣнка (брусчатая) съ расходящимися направленіями въ концахъ. Промежутокъ между первой и третьей шпунтовыми стѣнками загруженъ на высоту 0,50 с. крупнымъ камнемъ на слоѣ крупнаго песку. За предѣлами третьей шпунтовой стѣнки укрѣпленіе русла на протяженіи 4,00 с., состоитъ изъ тяжелаго фашиннаго тюфяка, загруженнаго слоемъ крупнаго камня.

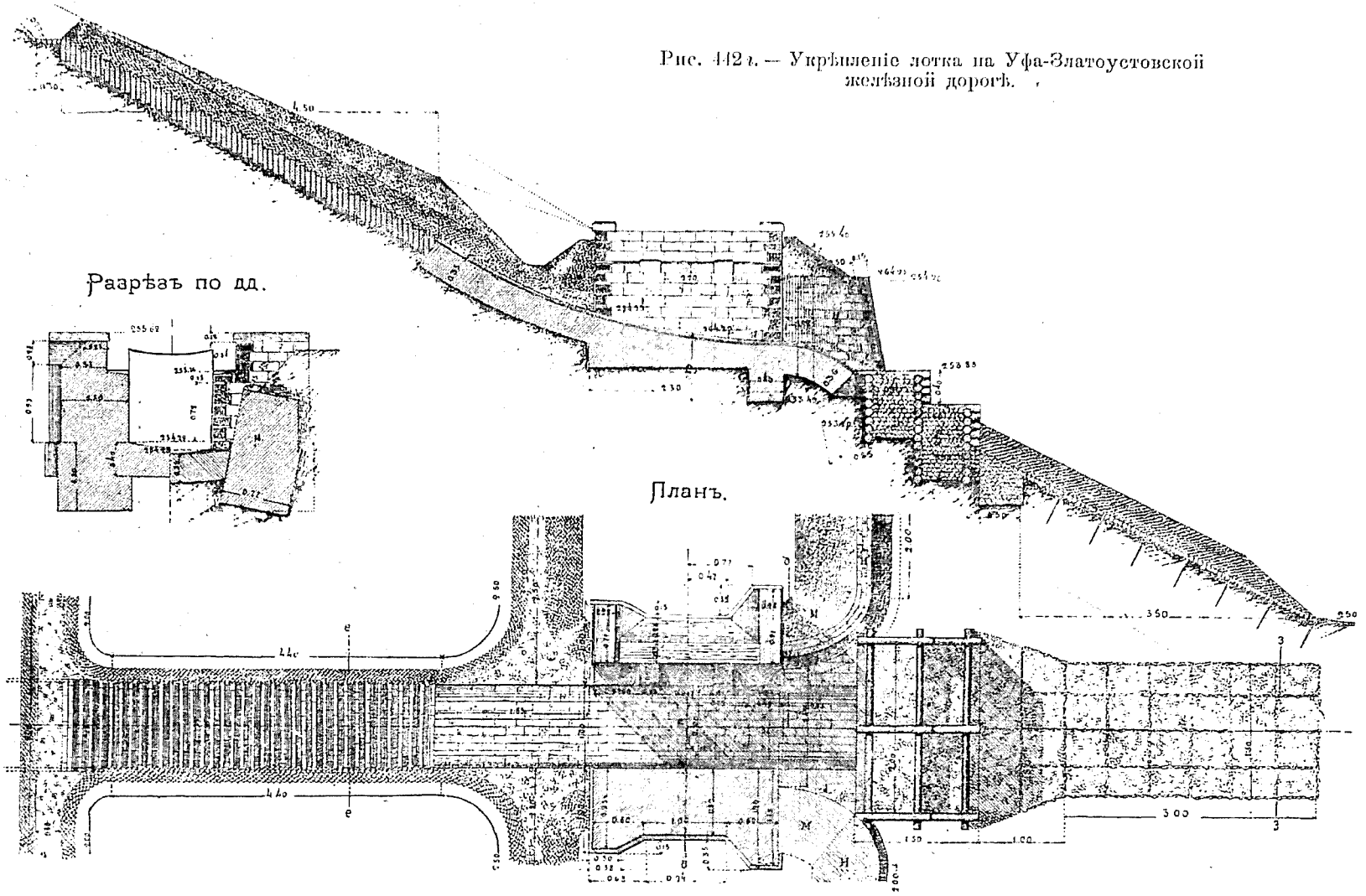
Каменной кладки въ обоихъ устояхъ высотою 3,35 с.—145,52 куб. саж.; поверхность тесаной облицовки: 111,4 кв. саж.; подферменныхъ камней: 147,16 куб. ф.; шпунтовыхъ рядовъ—186,3 п. с.; грунтовыхъ свай 212 шт.; фашинный тюфякъ—84,12 кв. саж.; каменныхъ отсыпей: 16,82 куб. саж.

На рис. 442*а*, 442*б*, 442*в* показано укрѣпленіе русла съ низовой и верховой стороны одного изъ мостовъ (отв. 1 саж.) на Уфа-Златоустовской ж. д., расположеннаго на крутомъ косогорѣ р. Сатки. Съ верховой стороны два оврага соединяются около моста въ одинъ; русло впереди моста укрѣплено каменной кладкой. Въ предѣлахъ лотка и далѣе на протяженіи 5 с. русло укрѣплено ступенчатымъ каменнымъ лоткомъ, заключеннымъ между двумя стѣнками. Длина каждаго уступа 0,65 с.; высота : 0,30 с.; высота стѣнокъ 0,80 с. Каменный ступенчатый лотокъ переходитъ далѣе въ ряжевой ступенчатый лотокъ, общею длиною въ 20 с., доходящій почти до р. Сатки. Толщина боковыхъ ряжевыхъ стѣнокъ, заполненныхъ глиной съ навозомъ, составляетъ 0,75 с.; средній, болѣе низкій ряжъ въ предѣлахъ лотка, набитый тоже глиной съ навозомъ, прикрытъ наклоннымъ досчатымъ сливнымъ поломъ.

Объемъ кладки въ обоихъ устояхъ, высотою 1,45 с., выведенныхъ на общемъ основаніи, составляетъ 24,34 куб. с.; глубина заложенія фундамента устоевъ 0,80 с., а лотка въ предѣлахъ моста—0,40, кромѣ концевыхъ частей, гдѣ сохранена глубина 0,80 с. Устройство лотковъ за предѣлами моста потребовало 10,48 куб. с. кладки на растворѣ; 144,81 кв. саж. ряжей; 29,49 кв. саж. сливного пола, не считая мостовой. Общая стоимость опоръ моста съ укрѣпленіями составляетъ:

Бутовая кладка на цем. растворѣ	куб. саж.	33,78	на сумму	5573,70
Подферм. камни, углы на карнизѣ чистой тески	» »	1,02	»	448,80
Облицовка въ приколку	кв. саж.	15,97	»	287,64
Выемка грунта подъ основаніе	куб. саж.	21,17	»	84,68
Стоимость укрѣпленія	» »	53,83	»	2167,83
Итого куб. саж. кладки		34,80	на сумму	8562,65

Рис. 442 г. — Укрѣпленіе лотка на Уфа-Златоустовской желѣзной дорогѣ.



На рис. 442г изображенъ другой типъ укрѣпленій верховаго лотка на Уфа-Златоустовской жел. дорогѣ. По косогору проведены двѣ нагорныя канавы, одна—около моста, а другая—немного выше; изъ обѣихъ канавъ воды выведены къ мосту. Такъ какъ мостъ устроенъ на косогорѣ, то лотокъ ближайшей къ мосту канавы приходится почти въ уровнѣ подферменной площадки; лотокъ же моста сдѣланъ горизонтальнымъ, вслѣдствіе чего явилась необходимость устроить въ мостѣ иерспадъ, т. е. порогъ, укрѣпленный каменной стѣной. Верхняя канава перехватывается ступенчатымъ каменнымъ лоткомъ, постоянно съуживающимся по мѣрѣ

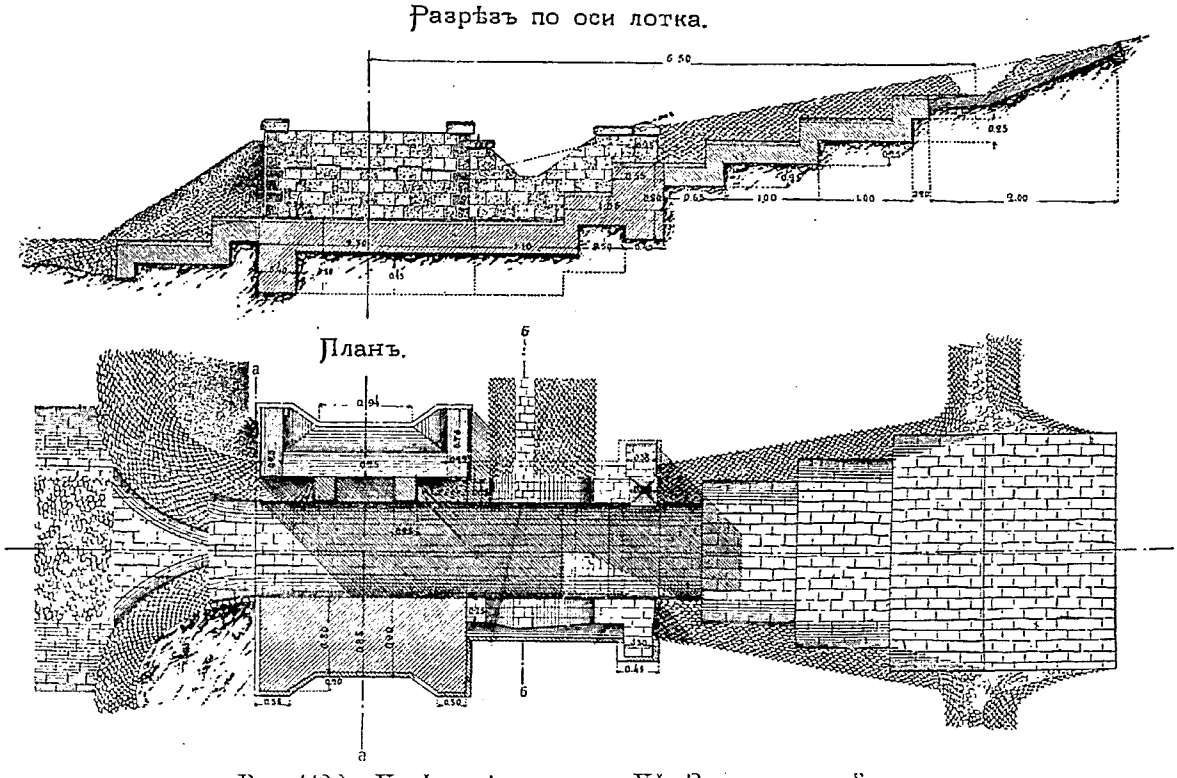


Рис. 442*д*.—Укрѣпленіе лотка на Уфа-Златоустовской ж. д.

приближенія къ мосту. Ниже моста — уклонъ мѣстности уменьшается, такъ что сдѣлана только одна ступень въ каменномъ лоткѣ.

Высота насыпи 0,80 с. Объемъ кладки въ устоѣ: бутовой—10,53 куб. саж.; тесовой кладки—угловъ: 0,25 к. с., карнизовъ—0,17: подферменные камни—0,04. Итого 10,99 куб. саж. Облицовка въ приколку—6,14 кв. саж. Укрѣпленіе русла потребовало одиночной мостовой—25,18 кв. саж., двойной мостовой—11,38; каменныхъ отсыпей—0,31. Дерновка въ стѣнку—1,10 куб. с. Общая стоимость:

Бутовой кладки на цементномъ растворѣ . .	10,53	куб.	саж.	на сумму	1632,15
Тесовой кладки	0,46	»	»	»	209,10
Облицовки въ приколку	6,14	кв.	»	»	122,80
Вырытіе котловановъ	9,54	куб.	»	»	33,39
Стоимость укрѣпленія	36,56	кв.	»	»	187,78
Итого	10,99	куб.	саж.	на сумму	2185,12 р.

На рис. 442д показанъ типъ укрѣпленія лотка одного изъ мостовъ Уфа-Златоустовской жел. дор., въ которомъ примѣнены четыре типа укрѣпленій: въ предѣлахъ моста и немного выше и ниже—сплошная кладка съ однообразнымъ

поверхностнымъ уклономъ; выше сего—ступенчатая сухая кладка изъ плитъ на мху; ниже моста—два уступа изъ ряжевыхъ колодцевъ, загруженныхъ до половины высоты камнемъ, впереди колодцевъ—каменная отсыпь, а далѣе одиночная мостовая въ клѣткахъ.

Высота насыпи—1,11 с. Объемъ кладки въ устояхъ—5,40 к. с.; угловъ—0,15 к. с.; карнизовъ—0,22 к. с.; подферменныхъ камней—0,04 к. с. Итого 5,81 к. с. Облицовка въ приколку—4,88 кв. с. Укрѣпленіе русла потребовало: 18,7 кв. саж. одиночной мостовой; 36,92 кв. саж.—мостовой въ плетневыхъ ящикахъ; каменныхъ отсыпей—0,41 куб. саж. Засыпка ряжей камнемъ—1,59 куб. саж. Ряжевыхъ стѣнъ кв. саж. 19,47. Каменныхъ уступовъ изъ сухой кладки на мху 0,72 куб. саж.; дерновка плашмя—11,35 кв. саж. Стоимость сооруженія опоры:

Бутовой кладки въ цементномъ растворѣ . .	5,40	куб. саж.	на сумму	858,60
Тесовой кладки	0,41	» »	» »	184,50
Облицовка въ приколку.	4,88	» »	» »	78,08
Вырытіе котлована.	8,96	куб. »	» »	77,60
Стоимость укрѣпленій.	101,62	» »	» »	548,82
Итого.	5,81	куб. саж.	на сумму	2079,82 р.

Данныя относительно объема кладки въ опорахъ мостовъ. Для примѣрнаго опредѣленія объема кладки въ устояхъ желѣзнодорожныхъ мостовъ подъ одинъ путь при различной высотѣ насыпи можетъ служить слѣдующая таблица дѣйствительнаго объема кладки въ устояхъ Самаро-Уфимской жел. дор. типа съ обратными стѣнками при общемъ основаніи (для пролетовъ до 2 саж.) и при глубинѣ заложенія основанія до 0,80 саж.

Отверстіе въ саж.	Высота насыпи въ саж.	Объемъ кладки въ обоихъ устояхъ куб. саж.	Отверстіе въ саж.	Высота насыпи въ саж.	Объемъ кладки въ обоихъ устояхъ куб. саж.
1,00	0,70	6,24	5	1,50	16,20
—	1,00	8,50	—	2,00	25,16
—	1,50	13,25	—	3,00	59,20
—	2,00	20,50	—	3,30	63,00
—	2,50	30,00	—	3,70	79,15
2,00	1,00	8,94	—	5,18	119,83
—	1,50	15,50	10	1,86	35,21
—	2,00	23,50	—	3,00	58,01
—	2,50	38,50	15	2,20	53,82
—	3,00	49,50	20	2,42	61,17
—	3,50	71,00	—	4,00	117,26
—	—	—	—	6,35	241,96
—	—	—	25	2,29	56,67
—	—	—	—	3,50	102,90
—	—	—	30	3,73	96,90
—	—	—	—	3,75	105,01

чему въ достаточной степени удовлетворяетъ формула:

$$V \text{ кб. с.} = 10 - 10h + 8h^2 + 0{,}5l,$$

гдѣ h и l — высота устоя и пролетъ въ саж.

Данныя относительно основныхъ наружныхъ размѣровъ устоевъ мостовъ отв. отъ 2,00 до 40,00 с. Приведемъ относящіяся къ сему данныя изъ исполненныхъ сооруженій на Самаро-Златоустовской лк. д.

Отверстія мостовъ.		Ѣзда по порху.									Ѣзда по низу.					
		2 с.	3 с.	4 с.	5 с.	6 с.	8 с.	10 с.	15 с.	20 с.	10 с.	15 с.	20 с.	25 с.	30 с.	40 с.
Размѣръ подфермен. камней.	ширина.	0,27	0,28	0,30	0,31	0,31	0,35	0,40	0,50	0,60	0,45	0,50	0,60	0,65	0,75	0,70
	длина .	0,27	0,29	0,30	0,30	0,32	0,40	0,45	0,50	0,60	0,40	0,60	0,60	0,60	0,60	0,70
	высота .	0,15	0,15	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,25	0,25	0,20	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
Ширина подферменной площадки		0,27	0,28	0,30	0,32	0,34	0,35	0,45	0,50	0,70	0,50	0,52	0,53	0,75	0,85	0,85
Разстояніе отъ верха подфермен. камня до подошвы рельса.		0,595	0,659	0,677	0,760	0,897	1,314	1,086	1,938	3,009	0,554	0,763	0,696	0,722	0,792	1,100
Разстояніе между осями фермъ		0,857	0,857	0,857	0,857	0,929	1,000	1,143	1,071	1,572	2,458	2,476	2,429	2,429	2,548	2,643
Ширина устоя (длина передней стѣнки)		2,00 и 2,20	2,00 и 2,20	2,00 и 2,20	2,00 и 2,20	2,00 и 2,20	2,00 и 2,20	2,20	2,20	2,70	3,40	3,60	3,55	3,55	3,65	3,85
Длина передняго уступа въ тѣлѣ устоевъ со сближенными обратными стѣнками (размѣръ *c*, рис. 431) .		—	—	—	—	—	—	—	—	1,70	1,20	1,30	1,50	1,50	1,70	1,70

Общая характеристика промежуточныхъ опоръ (быковъ). — Очертаніе быка въ планѣ. — Высота быка, его длина и толщина. — Полые быки. — Многоэтажныя опоры.—Примѣры.—Порталы и пилоны.

Общая характеристика промежуточныхъ опоръ (быковъ). Промежуточныя опоры (быки), при помощи которыхъ общее отверстіе моста подраздѣляется на отдѣльные пролеты и на которыя опираются пролетныя части моста, имѣютъ видъ тонкаго и длиннаго столба, сплошного (фиг. 129, табл. 15), или съ внутренними пустотами (фиг. 131 *б*, табл. 15), ограниченнаго вертикальными (фиг. 124, табл. 15), наклонными (фиг. 127, табл. 15) или криволинейными (фиг. 126 и 132, табл. 15) поверхностями. Быки поворотныхъ мостовъ представляютъ собою столбъ, ограниченный цилиндрической поверхностью. [Въ Америкѣ встрѣчаются и квадратные столбы, какъ напр. въ мостѣ черезъ р. Миссисипи близъ Альтоны (рис. 446)]. Торцовыя части быка, которыя могутъ быть плоскими (фиг. 127, табл. 15), закругленными (фиг. 124, табл. 15), многоугольнаго или треугольнаго очертанія (фиг. 125, табл. 15, фиг. 147 и 149, табл. 17), называются *головами* быка. Сопряженіе выступающей головы быка съ плоской головой, въ видѣ сферической, конической или пирамидальной части (фиг. 122 и 125, табл. 15), называется *шапкой* быка, которая обыкновенно дѣлается высотою около $^1/_{10}$ толщины быка. На рѣкахъ съ сильнымъ ледоходомъ верховая часть быка бываетъ снабжена особымъ придаткомъ, *ледорѣзомъ* (фиг. 147 и 149, табл. 17).

Въ быкахъ, какъ и въ устояхъ, слѣдуетъ отличать фундаментъ—ниже поверхности земли—и тѣло быка. Фундаментъ быка можетъ быть основанъ на естественномъ грунтѣ, на сваяхъ или кессонномъ основаніи, а также на опускныхъ колодцахъ. Уступы фундамента, съ цѣлью увеличенія площади передачи давленія, начинаются съ глубины не менѣе 0,5 с. отъ меженняго судоходнаго горизонта. При слабыхъ грун-

тахъ иногда устраиваютъ между опорами обратную арку въ уровнѣ русла, какъ это, напр., сдѣлано въ разводной части Николаевскаго моста въ Петербургѣ (рис. 445′). Другой примѣръ указанъ на фиг. 132, табл. 15, гдѣ обратная арка начинается немного ниже пятъ прямой арки, представляя постепенное утолщеніе быка.

Площадка, на которую опираются пролетныя части моста, называется *подферменной* или *подпятной площадкой;* въ случаѣ балочныхъ фермъ (фиг. 127 и 128, табл. 15), а также арочныхъ полуциркульныхъ (фиг. 131, табл. 15) или вообще арочныхъ съ вертикальной касательной къ послѣднему элементу арки—площадка дѣлается горизонтальной; если же касательная къ послѣднему элементу аркп наклонная, что имѣетъ мѣсто и въ подкосныхъ мостахъ,—то подпятиая площадка дѣлается наклонною (фиг. 126, табл. 15, фиг. 141 и 142, табл. 16, фиг. 585, табл. 74), нормальною къ вышеупомянутой касательной, или, правильнѣе, нормальной къ направленію наибольшаго опорнаго давленія. Подпятныя площадки смежныхъ арокъ помѣщаются на одинаковомъ уровнѣ; если пролеты, а также стрѣлы подъема неодинаковы, то при значительной разницѣ пяты помѣщаются на разныхъ уровняхъ (фиг. 134, табл. 15). Подпятныя или подферменныя площадки, какъ сказано было въ предъидущей главѣ VI, должны быть всегда приподняты надъ горизонтомъ высокихъ водъ. Въ каменныхъ арочныхъ мостахъ, во избѣжаніе пологихъ арокъ, опускаютъ пяты иногда ниже горизонта водъ (фиг. 135, 136, 137 и 125, табл. 15); въ этомъ случаѣ для умепьшенія стѣспенія живого сѣченія арку со стороны теченія срѣзаютъ косыми цилиндрическими поверхностями, называемыми *коровьими рогами.*

Для начертанія этого срѣза необходимо имѣть двѣ направляющія этой поверхности. Обѣ направляющія сходятся въ ключѣ свода. Одна направляющая *ab* (фиг. 135, 136 и 137, табл. 15) получится, если на плоскости щеки моста начертить кривую большей пологости, нежели кривая направляющая свода; такъ напр., въ Мелэнскомъ (Melun) мосту во Франціи радіусъ направляющей свода въ 200 футъ, а радіусъ кривой направляющей поверхности срѣза въ 300 футъ. Другая направляющая *cb* будетъ линіею пересѣченія внутренней поверхности съ вертикальною плоскостью *bc*, наклоненною подъ такимъ угломъ α (фиг. 136) въ плоскости щекъ, чтобы по возможности уменьшить сжатіе струи при горизонтѣ высокихъ водъ. Производящая, остающаяся постоянно въ вертикальной плоскости, параллельной оси свода или длинѣ быка, движеніемъ своимъ образуетъ косую цилиндрическую поверхность, по которой и должно будетъ произвести срѣзъ. Величину угла α дѣлаютъ обыкновенно въ 60°.

Очертаніе быка въ планѣ. Характеръ очертанія быка въ планѣ находится въ зависимости отъ того, имѣетъ ли быкъ подводную часть, предвидится ли ледоходъ, а также и отъ назначенія моста. Если *подводной части не существуетъ*, какъ, напр., въ віадукахъ чрезъ суходолы, то сѣченіе опоры въ планѣ представляетъ прямоугольникъ (фиг. 130, табл. 15) съ острыми, скошенными или закругленными ребрами (фиг. 127 и 128, табл. 15). Равнымъ образомъ въ опорахъ, имѣющихъ подводную часть, верхняя, *надводная* часть также устраивается въ видѣ прямоугольника (фиг. 122, фиг. 128, табл. 15, фиг. 116, табл. 14). Существуютъ, однако, примѣры, что при невысокихъ опорахъ сѣченіе быка выше горизонта высокихъ водъ представляетъ двѣ параллельныя прямыя, связанныя по концамъ полуокружностями (фиг. 120, табл. 14).

Что касается наиболѣе раціональнаго очертанія *подводной* части быка, при которомъ происходили бы наименьшее сжатіе струи и наименьшіе подмывы дна, то необходимо замѣтить, что изслѣдованія, произведенныя для выясиенія величины сжатія, показали, что при прямоугольномъ сѣченіи коэффиціентъ сжатія: $\varphi = 0{,}85$, при закругленномъ: $\varphi = 0{,}90$, при остроугольномъ: $\varphi = 0{,}95$.

Для опредѣленія же вліянія очертанія на величину и характеръ подмывовъ инженеръ Durand Claye произвелъ слѣдующіе опыты. Въ каменномъ каналѣ, (фиг. 119*ж*, табл. 14), шириною 0,745 м., наполненномъ до извѣстной высоты пескомъ, были установлены поочередно небольшіе быки высотою 0,12 м., длиною 0,81 м., шириною 0,31 м., прямоугольнаго очертанія, а также съ остроугольными (30°) и полукруглыми оконечностями (фиг. 119*а*, 119*в*, 119*д*, табл. 14). Впуская каждый разъ струю воды извѣстной силы и прекращая притокъ по прошествіи опредѣленнаго времени, онъ опредѣлялъ форму и величину размыва, снимая профили при помощи карточки (фиг. 119*ж*, табл. 14), на которой обрисовывался профиль размытаго сырого песку. На чертежахъ отъ 119*а*—119*ж*, табл. 14, показанъ характеръ размывовъ, выяснившихся изъ результата его опытовъ и опредѣленія нѣкоторыхъ профилей. Общимъ характернымъ явленіемъ представляется: *размывъ* съ верховой стороны и съ боковъ и *наносы* съ низовой стороны. *Размывы* съ *верховой* стороны наибольшіе по оси прямоугольнаго сѣченія и наименьшіе по оси остроугольнаго сѣченія. При прямоугольномъ сѣченіи, размывы съ верховой стороны уменьшаются, по мѣрѣ приближенія къ плечамъ, а при остроугольномъ — увеличиваются. Полукруглое очертаніе въ отношеніи размывовъ съ верховой стороны занимаетъ средину между обоими остальными очертаніями. *Размывы* ио *бокамъ*, наибольшіе при прямоугольномъ сѣченіи, гдѣ они сохраняютъ постоянную величину вдоль всего быка; при остроугольномъ—они наименьшіе; при полукругломъ близко подходятъ къ предыдущему случаю. Наибольшіе *наносы* съ низовой стороны замѣчаются при прямоугольномъ сѣченіи, наименьшіе — при остроугольномъ сѣченіи.

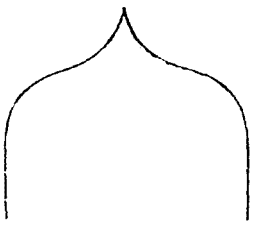


Рис. 443.

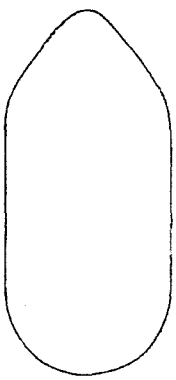


Рис. 444.

Изъ этого слѣдуетъ, что прямоугольное очертаніе наиболѣе невыгодно относительно возможности подмывовъ. Наиболѣе раціональнымъ очертаніемъ представляется соединеніе остроугольнаго съ полукруглымъ, какъ показано на рис. 443, но это, очевидно, затруднило бы кладку. Поэтому съ верховой стороны быкамъ слѣдуетъ придавать еѣченіе треугольное съ закругленными плечами, а съ низовой—полукруглое, чему удовлетворяютъ всѣ быки съ ледорѣзами (рис. 444). Треугольное еѣченіе съ низовой стороны потому менѣе выгодно, что по серединѣ наноса образуется воронкообразное углубленіе. Въ поворотныхъ мостахъ очертаніе быка круговое (рис. 455). Иногда для уменьшенія сжатія верховая часть быка снабжается треугольнымъ выступомъ, а на рѣкахъ съ ледоходомъ—и ледорѣзомъ. Большею же частью устанавливается отдѣльный ледорѣзъ, который можетъ служить одновременно упоромъ для упругихъ заилывей и для закрѣпленія концовъ фермъ въ разведенномъ положеніи моста (Троицкій мостъ въ Петербургѣ).

Головы быковъ, какъ сказано выше, бываютъ ограничены или цилиндрической поверхностью съ направляющими полукруговой, элиптической или изъ двухъ взаимно пересѣкающихся кривыхъ, или же ограничены двумя взаимно пересѣкающимися плоскостями или одной плоскостью. Первыя очертанія, т. е. выступающія головы, примѣняются въ рѣчныхъ быкахъ иногда во всю высоту быка (фиг. 120, табл. 14, фиг. 121, табл. 15), или же выступающая голова быка доводится только

до горизонта высокихъ водъ, выше котораго быкъ ограничивается плоскостью (фиг. 122, 123, 125, 129, табл. 15) или многоугольной призмой (фиг. 124, табл. 15). Сопряжёніе выступающей головы съ плоскою или призматической ея частью дѣлается, какъ сказано выше, при помощи сферической или конической поверхности или пирамидой (фиг. 122, 123, 124, 125, 129, табл. 15). Въ каменныхъ арочныхъ мостахъ кладка быка оканчивается въ уровнѣ пятъ свода; если выступающая голова быка сохраняется до верху, то часть клиньевъ свода оказывается прикрытой головой быка (фиг. 121 и 124, табл. 15); въ противномъ случаѣ выступающая часть доводится только до пятъ арки (фиг. 123 и 125, табл. 15, фиг. 132, табл. 15) или немного выше (фиг. 133, табл. 15).

Въ віадукахъ чрезъ суходолы головы быковъ ограничены плоскостью съ самаго основанія опоры (фиг. 127 и 130, табл. 15).

Если на рѣкѣ ледоходъ не особенно сильный, то вмѣсто устройства ледорѣзовъ (о которыхъ сказано будетъ ниже) ограничиваютъ голову быка двумя взаимно пересѣкающимися цилиндрическими поверхностями или плоскостями, придавая ребру пересѣченія небольшой уклонъ; выше горизонта ледохода ограничиваютъ голову плоской гранью (фиг. 129, табл. 15).

Что касается *наиболѣе выгоднаго числа* промежуточныхъ опоръ, то въ этомъ отношеніи слѣдуетъ руководствоваться формулами (20—22), стр. 256 и 257.

Относительно наивыгоднѣйшаго числа опоръ каменныхъ віадуковъ можно привести для соображенія еще слѣдующія данныя.

При сооруженіи Берлинской городской жел. дороги, сдѣланы были сравнительные подсчеты стоимости віадуковъ шириною 15,5 м., при разныхъ предположеніяхъ относительно величины пролета и подъема арки, при чемъ оказалось слѣдующее *):

Пролетъ въ метрахъ.	Подъемъ арки.	Наивыгоднѣйшая высота въ метр.
6	1 : 4	6,3
8	1 : 6	7,3— 8,3
10	1 : 4,5	9,3—10,3
12	1 : 4	11,3—14,3
15	1 : 3,5	15,3

Такимъ образомъ для данныхъ соотношеній наиболѣе выгодный пролетъ приблизительно равенъ полной высотѣ віадука.

Высота быка. Высота быка опредѣляется условіями заданія и должна отвѣчать предѣльному возвышенію подферменной или подпятной площадки надъ горизонтомъ высокихъ водъ при несудоходныхъ рѣкахъ, и предѣльному возвышенію низа фермъ или ключа арки на судоходныхъ рѣкахъ. На рѣкахъ съ сильнымъ ледоходомъ, имѣющимъ мѣсто при высокомъ горизонтѣ, признаютъ полезнымъ увеличить высоту быка еще въ бо́льшихъ размѣрахъ для предупрежденія возможности нагроможденія льдинъ на части мостовыхъ фермъ надъ быками.

Наибольшая высота быковъ встрѣчается въ каменныхъ віадукахъ. Въ слѣдующей таблицѣ приведено нѣсколько примѣровъ, показывающихъ свободную междуэтажную (не связанную арками) высоту опоръ до пятъ свода.

* Zeitschr. für Bauwesen 1884.

Названіе сооруженія.	Годъ постройки.	Свободная высота опоръ до пятъ свода въ мет.	Толщина въ плоскости пятъ въ мет.	Отношеніе толщины къ высотѣ, какъ 1 :
Бирмингамскій віадукъ . . .	1831	20,43	3,35	6,1
Віадукъ Görlitz	1844	21,30	3,77	5,6
„ Wear	—	21,90	7,24	3,0
„ Roquefavour (фиг. 139, табл. 16)	—	24,00	4,5	—
„ Manse	1847	24,60	3,40	7,2
„ Lockwood	—	31,50	1,37	2,3
„ Dee	—	32,90	3,94	8,3
„ Aulne	—	41,50	4,80	8,6
Акведукъ Lissabon (рис. 3) .	около 100	50,00	6,5	7,7
„ Spoletto (фиг. 140, табл. 16)	около 500	89,00	3,57	25,0

Что же касается полной высоты каменныхъ віадуковъ, то наиболѣе значительная высота встрѣчается въ слѣд. сооруженіяхъ:

Названіе сооруженія.	Полная высота въ мет.	Названіе сооруженія.	Полная высота въ мет.	Названіе сооруженія.	Полная высота въ мет.
Одноэтажные віадуки.		*Двухэтажные віадуки.*		*Трехэтажные віадуки.*	
Віадукъ Manse	33,00	Акведукъ Segovia . . .	34,00	Pont du Gard въ Нимѣ.	48,77
„ Görlitz	35,15	Віадукъ Geul близъ Ахена	36,71	Віадукъ Chaumont . .	50,00
„ Lockwood . .	41,48	„ Heiligenborn . .	40,00	„ Albano	
„ Dee	45,00	„ Elster	69,75	„ Arriccia . . .	50,00
„ New-Castle . .	46,00	Акведукъ Spoletto . . .	132,00	Акведукъ Coserta . . .	58,51
„ Desenzano близъ Вероны . . .	60,00			„ Roqnefavour .	81,00
Акведукъ Lissabon . . .	85,00			*Четырехэтажные віадуки.*	
				Віадукъ Gölizch (фиг. 138, табл. 16)	80,37

Длина быка. Длина верхней части быка, измѣряемая по направленію вдоль русла, опредѣляется по тѣмъ же соображеніямъ, какъ и передняя стѣпка устоевъ. Если быкъ имѣетъ полукруглыя или остроконечныя головы, доходящія до верху быка, то къ исчисленной длинѣ прибавляется еще длина двухъ головъ.

Край подферменнаго камня долженъ отстоять отъ начала закругленія головы не менѣе, какъ на 0,25 с., хотя нерѣдко для сбереженія расходовъ отступаютъ отъ этого правила, начиная закругленіе отъ края подферменнаго камня (фиг. 147, табл. 17) или даже отъ оси подферменнаго камня (фиг. 157, табл. 19).

Головы быковъ ограничены отвѣсной поверхностью или наклонной, съ уклономъ около $\frac{1}{30}$ по линіи очертанія вертикальнаго по оси быка сѣченія. При низкихъ опорахъ уклонъ этотъ дѣлается менѣе уклона производящей боковыхъ граней; при высокихъ опорахъ—обратно. Если быкъ долженъ быть снабженъ ледорѣзомъ, то въ предѣлахъ перемѣннаго уровня ледохода, о чемъ будетъ сказано ниже, уклонъ линіи очертанія со стороны теченія измѣняется отъ 1 : 2 до 2 : 1 (фиг. 157, табл. 19).

Толщина быковъ. Толщина быковъ въ данномъ *горизонтальномъ* сѣченіи сохраняется вообще постоянною, за исключеніемъ, конечно, выступающей головы быка. Иногда, впрочемъ, оказывается необходимымъ измѣнить толщину

быка по длинѣ даннаго сѣченія, а именно, когда многопролетный мостъ устраивается на кривой, и желаютъ избѣжать необходимости дѣлать конническіе своды или придавать фермамъ даннаго пролета различную длину; въ этомъ случаѣ толщину быка дѣлаютъ перемѣнной (рис. 401′).

Что касается измѣненія толщины быка по *высотѣ* его, а также очертанія быка въ вертикальномъ разрѣзѣ (по оси моста), то слѣдуетъ различать быки балочныхъ фермъ съ одной стороны—и арочныхъ и подкосныхъ—съ другой.

а) Въ быкахъ *балочныхъ* фермъ, въ зависимости отъ высоты быка, толщина сохраняется постоянною (фиг. 147, табл. 17) или увеличивается постепенно отъ вершины къ основанію [наклонныя грани съ постояннымъ или перемѣннымъ уклономъ $\frac{1}{10}$ — $\frac{1}{40}$ (фиг. 127, 128, 129 и 130, табл. 15), криволинейное очертаніе], или же увеличеніе идетъ уступами (рис. 447). При высокихъ опорахъ перемѣнный по высотѣ уклонъ граней, постепенно увеличивающійся книзу (ф. 130, табл. 15), помимо болѣе легкаго вида опоры представляется и раціональнѣе, такъ какъ для удовлетворенія условію одинаковаго по высотѣ напряженія матеріала сѣченіе опоры должно измѣняться по закону показательной функціи $\omega_x = \omega_0 e^{\frac{\delta x}{R}}$, гдѣ ω_0 — площадь сѣченія по верху; δ—вѣсъ куб. ед. кладки; x—разстояніе сѣченія ω_x отъ вершины; R—коэффиціентъ допускаемаго напряженія; e—основаніе Неперовыхъ логариомовъ. Та же цѣль достигается примѣненіемъ формулы Френкеля:

$$y = \frac{d \cdot x}{\frac{2P}{d\delta} - x},$$

гдѣ x и δ имѣютъ прежнія значенія; d—толщина опоры по верху; P—вѣсъ опоры, пролетнаго строенія и подвижной нагрузки; y—половина увеличенія толщины въ сѣченіи x противъ толщины d опоры по верху. *Толщина по верху* зависитъ отъ величины давленія, прочности кладки и проч. и опредѣляется на основаніи тѣхъ же соображеній, какъ и ширина подферменной площадки, при чемъ при разрѣзныхъ фермахъ наименьшая толщина по верху равняется двойной ширинѣ подферменной площадки съ запасомъ около 0,15 с.—0,30 с., а при неразрѣзныхъ фермахъ нѣсколько менѣе, такъ какъ устанавливается одна общая подушка. При высокихъ опорахъ толщина по верху увеличивается еще въ зависимости отъ высоты. *Зависимость толщины опоры отъ ея высоты и величины пролета* указаны въ нижеприведенныхъ эмпирическихъ формулахъ. Вообще при величинѣ пролета около 20 с. толщина по верху дѣлается не менѣе 1,50 с. На Енисеѣ въ виду значительности отдѣльныхъ пролетовъ ($L = 65$ с.) и ледохода толщина быковъ по верху увеличена до 1,80 с. Если пролеты одинаковы и высота быковъ мало отличается одна отъ другой, то всѣ быки даннаго моста дѣлаются обыкновенно одинаковыхъ поперечныхъ размѣровъ.

б) Въ *арочныхъ* и *подкосныхъ* мостахъ съ равными или мало измѣняющимися пролетами поперечное очертаніе быка *ниже пятъ* арокъ ничѣмъ не отличается отъ очертанія быковъ балочныхъ мостовъ (фиг. 121, 123 и 131 *а*, табл. 15); при этомъ слѣдуетъ наблюдать, чтобы поперечные размѣры были таковы, чтобы при самомъ невыгодномъ расположеніи нагрузки на смежныхъ пролетахъ кривая давленія нигдѣ не выходила изъ средней трети сѣченія. Уклоны граней опредѣляются по тѣмъ же соображеніямъ, какъ въ балочныхъ мостахъ; величина уклона зависитъ отъ высоты опоры. Такъ напр., въ віадукѣ Morlaix, высотою 58 м.,

уклоны граней вверху: $\frac{1}{10}$, внизу: $\frac{1}{12}$; въ віадукѣ Rouchat—уклонъ лицевыхъ граней $\frac{1}{33}$, уклонъ боковыхъ — $\frac{1}{50}$, а уклоны контрфорсовъ $\frac{1}{14}$; въ віадукѣ Verzouillac при наибольшей высотѣ 44,5 м. боковыя грани имѣютъ криволинейное очертаніе, удовлетворяющее тому условію, что во всѣхъ сѣченіяхъ напряженіе матеріала 6 $\frac{\text{кил.}}{\text{см.}^2}$. Приданіе гранямъ быка уклоновъ связано съ другой стороны съ употребленіемъ для облицовки вполнѣ твердаго матеріала, не поддающагося атмосфернымъ вліяніямъ; въ противномъ случаѣ лучше измѣнять толщину усту-

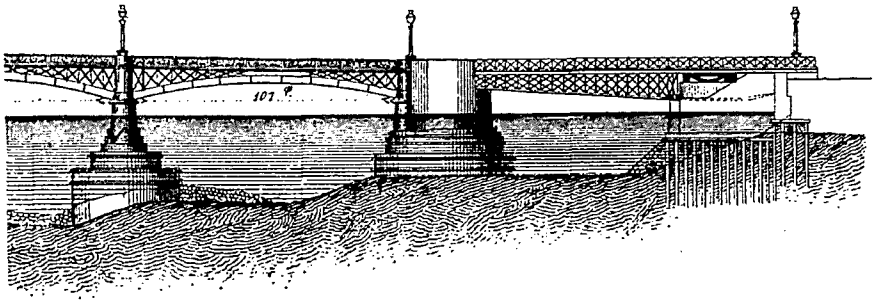


Рис. 445.—Толстый быкъ Николаевскаго моста въ Петербургѣ.

пами. При значительной разницѣ въ величинѣ смежныхъ пролетовъ, а также когда пяты арокъ заложены на разныхъ высотахъ (фиг. 134, табл. 15), или когда быкъ подвергается дѣйствію односторонняго распора, для удовлетворенія вышеупомя-

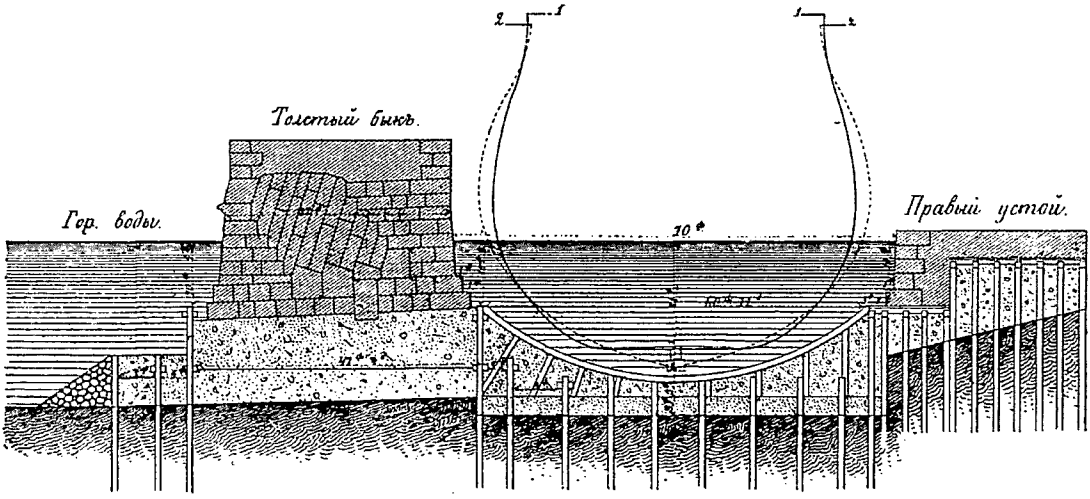


Рис. 445′. — Поперечный разрѣзъ толстаго быка и лотка разводного пролета Николаевскаго моста въ Петербургѣ (въ фут.).

нутому требованію приходится значительно утолщать быкъ, сохраняя симметричность отиосительно продольной оси [какъ напр., быки Николаевскаго (рис. 445 и 445′) и Александровскаго мостовъ въ Петербургѣ, прилегающіе къ разводному пролету]. Въ послѣднее время для удовлетворенія той же цѣли находятъ болѣе выгоднымъ утолщать быкъ только съ одной стороны, какъ это, напр., сдѣлано въ опорахъ моста Mirabeau въ Парижѣ (фиг. 144, табл. 16) или въ опорахъ Троицкаго моста въ Петербургѣ (фиг. 143, табл. 16):

Наименьшая толщина быка въ *уровнѣ пятъ арокъ* находится въ зависимости отъ типа пролетныхъ частей.

α) Въ *каменныхъ арочныхъ* моетахъ она равняется двойной горизонтальной проекціи ширины подпятнаго камня съ нѣкоторымъ запасомъ или около 2,3 d, гдѣ d—толщина свода въ ключѣ. Въ каменныхъ высокихъ віадукахъ толщина въ уровнѣ пятъ измѣняется отъ 0,17 до 0,30 пролета и отъ 0,3 до 0,04 свободной высоты (Сиолетскій віадукъ) (фиг. 107*б*, табл. 13, фиг. 131*а* и 123, табл. 15). По Perronet толщина быка каменнаго арочнаго моста: $d = 0{,}76$ м. $+ 0{,}08\ l$. Если опоры не высокія, то на толщину опоръ вліяетъ преимущественно величина пролета. Обыкновенное отношеніе толщины опоры къ величинѣ пролета: $\frac{1}{9}$; такъ напр., мостъ Наполеона III въ Парижѣ $4 : 34{,}5 = 1 : 8{,}6$; віадуки Берлинской городской жел. дор. $1{,}9 : 15 = 1 : 7{,}9$; Тильзитскій мостъ въ Ліонѣ: $2{,}5 : 22{,}8 = 1 : 9$; Іенскій мостъ въ Парижѣ: $3 : 28 = 1 : 9{,}3$ и т. д. Если арочныя фермы — металлическія или деревянныя и выше уровня пятъ не имѣется каменной кладки (фиг. 126, табл. 15, фиг. 144 и 143, табл. 16), то толщина въ уровнѣ пятъ опредѣляется размѣрами поднятныхъ или подферменныхъ камней. Полученные минимальные размѣры приходится увеличивать для полученія въ уровнѣ пятъ достаточной толщины на срѣзываніе; увеличеніе толщины можетъ быть съ успѣхомъ замѣнено расположеніемъ кладки наклонными рядами (фиг. 144 и 143, табл. 16). Замѣтимъ, что въ каменныхъ арочныхъ мостахъ кладка быка доводится собственно только до уровня пятъ; выше сего располагается забутка арки, сплошная (фиг. 107*д*, табл. 13) или облегченная галлереями (фиг. 131 *б*, табл. 15).

Если каменный арочный мостъ—о нѣсколькихъ пролетахъ, то нѣкоторые быки дѣлаются иногда болѣе толстыми сравнительно съ другими, какъ напр. въ случаѣ неодинаковыхъ пролетовъ (фиг. 138, табл. 16), или въ предположеніи, что работа по кладкѣ арокъ, въ виду сбереженія расхода на кружала, будетъ производиться неодновременно, или же дѣлается это съ тою цѣлью, чтобы при разрушеніи моста (напр. во время войны) ограничить районъ разрушенія опредѣленными предѣлами. Если исходить изъ послѣдняго предположенія, наиболѣе выгодное относительное расположеніе толстыхъ и тонкихъ быковъ будетъ достигнуто въ томъ случаѣ, когда первоначальные расходы по сооруженію на столько увеличатся, чтобы это соотвѣтствовало *minimum*'у расходовъ по ремонту испортившейся или разрушенной части моста. Если l—общая длина, b — ширина моста, k_1—стоимость сооруженія одного квадратнаго метра боковой поверхности моста (не вычитая пролетныхъ отверстій), k_2 — стоимость кубическаго метра каменной кладки, d — утолщеніе толстаго быка сравнительно съ тонкимъ, то, по Bräuler'y (Deutsche Bauzeitung, 1876), наивыгоднѣйшее число толстыхъ быковъ:

$$n = \sqrt{\frac{k_1}{k_2} \cdot \frac{l}{b \cdot d}} - 1.$$

Въ віадукахъ Берлинской городской жел. дороги толстыя опоры слѣдуютъ за 3—6 болѣе тонкими опорами, при чемъ большею частью толщина въ уровнѣ пятъ одинакова; различны лишь уклоны граней. Обыкновенно же въ толстыхъ опорахъ увеличивается толщина въ уровнѣ пятъ, составляя $\frac{1}{3} — \frac{1}{4}$ долю отъ пролета.

Приведемъ изъ существующихъ примѣровъ нѣсколько данныхъ относительно толщины быковъ каменныхъ арочныхъ мостовъ и напряженія матеріала.

Названія мостовъ.	Отверстіе метр.	Высота моста метр.	Толщина быка метр.	Напряженіе въ килограммахъ на квадратный сантиметръ:			
				въ ключѣ.	въ пятѣ.	въ цоколѣ.	въ фундаментѣ.
Нейльскій	39,00	14,65	4,20	12,78	11,68	11,68	7,69
Альмскій	43,00	11,50	4,60	12,47	9,07	9,07	7,22
Орлеанскій	32,50	14,00	5,85	9,93	8,28	8,28	7,63
Св. Троицы во Флоренціи	29,10	9,00	7,88	15,46	3,95	4,65	—
Віадукъ: Индра	9,80	22,90	2,20	2,36	3,11	4,57	2,24
„ Шомонъ . . .	10,00	50,00	1,30	2,95	5,00	10,00	—
„ Манзъ (Manse)	15 00	33,00	3,40	3,21	5,07	5,71	4,46
„ Morlaix	15 00	58,00	4.25	3,70	4,35	7,50	8,12

β) Въ *быкахъ деревянныхъ или металлическихъ арочныхъ и подкосныхъ фермъ*, когда по условіямъ конструкціи фермъ кладка быка продолжается выше пятъ арокъ или подкосныхъ фермъ и доходить до верху (рис. 113) или замѣняется металлической конструкціей (фиг. 126, табл. 15), то толщина быка въ уровнѣ пятъ составляется изъ толщины верхней части, увеличенной при наружныхъ пятахъ на горизонтальную проекцію обѣихъ смежныхъ пятъ (фиг. 142, табл. 16, фиг. 585, табл. 74); при скрытыхъ, втопленныхъ пятахъ (фиг. 141, табл. 16) — разность между толщиною верхней части и толщиною въ уровнѣ пятъ нѣсколько менѣе. Наружныя подпятныя площадки предпочтительнѣе скрытыхъ, представляющихъ затрудненіе для отвода водъ.

Что же касается *толщины верхней части* быка, расположенной *выше уровня* пятъ, то она дѣлается также постоянной или перемѣнной (фиг. 141 и 142, табл. 16) и находится въ зависимости отъ высоты ея, отъ испытываемаго ею давленія отъ частей фермъ, а иногда опредѣляется условіемъ, чтобы вѣсъ ея, сложенный съ вертикальнымъ давленіемъ отъ арки въ уровнѣ пятъ, удовлетворялъ съ запасомъ условію равновѣсія относительно срѣзыванія.

Вообще толщину быка по верху, безразлично для какой системы, можно опредѣлить по формулѣ:

$$d^{\text{м.}} = 0{,}78^{\text{м.}} + 0{,}147\, H \sqrt[3]{\frac{l}{H}},$$

гдѣ H высота быка, а l — разстояніе между осями быковъ въ метрахъ, или же по формулѣ:

$$d^{\text{м.}} = 0{,}80^{\text{м.}} + 0{,}04\, l \text{ или } d = 1^{\text{м.}} + 0{,}03\, l, \text{ если } l < 50^{\text{м.}},$$

$$\text{и } d = 2^{\text{м.}} + 0{,}01\, l, \text{ если } l > 50^{\text{м.}}.$$

Кромѣ этой формулы имѣется еще слѣдующая, предложенная Френкелемъ: d метр. $= 0{,}26 + 0{,}061 \,.\, l - 0{,}00058\, l^2 + 0{,}0009 \,.\, v h_1 l$ метр., гдѣ d — толщина по верху; l—пролетъ; v—скорость весеннихъ водъ; h_1—высота весеннихъ водъ надъ діомъ рѣки. Для опоръ мостовъ въ суходолахъ послѣдній членъ, очевидно, незачѣмъ брать въ расчетъ. Эта формула даетъ очень незначительные размѣры сравнительно съ другими формулами. Вообще можно принять, что для невысокихъ опоръ, ие свыше 4,7 с. = 10 м. толщина по верху при различныхъ пролетахъ можетъ быть слѣдующая:

$l =$ 10 метр.	20	30	40	50	100 метр.
$d =$ 1,6 »	1,6	1,9	2,2	2,5	3 метр.

Толщину быка у подошвы найдемъ изъ предъидущей, задавшись опредѣленнымъ уклономъ грани.

Основаніе быка настолько уширяютъ, чтобы давленіе на грунтъ отъ вѣса быка, пролетныхъ частей и нагрузки не превосходило допускаемаго напряженія на основаніе, обыкновенно не болѣе 1—2 пуд. на кв. д. при грунтѣ средней твердости; при неравномѣрномъ давленіи наибо́льшее напряженіе допускается до 4—5 пуд. на кв. д. глинистаго грунта при глубинѣ заложеній не менѣе 7 саж. (Александровскій мостъ въ Петербургѣ). Глинистый грунтъ подъ опорами моста чрезъ East-River напряженъ въ 2—2,5 $\frac{\text{пуд.}}{\text{дм.}^2}$. Уступы въ фундаментѣ слѣдуетъ дѣлать съ уклономъ около 1 : 2 и не менѣе 1 : 1; при болѣе пологихъ уклонахъ можетъ произойти откалываніе уступовъ.

При сооруженіи городской Берлинской ж. д. *) были произведены спеціальныя опытныя изслѣдованія, имѣвшія цѣлью выяснить наименьшую величину уклона, образуемаго уступами кирпичнаго на известковомъ растворѣ фундамента, при которомъ не происходитъ еще откалыванія уступовъ при опредѣленной равномѣрной нагрузкѣ песчанаго грунта. Попутно этими изслѣдованіями были опредѣлены предѣльныя допускаемыя нагрузки для даннаго грунта. Для сего были сложены кирпичные столбы однообразной высоты, одинаковой площади сѣченія вверху (51 см. × 51 см.) и въ основаніи (103 см. × 103 см.), но съ различнымъ очертаніемъ боковыхъ граней; въ нѣкоторыхъ столбахъ уступы начинались почти отъ вершины столба, въ другихъ—на извѣстномъ разстояніи отъ вершины; такимъ образомъ уступы представляли уклоны съ вертикалью: $\frac{1}{1,15}$, $\frac{1}{1,43}$, $\frac{1}{1,73}$, $\frac{1}{2,12}$, $\frac{1}{2,6}$. Для обезпеченія равномѣрной передачи давленія на верхнюю площадку столбовъ четыре верхніе ряда были сложены на цементѣ, верхъ столба покрытъ двойнымъ рядомъ досокъ, съ прокладкой между ними папки, а поверхъ досокъ была положена чугунная доска, въ центрѣ которой надавливалъ штемпель неравноплечаго рычага; на длинномъ концѣ послѣдняго располагали осторожно грузъ изъ рельсовъ. Испытаніе началось спустя 4 мѣсяца послѣ окончанія кладки столбовъ, при чемъ сложено было по 3 столба для каждаго изъ уклоновъ; растворъ 2 изв. : 5 пес.; грунтъ мелкозернистый песокъ. Результаты опытовъ оказались слѣдующіе:

Фундаментъ съ уклонами.	Равномѣрное напряженіе въ кил. на кв. сант. основанія, при которомъ не замѣчалось еще трещинъ.	Наблюдавшаяся при этомъ осадка въ мм.	Равномѣрное напряженіе въ кил. на кв. сант. основанія, при которомъ образовались трещины.
1 : 1,15	2,2 2,1 2,9 } 2,4	1,0	3,0 3,9 3,7
1 : 1,43	3,1 3,7 2,9 } 3,2	1,1	4,7 5,3 4,5
1 : 1,73	— 3,7 2,9 } 3,3	1,8	— 5,4 3,7
1 : 2,12	— 3,0 3,7 } 3,35	1,5	— 3,8 4,5
1 : 2,6	5,3 5,4 5,3 } 5,3	2,8	6,2 6,2 6,1

Передъ появленіемъ трещинъ осадка грунка составляла около 4,2 мм. Трещины появлялись только въ нижней части столба въ предѣлахъ его уширенія; въ верхнихъ частяхъ съ однообразнымъ

*) Zeitschr für Bauwesen. 1896

сѣченіемъ 51 см. × 51 см. трещинъ не было, хотя напряженіе достигало 20 $\frac{\text{кил.}}{\text{сант.}^2}$. Изъ этихъ опытовъ слѣдуетъ между прочимъ, что: а) чѣмъ больше напряженіе на основаніе, передаваемое упирающимся книзу фундаментомъ, тѣмъ круче должны быть уклоны упиренія, т. е. тѣмъ выше отъ подошвы фундамента должно начинаться упиреніе его; б) при указанныхъ уклонахъ безопасно допустить центральную нагрузку на столбъ, вызывающую въ груптѣ напряженіе отъ 2,4 до 5,3 $\frac{\text{кил.}}{\text{сант.}^2}$; большія напряженія будутъ уже сопровождаться откалываніемъ уступовъ, и в) въ виду осадки на 1 мм. при напряженіи въ 3 $\frac{\text{кил.}}{\text{сант.}^2}$ безопасное напряженіе песчанаго основанія при глубинѣ заложенія въ 1 — 2 м. слѣдуетъ считать въ 3 $\frac{\text{кил.}}{\text{сант.}^2}$, хотя въ извѣстныхъ случаяхъ оно можетъ быть увеличено до 5 $\frac{\text{кил.}}{\text{сант.}^2}$.

При поворотныхъ двухрукавныхъ моетахъ толщина быка, на которомъ помѣщена ось вращенія, опредѣляется въ зависимости отъ діаметра круга катанія и отъ системы механизма поворотной части.

Полые быки. Для уменьшенія кладки, а также для увеличенія устойчивости при наименьшей тратѣ матеріала, быки (особенно въ віадукахъ или акведукахъ) устраиваются иногда съ вертикальными колодцами или съ сквозными пустотами (рис. 131*б*, табл. 15). Въ указанномъ примѣрѣ быки, поддерживающіе каменныя арки пролетомъ 50 ф., имѣютъ толщину 8 ф. 10,5 д., при длинѣ быка въ 27 ф. Въ тѣлѣ быка на высоту отъ цоколя до пятъ свода сдѣлано четыре колодца сѣченія 2 ф. 11 д. × 3 ф. 4 д., перекрытые сводами. Выше пятъ пазухи своды заполнены кладкой примѣрно на половину высоты, надъ которой устроены четыре продольныя галлереи отверстіемъ по 4 ф. $3^1/_2$ д. Подобные быки встрѣчаются преимущественно въ Англіи. Къ достоинствамъ ихъ слѣдуетъ причислить болѣе быстрое высыханіе кладки; слабую же сторону составляетъ относительная дороговизна единицы объема кладки.

Многоэтажныя опоры. Тонкіе высокіе быки связываются по высотѣ въ различныхъ мѣстахъ арками и образуютъ нѣсколько этажей (фиг. 138 и 139, табл. 16); этими арками пользуются иногда для проложенія по нимъ дороги, оставляя соотвѣтственныя отверстія въ быкахъ. Обыкновенно многоэтажные быки устраиваются при высотѣ віадука болѣе 17—20 саженъ.

Иногда же не дѣлаютъ связей между тонкими быками, какъ напр., въ аркахъ Сполетскаго водопровода (фиг. 140, табл. 16), гдѣ высота до пятъ арокъ составляетъ 89 м. при общей высотѣ сооруженія въ 132 м. Большинство віадуковъ, построенныхъ въ Англіи, не смотря на значительную высоту, также одноэтажные, какъ напр. віадуки: Lock-wood (41,48 м.), Dee (45,00 м.), New-Castle (46,00 м.) и Rouchat (55 м.) (показанныя высоты относятся къ полной высотѣ сооруженія). Нѣкоторые инженеры высказываются противъ многоэтажныхъ опоръ, такъ какъ сбереженія, получаемыя отъ уменьшенія сѣченія опоръ, расходуются на дополнительные своды. Кромѣ того увеличивается площадь, подверженная дѣйствію вѣтра, и опоры ослабляются галлереями, хотя съ другой стороны осмотръ и ремонтъ опоръ значительно облегчается. Вообще быки акведуковъ имѣютъ меньшіе размѣры сравнительно съ быками віадуковъ, такъ какъ смежныя арки подвергаются одинаковой нагрузкѣ.

Въ указанномъ на фиг. 139, табл. 16 примѣрѣ быкъ двухэтажный и состоитъ изъ прямоугольнаго однообразной длины столба, болѣе толстаго въ нижней половинѣ. Для увеличенія боковой устойчивости каждый быкъ снабженъ двумя контрфорсами, доходящими до уровня пятъ арокъ второго этажа и болѣе тонкими, чѣмъ тѣло быка. Въ уровнѣ пятъ быкъ обнесенъ карнизомъ. На горизонтальную

поверхность забутки соединительныхъ арокъ 2-го этажа опирается рядъ тонкихъ быковъ (по три на пролетъ), перекрытыхъ арками. Эти арки съ забуткой образуютъ дно прямоугольнаго канала водопровода, ограниченнаго съ боковъ стѣнками. Въ уровнѣ горизонтальной забутки арокъ перваго и второго этажа устроены сводчатыя отверстія въ быкахъ, обезпечивающія сообщеніе по забуткѣ надъ сводами.

На фиг. 138, табл. 16, и на рис. 8 изображенъ віадукъ въ долинѣ Гольтшъ съ многоэтажными опорами, вышиною 37,77 саж. Толщина опоръ постепенно увеличивается книзу, такъ что величина отверстія наибольшая (46 ф.) въ четвертомъ этажѣ и наименьшая внизу. Длина опоры по этажамъ различная и наименьшая — вверху. Въ 1-мъ, 2-мъ и 3-мъ этажахъ смежныя опоры соединены парными арками, перекрытыми плитами. Арка верхняго этажа—одиночная—поддерживаетъ желѣзнодорожный путь. Въ тѣлѣ опоры для уменьшенія кладки сдѣланы сквозныя отверстія. По серединѣ віадука имѣется одно большое отверстіе величиною 100 ф., перекрытое аркою только въ уровнѣ второго и четвертаго этажей. Вслѣдствіе различія въ величинѣ смежныхъ пролетовъ, быки, ближайшіе къ большому пролету, сдѣланы болѣе толстыми.

Быки Спалетскаго водопровода (фиг. 140, табл. 16). при высотѣ опоръ 426,5 ф. до ключа свода и при величинѣ пролета въ 70 ф., перекрытаго стрѣльчатымъ сводомъ, отличаются незначительными поперечными размѣрами. Поверхъ гориз. поверхности забутки арокъ установленъ рядъ тонкихъ быковъ, (по три на пролетъ), на которые опираются стрѣльчатыя арки, поддерживающія каналъ водопровода.

Въ быкахъ каменныхъ арочныхъ мостовъ помѣщаютъ иногда гончарныя или чугунныя трубы для стока воды съ мостового полотна; діаметръ трубъ около 4—6 д. (фиг. 132 и 133 табл. 15).

Верхъ быка обносится карнизомъ только со стороны головъ (фиг. 123, табл. 15) или по всему периметру (фиг. 127, табл. 15). То же дѣлается и въ верхнемъ уровнѣ выступающей части головы (фиг. 122 и 129, табл. 15) и въ уровнѣ пятъ арочныхъ мостовъ (фиг. 131*б* и 132, табл. 15).

Въ городскихъ мостахъ выступающими головами быковъ, предолженными до верху, пользуются для мѣстнаго уширенія тротуаровъ, съ цѣлью установить скамейки, фонари (Николаевскій мостъ въ Петербургѣ). Иногда эти выступы поддерживаются колоннами или фигурами, опирающимися на головы быковъ.

При двухрукавныхъ поворотныхъ мостахъ, для защиты фермъ при разведенномъ положеніи моста отъ навалки на нихъ судовъ, устраиваются съ верховой (рис. 103 и 132′), а иногда и съ низовой стороны быка (рис. 446) поворотнаго моста особыя приспособленія въ видѣ упругихъ заплывей, понтоновъ или въ видѣ ряда палъ, обшитыхъ досками или брусьями и связанныхъ въ горизонтальномъ и вертикальномъ направленіи связями (рис. 446).

Въ Троицкомъ мосту въ Петербургѣ съ верховой стороны круглаго быка (рис. 455) будетъ устроенъ особый быкъ-ледорѣзъ, состоящій собственно изъ ледорѣза и изъ задней очень короткой части быка такой толщины, что на нее могутъ опереться лишь двѣ среднія фермы при разведенномъ положеніи моста. На быкѣ будутъ установлены компрессоры и особыя приспособленія для закрѣпленія въ горизонтальномъ направленіи концовъ двухъ фермъ на случай вѣтра, а также электрическій фонарь въ видѣ маяка. Кромѣ того быкъ этотъ будетъ служить одной изъ опоръ для упругихъ заплывей; другой для нихъ опорой будетъ круглый быкъ. Заплывей же предполагается проектировать въ видѣ нѣсколькихъ рядовъ—въ горизонтальномъ направленіи—брусьевъ на плаву, расположенныхъ по направленію касательному къ круглому быку и къ быку-ледорѣзу; образующіеся такимъ образомъ два пояса заплывей будутъ раскошены раскосами и связаны тягами, такъ что образуется родъ фермы Гау. Заплывы продолжатся и съ низовой стороны на длину, равную длинѣ фермъ. По другому варіанту—заплывы предполагается замѣнить металлическими понтонами.

На рис. 446 показаны устройства, обезпечивающія фермы разводного пролета отъ навалки на нихъ судовъ, примѣненныя въ желѣзнодорожномъ мосту черезъ р. Миссисипи близъ Альтоны въ

Иллинойсѣ *). Мостъ о 9 пролетахъ; 6 пролетовъ по 214 ф., одинъ въ 364 ф. и два пролета по 227 ф. въ свѣту, перекрытые двухрукавной фермой. Быкъ поворотнаго моста имѣетъ квадратное очертаніе по 40 ф. въ сторонѣ въ основаніи и по 36 ф. вверху; быкъ основанъ на сваяхъ, расположенныхъ на взаимномъ разстояніи въ 2,5 ф. и перекрытыхъ насадкою и тремя сплошными рядами брусьевъ, на которыхъ возведена кладка; сваи расположены въ квадратѣ по 45 ф. въ сторонѣ. Съ верховой стороны устроенъ быкъ-ледорѣзъ, толщиною нѣсколько менѣе толщины квадратнаго быка; отъ центра круга катанія до задней грани быка-ледорѣза—220 ф.; на всемъ этомъ протяженіи забито два ряда свай, обшитыхъ на высоту 30 ф.—толстыми дубовыми досками 12 д.$\times 4^1/_2$ д.; разстояніе между рядами 34 ф., а между сваями 6 ф.; затѣмъ примѣрно чрезъ каждые 30 ф. размѣщены поперечные ряды свай, по 9 свай въ ряду на протяженіи 34 ф., и наконецъ внутри каждаго отдѣленія забито

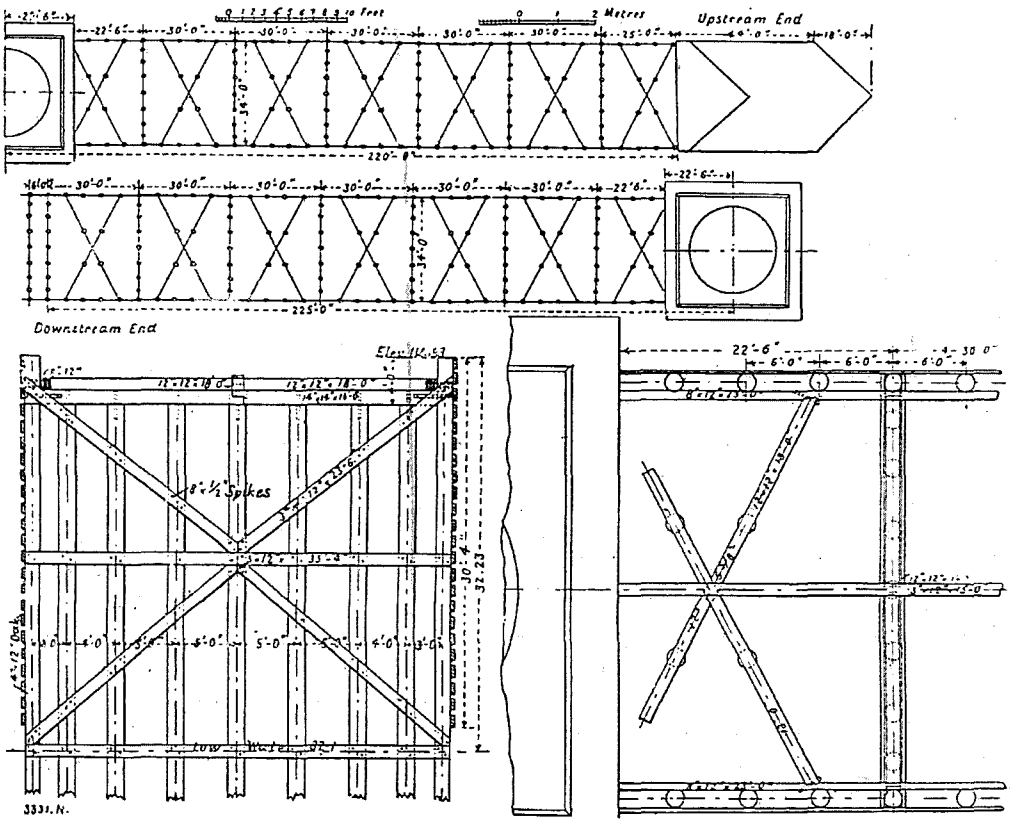


Рис. 446. — Охранное приспособленіе противъ навалки судовъ на фермы разводного пролета моста черезъ р. Миссисипи близъ Альтоны (въ фут.).

еще по четыре сваи, по направленію двухъ взаимно пересѣкающихся наклонныхъ линій. Поперечные ряды свай покрыты насадками, пригвожденными къ сваямъ, и обжаты двумя горизонтальными и восемью наклонными полусхватками. Такимъ приспособленіемъ каждому поперечному ряду придана достаточная жесткость; для увеличенія сопротивленія остальныхъ свай продольныхъ рядовъ противъ навалки судовъ, сваи обонхъ рядовъ росперты рамой, сѣченія 8 д.$\times$12 д., опирающейся на насадки поперечныхъ рядовъ и прислоненной къ продольнымъ рядамъ свай съ внутренней стороны; жесткость рамы обезпечивается двумя діаметральными распорками, опирающимися въ средней части на сваи.

Приведемъ нѣсколько примѣровъ быковъ балочныхъ и арочныхъ мостовъ.

На фиг. 127, табл. 15, изображенъ быкъ віадука Kocher въ Вюртембергѣ, высотою 36 мет. съ пролетнымъ строеніемъ балочной системы (неразрѣзныя трехпролетныя фермы по 71,46 мет.) подъ два пути. Сѣченіе быка вверху представляетъ прямоугольникъ; плоскія боковыя и торцевыя грани верхней части быка имѣютъ одинаковый уклонъ до цоколя; въ предѣлахъ цоколя уклонъ круче въ $\frac{1}{15}$; острыя ребра скошены по всей высотѣ опоры, такъ что сѣченія быка, за исключеніемъ вер-

*) Engineering. 1896.

шины, представляютъ восьмиугольникъ, у котораго четыре стороны имѣютъ перемѣнную величину; въ нижней части цоколя—двѣ выступающія головы, ограниченныя отвѣсной цилиндрической поверхностью; верхъ каждой головы прикрытъ конической шапкой.

На фиг. 128, табл. 15 изображенъ быкъ Нигулецкаго віадука на Екатерининской жел. дор. высотою 17,97 с., подъ одинъ путь. Размѣры прямоугольнаго сѣченія быка въ вершинѣ подъ первымъ поясомъ карниза: 1,90 с. × 3,35 с.; уклонъ граней $\frac{1}{15}$; ребра—скошенныя, такъ что по всей высотѣ быка, за исключеніемъ вершины, сѣченіе представляетъ восьмиугольникъ; длина и толщина тѣла быка внизу 5,08 с. и 3,63 с. При переходѣ къ цоколю размѣры увеличены на 0,20 с., т. е. длина и ширина 5,28 с. и 3,83 с.; грани цоколя отвѣсныя. Цоколь опоры опирается на фундаментъ прямоугольнаго сѣченія 4,05 с. × 5,50 с. съ закругленными ребрами, заложенный на кессонномъ основаніи. Вершины опоры обнесены нѣсколькими поясами карниза, общей высотою 1,75 с., при чемъ наибольшій свѣсъ карниза составляетъ 0,15 с. Высота подферменныхъ камней 0,25 с., размѣровъ 0,80 с. × 0,80 с., такъ что толщина опоры въ уровнѣ подферменныхъ камней 1,60 с.

На фиг. 130. табл. 15 представленъ двухпролетный по $l = 48$ м. віадукъ на С.-Готардской жел. дорогѣ на уклонѣ ($i = 0{,}026$) и на кривой ($R = 300$ м.). Оба устоя принадлежатъ къ типу устоевъ-віадуковъ, при чемъ устой I, съ промежуточнымъ быкомъ, вдается въ скалу до самаго верха, такъ что не имѣется сопряженія съ насыпью. Устой I расположенъ на кривой $R = 300$ м., а другой устой на кривой $R = 278{,}25$ м., вслѣдствіе чего продольныя грани устоевъ и быковъ взаимно не параллельны; отверстія, перекрытыя сводами, составляютъ 6 м. въ одномъ устоѣ и 7 м. въ другомъ. Средній быкъ, поддерживающій металлическое строеніе, имѣетъ высоту 43,5 м., изъ которыхъ на цоколь приходится 6,5 м.; въ скалу фундаментъ онущенъ на глубину 7,5 м. Горизонтальное сѣченіе опоры по всей высотѣ представляетъ прямоугольникъ, размѣровъ: 3 м. × 5,5 м.—въ вершинѣ и въ уровнѣ цоколя 5,88 м. × 8,38 м. Уклоны граней по высотѣ неоднообразны, постепенно увеличиваясь отъ вершины чрезъ каждые 10 м., а внизу чрезъ 7 м., составляя: 0,021, 0,03, 0,047 и 0,076. При переходѣ къ цоколю сдѣланъ небольшой скошенный уступъ, и гранямъ цоколя приданъ еще большій уклонъ; основаніе цоколя 8,46 × 10,66 м.; фундаментъ въ предѣлахъ высоты 7,5 м. выведенъ тремя уступами, при чемъ въ уровнѣ подошвы основанія размѣръ быка 10,12 м. × 12,62 м.

На фиг. 129, табл. 15, представленъ быкъ балочнаго моста черезъ р. Рейнъ близъ Гермерсгейма, подъ два пути, при величинѣ каждаго изъ трехъ пролетовъ по 90 м. Начиная отъ подошвы кессоннаго основанія до уровня на 1 м. выше горизонта высокихъ водъ, быкъ представляетъ въ планѣ прямоугольникъ съ двумя треугольными выступающими головами, съ закругленными плечами. Выше этого горизонта сѣченіе быка прямоугольное съ весьма незначительнымъ уклономъ граней. Длина быка въ уровнѣ подошвы основанія : 21,14 м. и толщина : 5,478 м. Выше рабочей камеры сдѣланъ первый уступъ въ 0,285 м. при сохраненіи отвѣсныхъ граней, слѣдующій черезъ 4,509 м.; затѣмъ грани быка сохраняются отвѣсными по высотѣ 2,60 м.; далѣе имъ приданъ перемѣнный уклонъ, въ среднемъ около 0,035, на протяженіи 8,925 м., такъ что на этомъ горизонтѣ длина быка 19,368 м., а толщина 4,078 м.; затѣмъ слѣдуетъ поясъ карниза толщиною 1,10 м. съ наибольшимъ вѣсомъ въ 0,601 м., цоколь верхней части быка высотою 0,7 с., размѣровъ: 4,10 м. × × 13,50 м., и наконецъ, верхняя часть быка, высотою 5,5 м., размѣровъ: внизу 3,8 × 13,2 м., а вверху 3,6 м. × 13,0 м. Сопряженіе выступающей головы быка съ отвѣсною поперечной гранью верхней части быка сдѣлано помощью двухъ выпуклыхъ поверхностей, пересѣкающихся по оси быка. Верхняя часть быка съ торцевой стороны окаймлена карнизомъ и парапетомъ. Подъ подферменными камнями, подъ верхней частью быка и надъ потолкомъ кессона проложены прокладные ряды. Для приданія бо́льшей неизмѣняемости верхней части быка четыре ряда камней ниже подферменныхъ камней взаимно соединены парапетами. Опора не имѣетъ металлической обшивки (рубашки) выше рабочей камеры; кладка на растворѣ—1 ц. : 1 п., выведенная съ такимъ расчетомъ, чтобы она всегда была около сутокъ выше поверхности воды и успѣла достаточно окрѣпнуть.

На фиг. 142, табл. 16, представленъ быкъ прежняго деревяннаго арочнаго Уиллингтонъ-Донскаго семипролетнаго путепровода, съ наибольшимъ пролетомъ въ 128 ф. Быкъ основанъ на сваяхъ; нижняя часть до уровня пятъ имѣетъ прямоугольные перекрытые колодцы, заполненные бетономъ и не приходящіеся противъ арочныхъ фермъ; остальная часть кладки выведена изъ тесовыхъ камней, связанныхъ пиронами надъ колодцами; толщина быка въ уровнѣ пятъ 13 ф., при чемъ на толщину стѣнки выше пятъ приходится 7 ф. 10 д.; вверху толщина стѣнки 6 ф. 2 д.;

для связи камней примѣнены мѣстами пироны; въ верхней части опоры задѣланъ штырь, къ которому прикрѣплены горизонтальные прогоны моста. Каменная кладка быка выше пятъ арки не только служитъ опорой для верхняго прогона, но въ нее также упираются распорки, содѣйствующія увеличенію жесткости досчатой арки.

На фиг. 141 показанъ быкъ деревяннаго арочнаго Нарвскаго моста; въ быкѣ устроены гнѣзда (втопленныя подпятныя площадки), въ которыя вставлены чугунныя коробки для упора пятъ арочныхъ фермъ.

На фиг. 143, табл. 16, изображенъ быкъ Троицкаго моста черезъ р. Неву въ Петербургѣ, поддерживающій арочныя трехшарнирныя металлическія фермы со свѣсами (системы Батиньоля). Въ виду значительнаго односторонняго распора, кривая давленія далеко уклоняется отъ осевой вертикали, вслѣдствіе чего толщина быка сдѣлана несимметричной относительно продольной оси быка. Въ основаніи утолщеніе быка съ 8 м. до 13,85 м. сдѣлано не по всей длинѣ быка, а лишь на протяженіи 23,10 м., отвѣчающемъ ширинѣ полотна, поддерживаемаго 8-ю фермами. Отъ основанія до горизонта на 2,13 м. ниже ординара быкъ снабженъ головами, описанными радіусомъ 4 м., имѣющими одна длину 4 м., а другая, гдѣ приходится ледорѣзъ—7,90 м. Толщина 13,85 м. сохраняется на высоту 8 м., затѣмъ постепенно уменьшается до 8 м. на высотѣ 12,640 м., при сохраненіи одной грани вертикальной. На указанномъ горизонтѣ (2,13 м. ниже ординара) заложено тѣло быка, толщиною 7 м., уменьшающееся на высотѣ 3,75 м. до 6,30 м. Вершина опоры обдѣлана двумя горизонтальными площадками на разныхъ уровняхъ, соединенныхъ наклонной гранью; пересѣченіе наклонной грани съ нижней горизонтальной площадкой сдѣлано на разстояніи 4,5 м. отъ заднаго края, въ сторону котораго направленъ распоръ. Нижняя горизонтальная площадка и наклонная грань служатъ подфермеными площадками, на которыя установлены подпятныя чугунныя подушки съ упирающимся на нихъ шарниромъ балансира арки. Въ виду того, что толщина 4,5 м. въ уровнѣ пятъ недостаточна для сопротивленія срѣзыванію, гранитная кладка до уровня на 4,4 м. ниже пятъ сдѣлана наклонными рядами, уклонъ которыхъ постепенно уменьшается, составляя съ кривой давленія уголъ, меньшій угла тренія. На головахъ быка выше уровня подферменной площадки выведены коническія возвышенія.

На фиг. 144, табл. 16 показаны быки моста Mirabeau въ Парижѣ, поддерживающіе арочныя фермы съ не вполнѣ свободными свѣсами; величина главнаго пролета 99,34 мет. при стрѣлѣ въ 7,91 м, а свѣсовъ по 17,05 м. Толщина быка вверху 6,80 м., а на разстояніи 4,21 м. ниже уровня пятъ толщина увеличивается до 10 м. и сохраняется безъ измѣненія до подошвы основанія, опущеннаго на глубину 12,61 м. ниже дна рѣки. Въ утолщенной части быка, длиною 28 м., для уменьшенія объема кладки сдѣлано шесть овальныхъ пустотъ и двѣ цилиндрическія круглыя пустоты, перекрытыя сводами; размѣры пустотъ, 5 м. по верху, уменьшаются близъ потолка кессона до 3,5 м.; въ другомъ направленіи размѣры пустотъ : 3,5 м. вверху и 2,5 м. внизу; діаметръ круглыхъ пустотъ : 2 м.; наименьшая толщина стѣнки между пустотами : 1,5 м. Пустоты начинаются на уровнѣ 1,2 м. выше потолка. Высота рабочей камеры : 2 м.; высота рѣшетчатыхъ поперечныхъ балокъ надъ потолкомъ кессона : 1 м. Кессонъ былъ спущенъ съ берега на полозьяхъ по наклонной плоскости. Подъ чугунной подушкой уложено три наклонныхъ ряда штучныхъ камней.

На рис. 447 показанъ быкъ моста Kistna *) въ Индіи въ 12 пролетовъ по 300 ф. = 42,86 с. Рѣка Kistna, длиною 800 миль, впадаетъ въ Индійскій океанъ и имѣетъ площадь бассейна въ 97.000 кв. англ. миль. Рѣка эта, шириною до 5000 ф. и съ расходомъ въ 800.000 куб. ф. въ секунду, несетъ значительное количество мути, около $\frac{1}{432}$ объема, достаточное для образованія ежедневно слоя наноса толщиною въ 1 ф., при площади въ 5 кв. миль. Близость моста отъ каменной плотины $\left(\frac{3}{4}\text{ мили}\right)$ и опасеніе за возможность прорыва ея побудило дать мосту значительное отверстіе. Пролетное строеніе — раскосной системы съ параллельными поясами; поперечныя балки поддерживаютъ три рельса, отвѣчающіе ширинѣ колеи въ 5 ф. 6,5 д. и въ 1 м. Поверхъ каждаго изъ верхнихъ поясовъ устроенъ тротуаръ для пѣшеходовъ, шириною въ 4 ф., огражденный съ двухъ сторонъ перилами, высотою 4 ф. 7 д. Входъ на тротуаръ устроенъ по винтовой наружной и внутренней лѣстницѣ въ башняхъ устоевъ. Каждый изъ быковъ основанъ на двухъ сопряженныхъ осьми-

*) Engineering. 1896.

угольныхъ опускныхъ колодцахъ, при толщинѣ стѣнокъ въ 5 ф. 6 д. Длина быка въ уровнѣ основанія: 38 ф., толщина: 21 ф. 9 д., высота колодцевъ: 69 ф. Толщина и длина тѣла быка измѣняется уступами и составляетъ вверху 13 ф. и 38 ф. Подферменные камни, втопленные въ кладку, представляютъ массивы изъ цементнаго раствора 1 цем. : 1 пес. Колодцы и тѣло быка выведены изъ мѣстнаго камня съ временнымъ сопротивленіемъ 1300 тон. на кв. ф. $\left(\text{около } 540 \frac{\text{пуд.}}{\text{дм.}^2}\right)$; толщина рядовъ: 6 д.—8 д.; количество употребленнаго цемента составляло—2 бочки (по 10 пуд.) на 100 куб. ф. кладки, т. е. около 7 бочекъ на куб. саж. кладки. Составъ цементнаго раствора—1 : 1 въ нижней части, при переходѣ къ верхнимъ частямъ опоры постепенно измѣнялся до 1 ц. : 5 п. Тѣло быка сложено на извѣстковомъ растворѣ съ присоединеніемъ цемянки въ составѣ: 3 изв. : 2 цем. : 4 пес. Известь смѣшивалась въ негашеномъ состояніи насухо съ цемянкой.

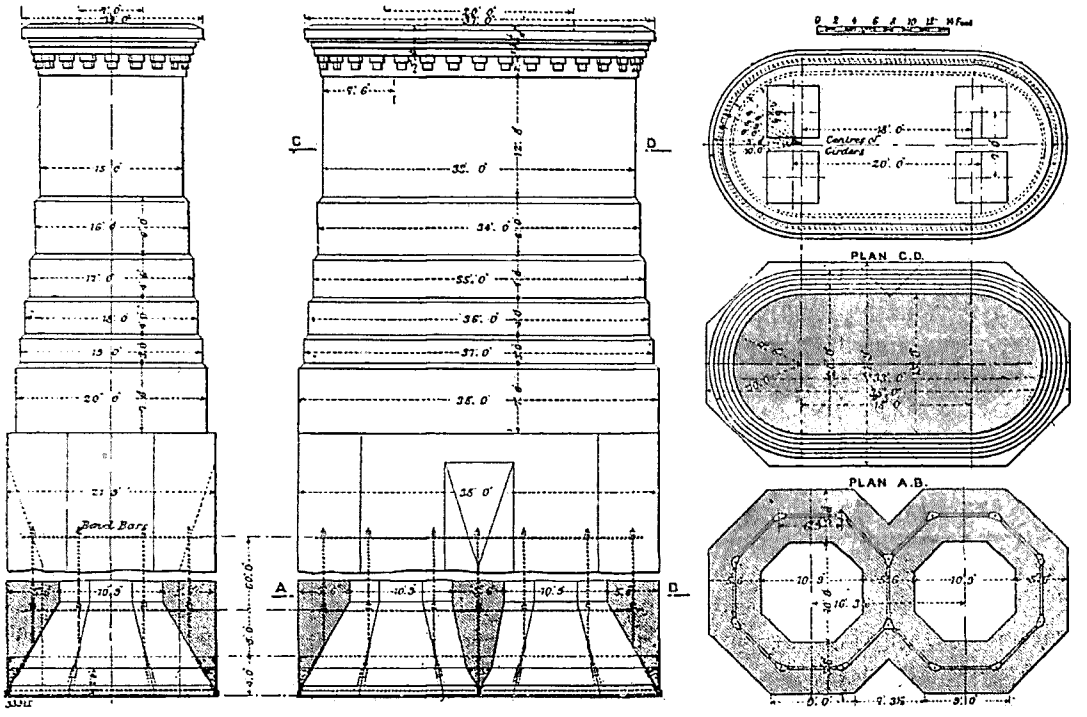


Рис. 447.—Быкъ моста черезъ р. Kistna въ Индіи (въ фут.).

Длина внѣшней стороны колодца 9 ф.; отверстіе колодца: 10 ф. 9 д. Стѣнки колодцевъ заключены въ двѣ металлическія оболочки—наружную и внутреннюю, соединенныя внизу въ видѣ заостреннаго ножа и раскошенныя связями по горизонтальному и вертикальному направленіямъ (рис. 451) (подобно тому какъ это указано на фиг. 306, тб. 43). Наращиваніе колодцевъ происходило отдѣльными поясами высотою 15 ф. Отъ низа металлической оболочки шли сквозь массивъ кладки стѣнокъ 8 металлическихъ тяжей, наращиваемыхъ по мѣрѣ возведенія кладки и взаимно связанныхъ черезъ каждые 15 футъ. Эти тяжи обезпечивали противъ возможнаго разрыва кладки при опусканіи. Чтобы ограничить примѣненіе поптоновъ, для нѣкоторыхъ опоръ были отсыпаны искусственные острова (пріемъ нерѣдко употребляемый въ Индіи), что позволило работать, какъ на сушѣ. Для опусканія колодцевъ и извлеченія грунта примѣнялись три пріема. Первый (рис. 448) состоялъ въ извлеченіи грунта бадьями, объемомъ до 3 куб. ф., прикрѣпленными къ канатамъ, перекинутымъ чрезъ два блока: верхній на подмостяхъ, поставленныхъ на опускныхъ колодцахъ и нижній—установленный на поверхности земли. Подъемъ каждой бадьи совершался четырьмя волами, припряженными къ канату. Всего въ каждомъ колодцѣ одновременно находилось по 8 бадьи. Послѣ погруженія на 15 ф. подмости разбирались и каменьщики выводили слѣдующій поясъ высотою въ 15 ф. и т. д. Второй пріемъ состоялъ въ извлеченіи грунта помощью черпаковъ, вмѣщающихъ до 40 куб. ф. грунта, навивающихся на валъ, приводимый въ движеніе паровой машиной (рис. 449).

Въ среднемъ на каждый подъемъ черпака приходилось не болѣе 24,6 куб. ф., т. е. около 60% дѣйствительнаго объема. Въ теченіе рабочихъ сутокъ, около 9 часовъ, погруженіе составляло 7 ф. 1 д. Третій пріемъ, употреблявшійся на опорахъ, опущенныхъ съ понтоновъ, состоялъ въ извлеченіи грунта помощью паровыхъ 5 тон. крановъ, установленныхъ на подмостяхъ, на понтонахъ (рис. 450). Грунтъ сбрасывался изъ черпаковъ въ шаланды, поставленныя около понтоновъ; въ теченіе 10 часовъ величина погруженія составляла 11 ф. 3 д. Каждая опора сложена въ срокъ отъ 75 до 133 дней. Въ нѣкоторыхъ случаяхъ примѣнялся динамитъ для взрыва твердой глины, при чемъ опытъ указалъ, что заряды слѣдовало располагать возможно ближе къ краямъ, не переходя, однако, предѣла 4 ф. Треніе о твердую глину было иногда настолько сильно, что приходилось искусственно нагружать колодцы; опредѣленное въ этихъ случаяхъ треніе составляло— отъ 10,5 до 26,4 пуд. на кв. ф. Общая стоимость по опусканію, извлеченію грунта и по кладкѣ составляетъ 68 шил. на 100 куб. ф. всей кладки основанія или около 120 руб. за куб. саж. Нижняя часть колодца была заполнена пескомъ на высоту 10 ф., затѣмъ бетономъ на ту же высоту, послѣ того на высоту 50 ф. щебнемъ, перемѣшаннымъ съ пескомъ, употребленнымъ въ такомъ количествѣ, что всѣ пустоты были заполнены, и наконецъ вверху опять былъ расположенъ слой бетона толщиною 10 ф. Примѣненіе песку для нижняго слоя было вызвано тѣмъ, что по указанію опыта бетономъ нельзя заполнить вполнѣ

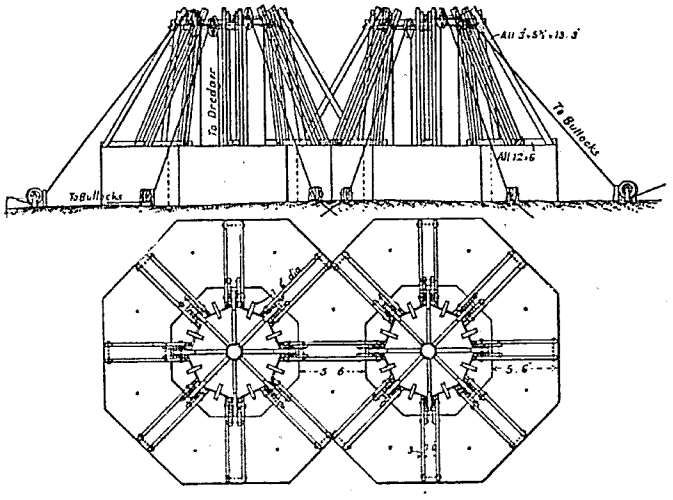


Рис. 448.—Приспособленіе для выемки грунта бадьями изъ опускныхъ колодцевъ основанія быковъ моста черезъ р. Kistna.

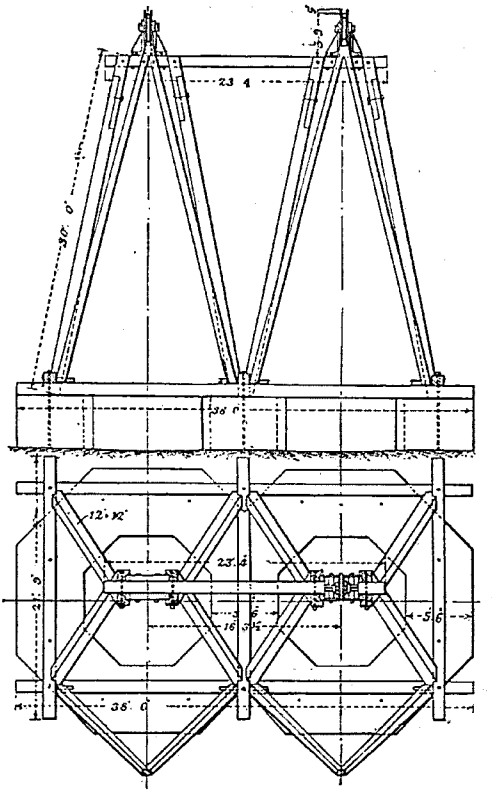


Рис. 449. — Приспособленіе для выемки грунта паровымъ черпакомъ изъ опускныхъ колодцевъ, погружаемыхъ на сушѣ.

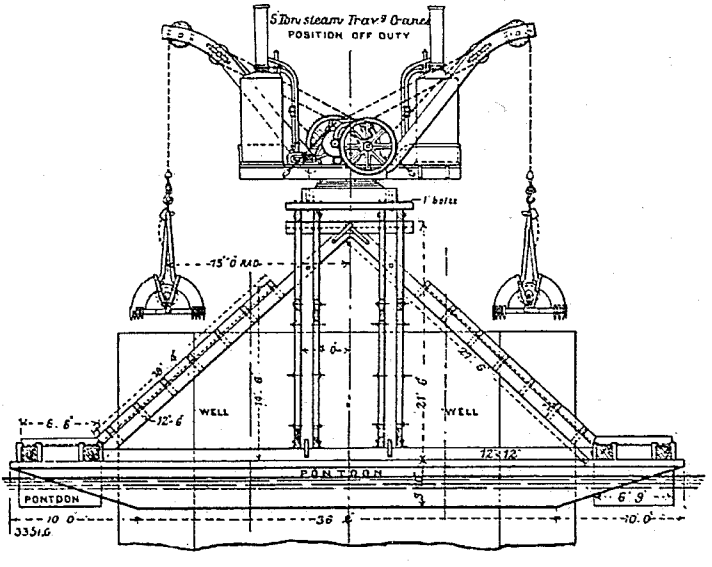


Рис. 450.—Приспособленіе для выемки грунта паровымъ черпакомъ, установленнымъ на подмостяхъ на понтонахъ.

удовлетворительно всѣ пустоты и мало доступныя мѣста; бывали примѣры (какъ напр., при сооруженіи моста чрезъ р. Гангъ), что при бетонномъ заполненіи ядро колодца давало иногда осадку. Устои были выведены на подобныхъ сращенныхъ двухъ парахъ колодцевъ, поставленныхъ подъ угломъ 45° къ продольной оси моста; наименьшее разстояніе между парными колодцами—составляетъ 3 ф. На рис. 450′ показанъ употребленный при сооруженіи этого моста пріемъ для спуска по полозьямъ на воду нижняго звена металлической оболочки съ подъемомъ его и подвѣшиваніемъ къ подмостямъ, установленнымъ на понтонахъ. Цѣпи, помощью которыхъ подвѣшено было кольцо, шли съ наружной стороны и закапчивались крюкомъ, подхватывающимъ оболочку за ребро ножа. На томъ же рисункѣ показаны колѣнчатые валы станинъ (числомъ восемь, по четыре въ рядъ), помощью которыхъ приводились въ движеніе валы, на которые навивалась цѣпь, поддерживающая металли-

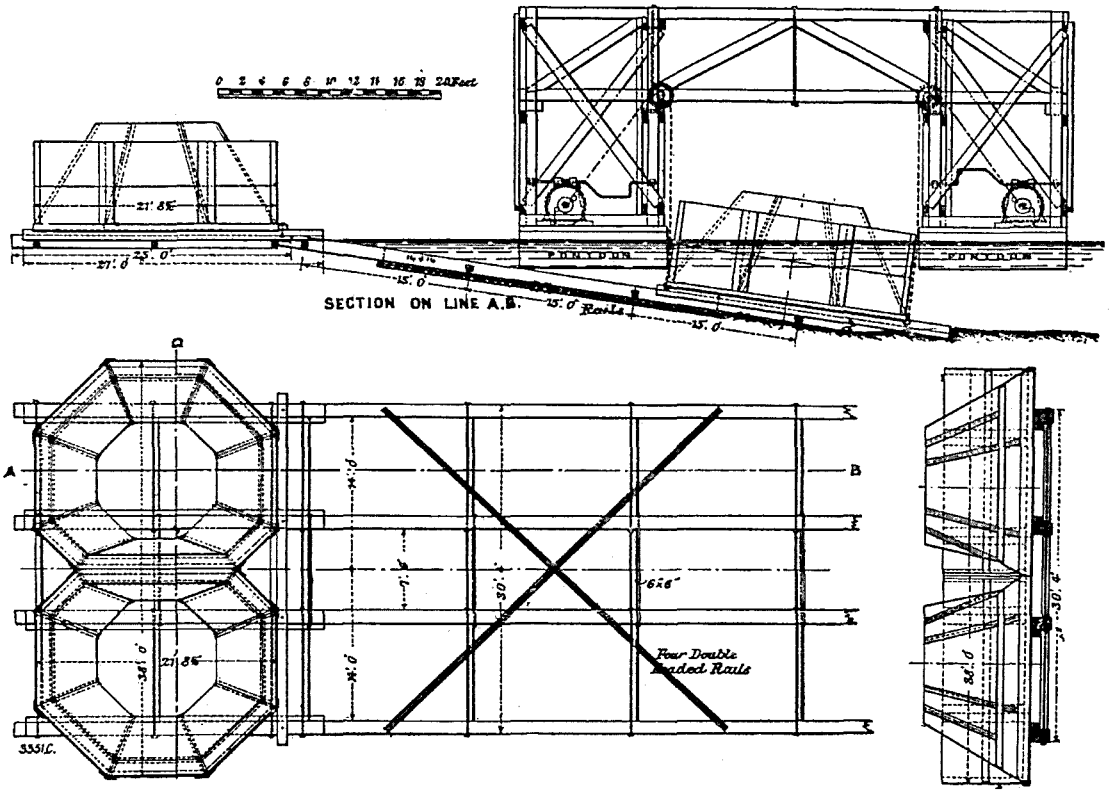


Рис. 450′. — Приспособленіе для спуска на воду металлической оболочки ножа опускныхъ колодцевъ (въ фут.).

ческую оболочку. На рис. 451 показанъ продольный разрѣзъ и планъ металлической оболочки; на рис. 452—деталь прикрѣпленія тяжа; на рис. 453—планъ и разрѣзъ башенъ устоевъ, а на рисункѣ 454—поперечный разрѣзъ фермъ съ тротуарами, устроенными надъ верхнимъ поясомъ фермъ.

На фиг. 145 и 146, таб. 17 показаны быки новаго Диршаускаго моста *) чрезъ р. Вислу; въ немъ 6 пролетовъ по 130,88 м. ось отъ оси. Изображенный на фиг. 145 быкъ относится къ пролетамъ въ предѣлахъ разлива, а на фиг. 146—въ коренномъ руслѣ; они отличаются одинъ отъ другого лишь системами основанія. Въ первой группѣ быковъ основаніе заложено на сваяхъ, покрытыхъ бетоннымъ слоемъ, толщиною 3,80 м.; сваи забиты на глубину 5 м. и впущены на 0,30 м. въ бетонный массивъ. Въ другой группѣ быковъ основаніемъ служатъ два опускныхъ колодца, при толщинѣ стѣнокъ въ 1,16 м., діаметромъ 10,3 м. внизу, 10,0 м. вверху и высотою 7,19 м. Нижнее кольцо оболочки каждаго колодца состоитъ изъ вертик. листа, высотою 20 см., горизонт. листа, шириною 25 см. и уголка 150 × 103 × 13. Толщина каменной оболочки, внизу 0,25 м., увеличивается постепенно до 1,16 м. Наружная поверхность нижней части колодца на высоту 1,8 м. имѣетъ уклонъ

*) Der Bau der neuen Eisenbahnbrücken über die Weichsel bei Dirschau. Berlin. 1896.

1 : 12. Такъ какъ грунтъ состоитъ изъ песку и нельзя было ожидать разрыва кладки, то предохранительныхъ тяжей не было употреблено. Оба колодца, взаимно сближенные внизу до 0,50 м., перекрыты сводомъ—перемѣннаго отверстія и подъема, такъ что ключъ свода постепенно понижается отъ краевъ къ серединѣ. Для предохраненія отъ подмывовъ сдѣланы отсыпи, высотою до 3 м. съ горизонтальной площадкой, шириною 4 м. и съ полуторными откосами; сначала уложены крупные

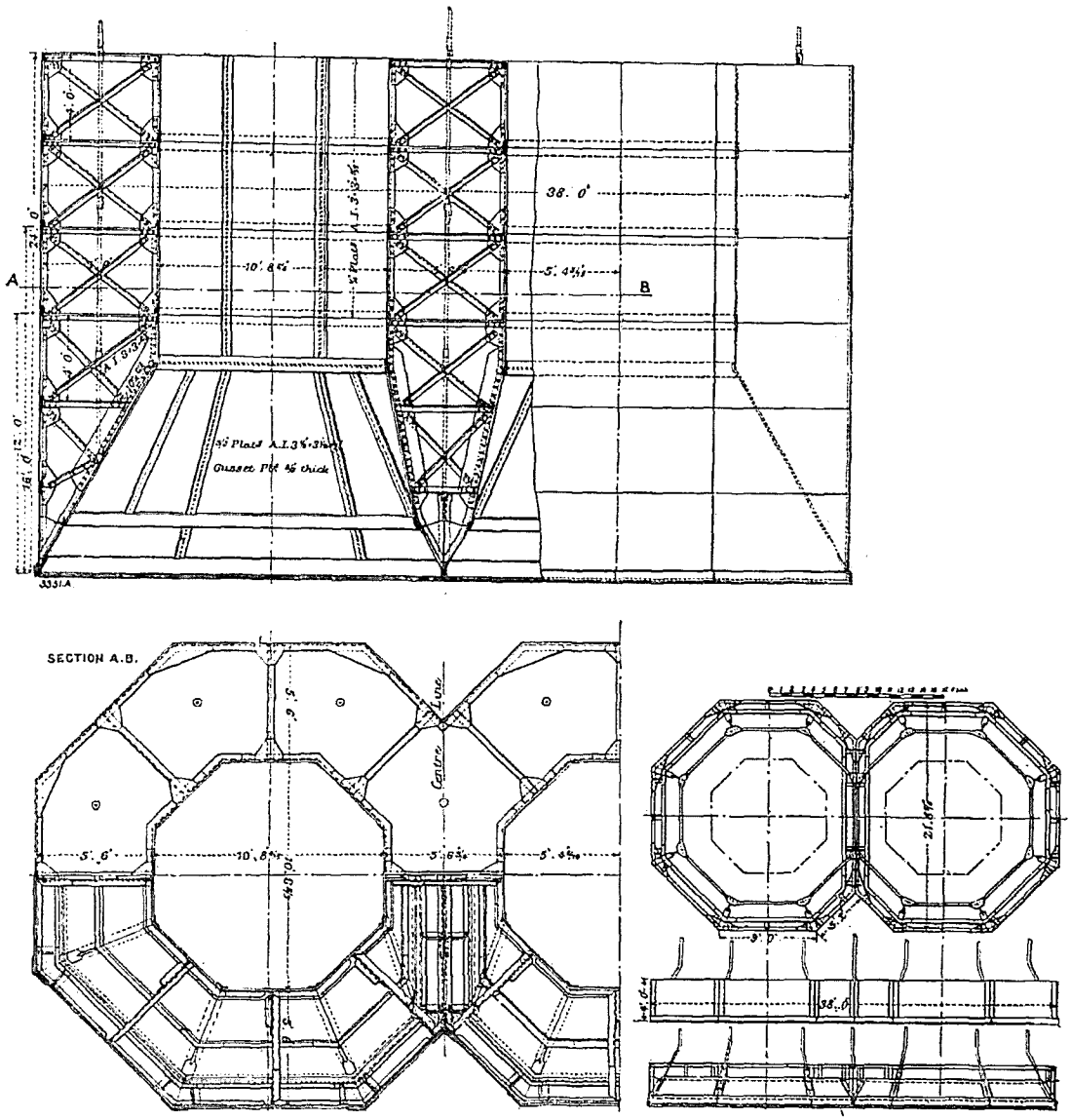


Рис. 451.—Продольный разрѣзъ и планъ металлической оболочки опускныхъ колодцевъ.

камни, затѣмъ кирпичный щебень, а сверху снова крупные камни. Наибольшее напряженіе грунта не превосходитъ: 5,3 $\frac{\text{кил.}}{\text{см}^2}$. Тѣло быка представляетъ въ горизонтальномъ сѣченіи прямоугольникъ съ двумя криволинейными заостренными выступами. Толщина быка въ уровнѣ бетоннаго основанія 8,34 м.; затѣмъ чрезъ 5 рядовъ 7,14 м. и вверху 6 м., что отвѣчаетъ уклону 1 : 18. Такъ какъ пояса фермы криволинейные и проѣзжая часть расположена ниже фермъ, то это вызвало необходимость устройства двухъ взаимно соединенныхъ пилоновъ, служащихъ опорами для фермъ. Для опусканія колодцевъ и вычерпыванія грунта примѣнялись три способа. Первый состоялъ въ примѣненіи качающагося, такъ называемаго индійскаго, черпака; артель изъ 6 ра-

бочихъ вынимала ежедневно отъ 10,5 до 19,00 куб. метр. грунта. Для второго способа вычерпыванія грунта примѣнялся храповой черпакъ (экскаваторъ), съ вертикальнымъ опусканіемъ и подъемомъ. Для удобства перемѣщенія черпака къ верхней площадкѣ стѣнки колодца былъ прикрѣпленъ круговой рельсъ, по которому перемѣщалась платформа въ видѣ поворотнаго круга. На этой платформѣ былъ установленъ воротъ, возможно ближе къ стѣнкѣ колодца, на валъ котораго навивалась цѣпь черпака. Наконецъ, когда оставалось углубить не болѣе 1 м.—примѣняли для опусканія пріемъ быстраго и сильнаго откачиванія воды. При опусканіи одного изъ колодцевъ встрѣтилось по направленію діаметра дубовое дерево толщиною 1,2 м.; водолазами былъ выпиленъ по серединѣ кусокъ дерева, съ тѣмъ, чтобы закрѣпивъ цѣпь къ концамъ, прилегающимъ къ выпиленной части, поднять домкратомъ объ половины, послѣ излома дерева. Послѣ тщетныхъ усилій сломать дерево рѣшено было распилить дерево подъ ножемъ въ наклонномъ направленіи. Съ этою цѣлью установлена была наклонная рама, опиравшаяся однимъ концомъ въ дерево около ножа, а другимъ концомъ — на верхній край колодца. На рамѣ въ трехъ мѣстахъ прикрѣплены были желѣзные шаблоны длиною въ 1,5 м. (соотвѣтственно толщинѣ дерева въ 1,2 м.), въ которыхъ просверленъ былъ рядъ дыръ, діаметромъ 41 мм. и на взаимномъ разстояніи въ 41 мм. Въ отверстія этихъ шаблоновъ поочередно встав-

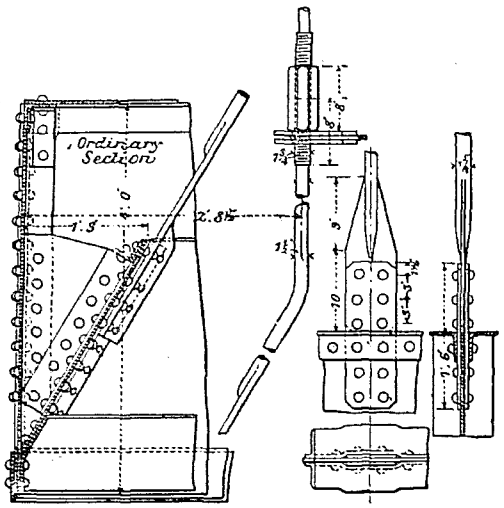


Рис. 452. — Деталь прикрѣпленія тяжа

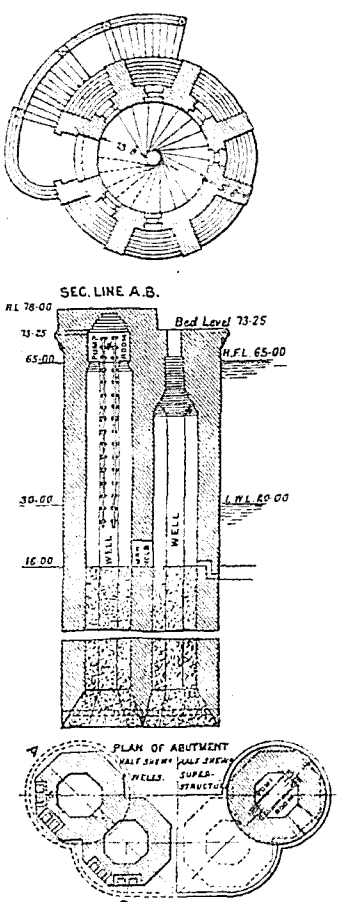


Рис. 453.—Планъ и продольный разрѣзъ устоевъ моста черезъ р. Kistna.

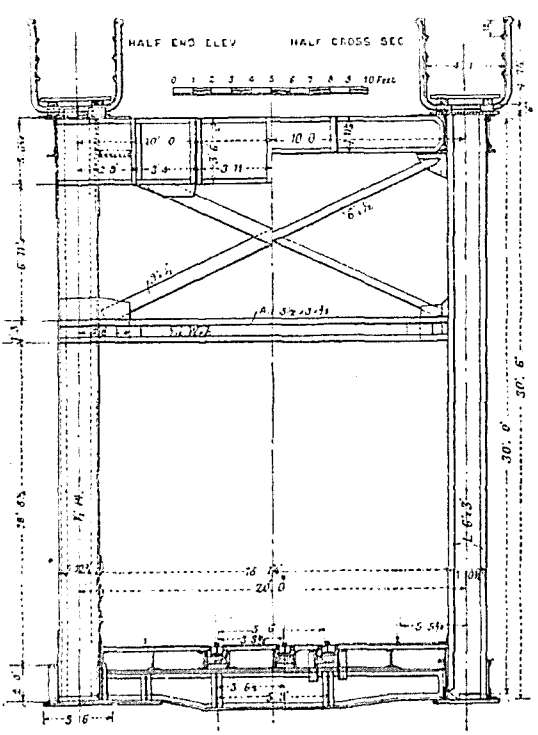


Рис. 454. — Поперечное сѣченіе фермъ моста чрезъ р. Kistna (въ фут.).

лялся водолазами наклонный буравъ, діаметромъ въ 41 мм., приводившійся во вращеніе рабочими на подмостяхъ; буравомъ былъ просверленъ въ деревѣ рядъ отверстій, отвѣчающихъ отверстіямъ въ шаблонахъ. Передвинувъ шаблоны на 41 мм., просверлили оставшіеся промежутки между отверстіями въ деревѣ и такимъ образомъ дерево было просверлено во всю ширину ствола въ наклонномъ направленіи, соотвѣтственно уклону нижняго края стѣнки колодца. Послѣ этой работы не составляло уже особаго затрудненія сломать и поднять дерево домкратомъ. Пробуравливаніе дерева заняло почти двѣ недѣли времени. Колодцы заполнены бетономъ, который приготовлялся на берегу въ особыхъ бетоньеркахъ. Сначала перемѣшивали въ барабанѣ растворъ; готовый растворъ рабочіе подавали въ барабанъ бетоньерки, куда одновременно забрасывали въ установленной пропорціи щебень. Перемѣшанный бетонъ вывалился въ откидные вагончики и подвозился къ мѣсту работъ. Для погруженія бетона пользовались тою же вращающейся платформой, которая служила для вычерпыванія грунта. Бетонъ погружался въ двухстворчатыхъ ящикахъ помощью ворота и располагался слоями, концентрическими кругами. По затвердѣніи бетона вода была откачена, поверхность очищена и начата кирпичная кладка. Что касается опоръ на свайномъ основаніи, то по забивкѣ одиночныхъ шпунтовыхъ рядовъ было произведено вычерпываніе грунта экскаваторомъ, который перемѣщался на телѣжкѣ, поставленной въ свою очередь на рельсовый путь, что давало возможность подводить экскаваторъ къ любому мѣсту внутри огражденнаго пространства. Затѣмъ были забиты грунтовыя сваи и срѣзаны на опредѣленномъ уровнѣ. Для ускоренія забивки свай пользовались вымываніемъ грунта, прикрѣпляя къ парной сваѣ металлическую трубку, въ которую нагнеталась вода изъ насоса, приводимаго въ движеніе локомобилемъ. Подобнымъ пріемомъ парныя сваи сѣченія 26 × 26 вогнались на глубину до 10 м. Погруженіе бетона производилось помощью желѣзной трубы, длиною 7,65 м., шириною 0,7 м., снабженной въ нижнемъ концѣ двумя деревянными катками, діаметромъ 30 сант. Труба была подвѣшена къ телѣжкѣ, поставленной на подмостяхъ поперекъ быка и могла перемѣщаться вдоль телѣжки. Эта послѣдняя въ свою очередь могла быть передвигаема вдоль быка. Бетонъ располагался рядами, параллельными продольной оси быка. Труба состояла изъ нижней постоянной и верхней съемной части, которая была составлена изъ пяти звеньевъ по 0,63 м., отвѣчающихъ толщинѣ каждаго изъ слоевъ бетона. Закрывъ нижній конецъ, наполняли трубу до верха бетономъ и затѣмъ начинали медленно передвигать трубу, постоянно добавляя свѣжій бетонъ и наблюдая, чтобы поверхность бетона никогда не опускалась ниже уровня воды. Послѣ того, какъ былъ погруженъ бетонъ, слѣдовало начать бутовую кладку; не надѣясь на успѣшную откачку воды при одиночномъ шпунтовомъ рядѣ, на неокрѣпшемъ еще бетонѣ установлена была внутренняя шпунтовая стѣнка, для чего поставлены были маячныя стойки, соединенныя попарно двумя рядами парныхъ схватокъ (вверху и внизу), которые прикрѣплялись болтами, допускавшими вращеніе на подобіе шарнировъ;

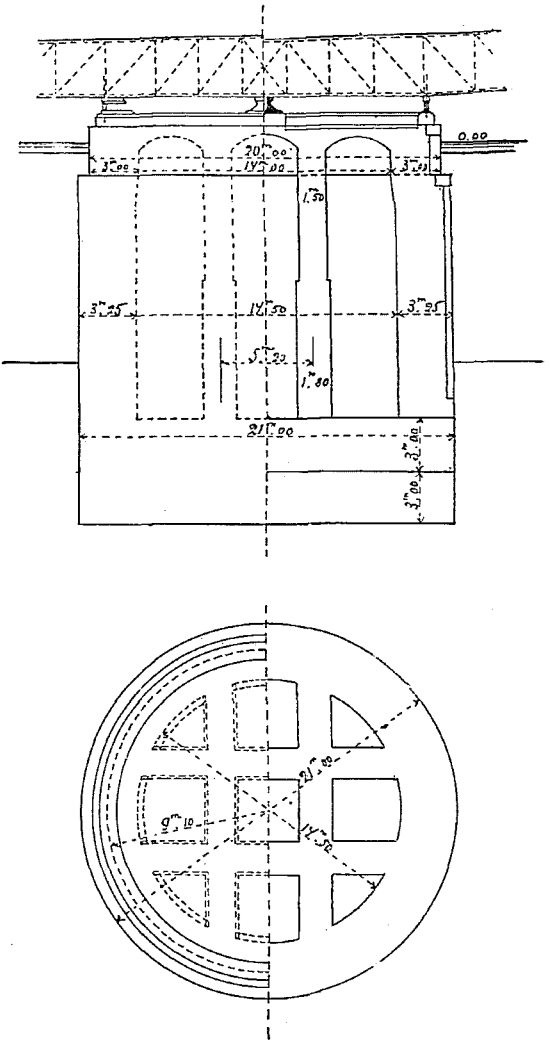


Рис. 455.—Быкъ поворотной части Троицкаго моста въ Петербургѣ (въ метр.).

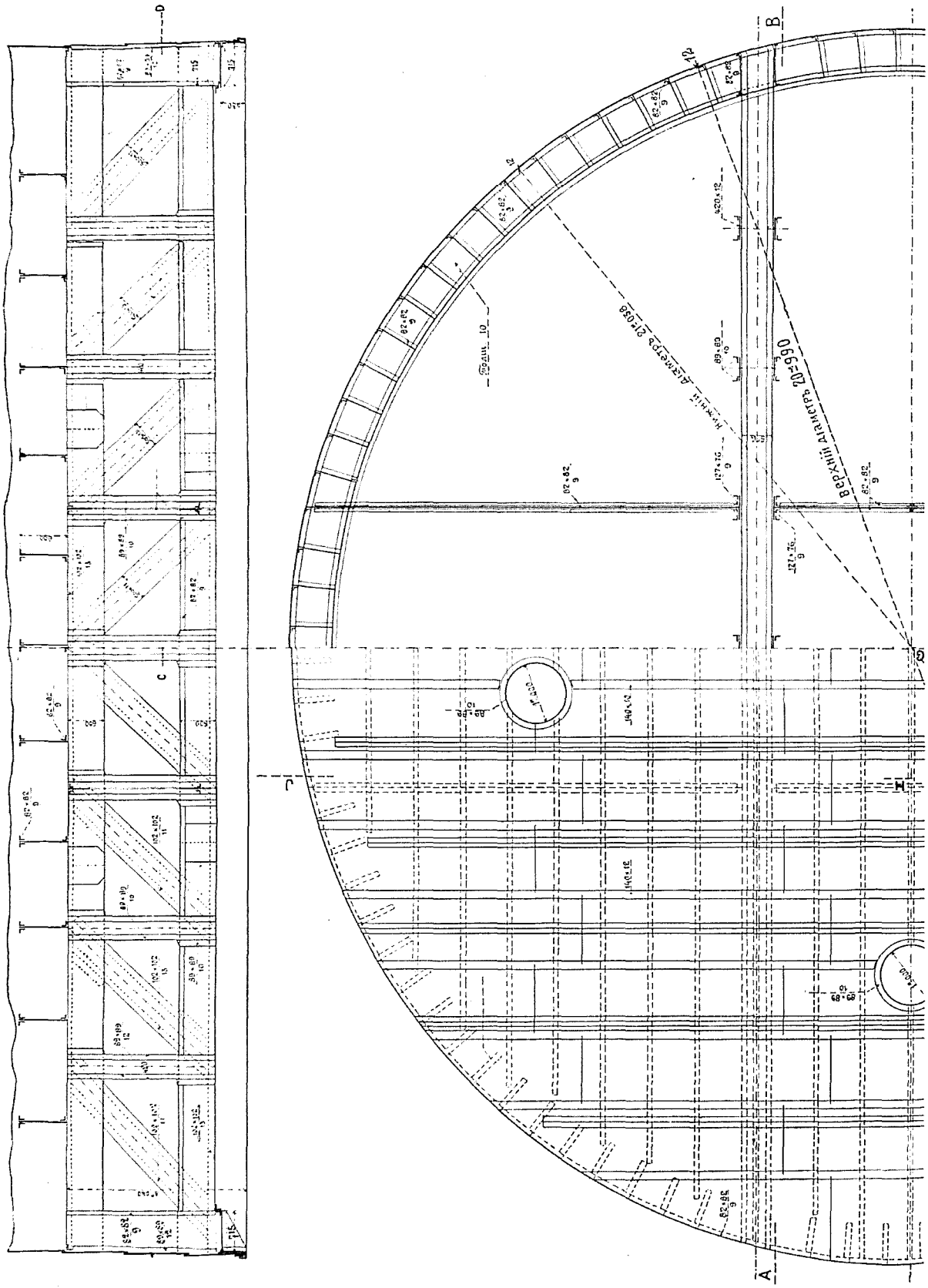


Рис. 456.—Планъ и разрѣзъ рабочей камеры кессона быка поворотной части Троицкаго моста (въ метр.).

между схватками забиты доски, и промежутокъ между стѣнками заполненъ мелкимъ пескомъ. Чтобы предупредить возможность вымыванія песка, наружный шпунтовый рядъ до погруженія бетона былъ обтянутъ просмоленной парусиной, такъ что нижній конецъ паруспны спускался на 1 м. ниже верхней поверхности бетона; внутренній шпунтовый рядъ также былъ обшитъ изнутри парусиной; кромѣ того, для лучшаго закрѣпленія низа внутренняго шпунтоваго ряда, спущенъ былъ помощью особой воронки цементный растворъ, который располагался тонкимъ слоемъ около основанія стѣнки.

На рис. 455 изображенъ круглый быкъ, поддерживающій поворотную часть Троицкаго моста въ Петербургѣ; діаметръ внизу 21 м., а вверху—20 м. Нижняя часть быка до горизонта на 1,00 с. (2,13) м. ниже ординара состоитъ изъ сплошного бетоннаго цилиндрическаго массива, толщиною 6 м. (3 м. высота рабочей камеры и столько же выше потолка). Выше массива имѣется кольцевая стѣнка, толщиною 3,25 м., высотою около 14 м., и четыре поперечныхъ стѣнки, толщиною внизу 1,80 м., а вверху—1,50 м. Образующіеся между кольцевой и промежуточными стѣнками девять колодцевъ перекрыты сводами изъ бетона Монье. На верхней кольцевой части быка, діаметромъ 20 м., уложенъ гранитный кольцевой рядъ, а на немъ—кругъ катанія. Камни гранитнаго кольцевого ряда взаимно соединены нипонами; камни нижележащаго ряда обтесаны замкомъ, для затрудненія

Сѣченіе по *IH*.

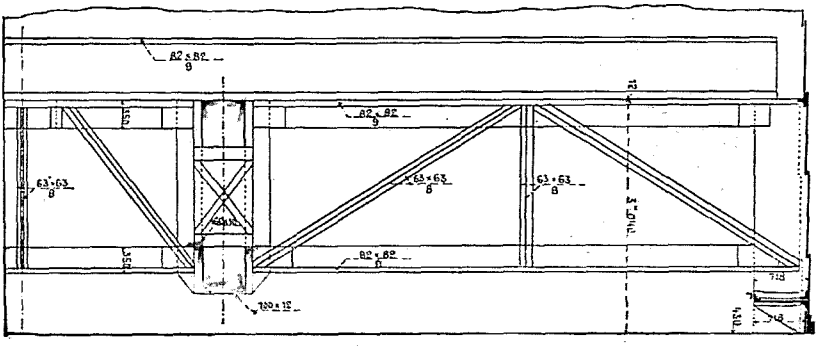


Рис. 457. — Разрѣзъ кессона круглаго быка Троицкаго моста (въ метр.).

разъединенія камней. Фермы опираются на кругъ катанія, какъ въ открытомъ, такъ и закрытомъ положеніи моста, такъ что весь грузъ передается на наружную кольцевую стѣнку; на сводъ надъ среднимъ колодцемъ опирается ось вращенія, на которую не передается никакого груза. (Если бы по условіямъ конструкціи на ось вращенія во время поворота моста передавали весь грузъ моста—то необходимо было бы устроить внутреннее сплошное ядро). Замѣтимъ, что ширина моста болѣе діаметра круга катанія его оноръ, такъ что изъ числа 10 фермъ 4 опираются по серединѣ своей длины на выступающіе концы высокой сквозной поперечной балки, опирающейся на кругъ катанія. Площадь опоры опредѣлена изъ условія, чтобъ наибольшее давленіе на грунтъ не превышало $2{,}5\ \frac{\text{пуд.}}{\text{дм.}^2}$. На рис. 456 и 457 показаны планъ рабочей камеры кессона и два вертикальныхъ разрѣза по двумъ взаимноперпендикулярнымъ діаметрамъ. Толщина металлической оболочки 12 мм.; для увеличенія жесткости къ ней приклепанъ рядъ зетообразныхъ консолей изъ листа 715 × 8 м., окаймленнаго уголками 82 × 82 × 8 и 82 × 82 × 12. Между консолями, на высотѣ 430 мм. отъ пожа приклепанъ горизонтальный листъ, шириною 715 мм, образующій банкетъ, задерживающій отчасти быстрое погруженіе кессона; на банкетѣ до погруженія кессона выведена кладка между консолями, также содѣйствующая жесткости кессона при опусканіи. Къ стѣнкамъ рабочей камеры по направленію двухъ хордъ приклепаны двѣ трубчатыя сквозныя балки, не доходящія до низу на 500 мм. Сѣченіе верхняго пояса: 2 (600 × 12 + 102 × 102 × 15). Сѣченіе нижняго пояса 2 (500 × 12 + 102 × 102 × 13 + 82 × 82 × 9). Стойки сѣченія: 2 (420 × × 12) + 4 (89 × 89 × 10); раскосы сѣченія: 2 (500 × 11) + 4 (102 × × 102 × 11). По направленію двухъ другихъ хордъ, перпендикулярныхъ къ предыдущимъ и симметрично расположенныхъ, помѣщены сквозныя балки съ поясами тавроваго сѣченія (рис. 457) 350 × 8 + + 2 (82 × 82 × 9). Потолокъ кессона, толщиною 12 мм., усиленъ снизу 21 рядомъ уголковъ

82 × 82 × 9, проведенныхъ параллельно трубчатымъ балкамъ; стыки листовъ потолка перекрыты планкой: 140 × 12; поверхъ потолка и въ направленіи перпендикулярномъ къ трубчатымъ балкамъ уложено 11 балокъ двутавроваго сѣченія: 800 × 9 + 3 (82 × 82 × 9); эти балки доходятъ лишь до консолей. Кессонъ собирался на мѣстѣ работъ на подмостяхъ; опусканіе на воду совершалось при помощи подвѣсныхъ болтовыхъ тяжей; по установкѣ кессона на воду на плаву— тяжи были сняты. Во избѣжаніе искривленій тонкой оболочки (рубашки) дѣйствіемъ теченія, выше рабочей камеры привинчиваются къ приклепаннымъ къ оболочкѣ горизонтальнымъ рядамъ уголковъ съемные горизонтальные листы (банкеты); эти банкеты, или горизонтальныя ребра, соединены раскосами въ горизонтальной плоскости съ внутренними кольцевыми поясами, отстоящими отъ обшивки на 2,5 м. Эти послѣдніе кольцевые пояса, зетообразнаго сѣченія, во избѣжаніе

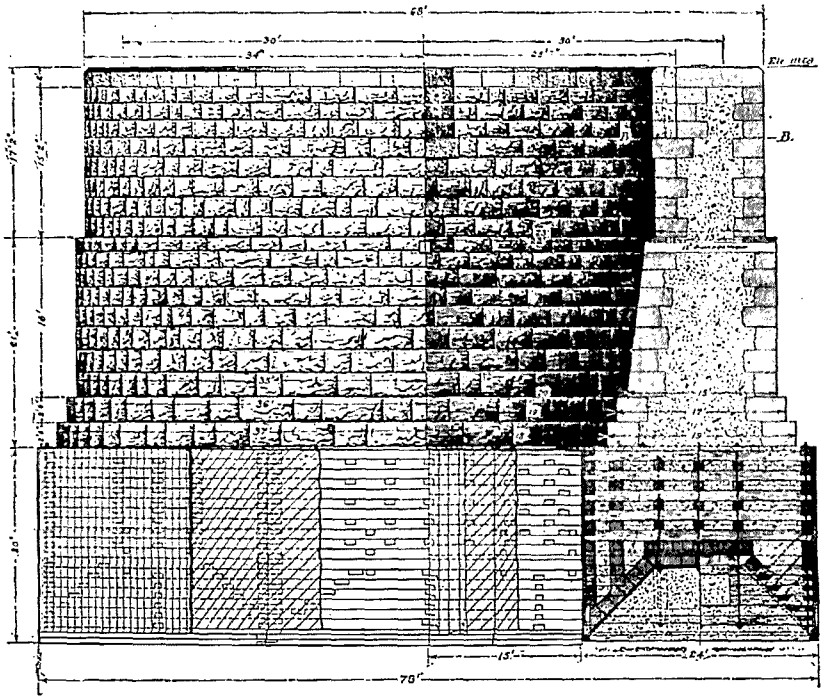


Рис. 458*а*. — Фасадъ и разрѣзъ быка поворотнаго моста чрезъ р. Гарлэмъ въ Нью-Іоркѣ (въ фут.).

провисанія поддерживаются во время производства работъ деревянными стояками, опирающимися въ нижнемъ ряду на кладку, а въ слѣдующихъ рядахъ на нижележащее кольцо. Такимъ образомъ во время погруженія рубашка кессона усилена цѣлымъ рядомъ горизонтальныхъ сквозныхъ реберъ, кольцеваго сѣченія съ двумя концентрическими поясами на взаимномъ разстояніи 2,5 м. и взаимно соединенными раскосами. По мѣрѣ возведенія кладки кольцевыя ребра разбираются.

На рис. 458а и 458б показаны разрѣзъ, фасадъ и планъ быка поворотнаго моста черезъ рѣку Harlem на Third Avenue въ Нью-Іоркѣ, при величинѣ пролета въ 35,661 м., считая отъ оси быка до лица устоя. Ширина моста 26,212 м., четыре фермы съ ѣздою по низу. Быкъ кольцевого сѣченія, осьмиугольнаго очертанія внизу на высоту 20 ф. и цилиндрическаго въ четыре уступа на остальной высотѣ въ 78 ф. 2 д. Глубина опусканія 50 ф. ниже межени. Ширина опоры внизу 78 ф., а наружный діаметръ вверху—68 ф. Толщина осьмиугольнаго сѣченія 24 ф., что при величинѣ внѣшней стороны осьмиугольника въ 32 ф. $3^3/_4$ д. и внутренней въ 12 ф. $5^1/_8$ д., дастъ площадь въ 4300 кв. ф. Вѣсъ каменой кладки 8234 тонны и верхняго строенія 1800 тоннъ, что составляетъ около $2^1/_3$ тон. на кв. футъ или около 1 $\frac{\text{пуд.}}{\text{дм.}^2}$ на грандлистый грунтъ и вполнѣ оправдываетъ выборъ типа быка кольцевого сѣченія. Толщина кольцевой стѣнки измѣняется по высотѣ въ слѣдующемъ порядкѣ: 19 ф., 17 ф., $\frac{15 \text{ ф.} + 13 \text{ ф.}}{2}$, 11 ф. Діаметръ круга катанія 60 ф. Въ верхней

части быка съ внутренней стороны сдѣланъ уступъ, шириною 2 ф., высотою 7 ф. $2^1/_3$ д.,—на которомъ установлены четыре металлическія балки, перекрывающія внутреннее пустое пространство; на балкахъ установлена ось вращенія, не несущая груза, и механизмы для поворота моста. Заполненіе рабочей камеры деревяннаго кессона и стѣнки кольцевой части сдѣлано изъ бетона; составъ раствора: 1 ц. : 2 п. Бетонныя стѣнки облицованы извнутри плитой, а снаружи гранитомъ. Кессонъ деревянный изъ сосны, за исключеніемъ ножа, гдѣ примѣненъ дубъ. Боковая и верхняя поверхность рабочей камеры, образуемая сплошнымъ рядомъ брусьевъ, расположенныхъ въ формѣ трапеціи, поддерживается наклонными и вертикальными тяжами, прикрѣпленными къ стѣнкѣ и къ

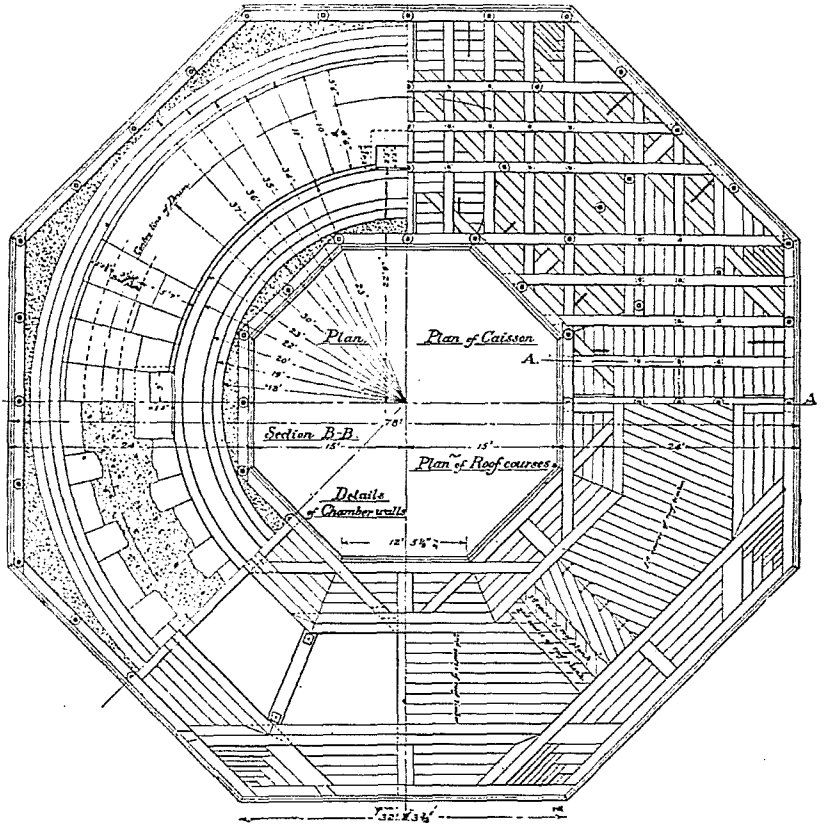


Рис. 458*б* — Планъ быка поворотнаго моста чрезъ р. Гарлэмъ въ Нью-Іоркѣ (въ фут.).

потолку; послѣдній состоитъ изъ пяти рядовъ взаимно перекрещивающихся брусьевъ, которые образуютъ составную балку, принимающую на себя весь грузъ кладки.

На рис. 459 показанъ быкъ городского моста чрезъ р. Вислу въ Варшавѣ. Каждый быкъ состоитъ изъ сплошного массива, опирающагося частью на четыре колонны, опущенныя на глубину 42 ф. и доведенныя до уровня нѣсколько ниже дна рѣки, а частью на металлическія балки, перекинутыя по верхъ колоннъ. Верхняя часть массива заканчивается въ свою очередь двумя столбами, на которые опираются фермы моста. Двѣ изъ четырехъ колоннъ, діаметромъ 18 фут., непосредственно приходятся подъ фермами моста, а остальныя двѣ, діаметромъ 9 фут., помѣщены одна между колоннами, а другая—подъ оконечностью ледорѣза. Разстояніе между осями большихъ цилиндровъ 37′. Нижняя часть колоннъ на глубину 17 фут. заполнена бетономъ, а остальная часть—кладкой. Всѣ быки окружены шпунтовымъ рядомъ и фашинникомъ тюфякомъ, толщиною 3 фута. Устои основаны на сваяхъ. Въѣзды на мостъ устроены на каменныхъ аркахъ.

Порталы и пилоны. Каменныя опоры мостовъ съ ѣздою по низу и по серединѣ украшаются нерѣдко особыми порталами, общій характеръ которыхъ долженъ быть въ соотвѣтствіи съ фасадомъ фермъ, съ родомъ матеріала и съ мѣстными

особенностями. Опоры мостовъ съ ѣздою по верху украшаются пилонами. На фиг. 160 (старый Диршаускій мостъ чрезъ р. Вислу), 161 (мостъ чрезъ р. Рейнъ въ Мангеймѣ), 162 (мостъ чрезъ р. Лаинъ въ Нассау) и 163 (мостъ чрезъ рѣку

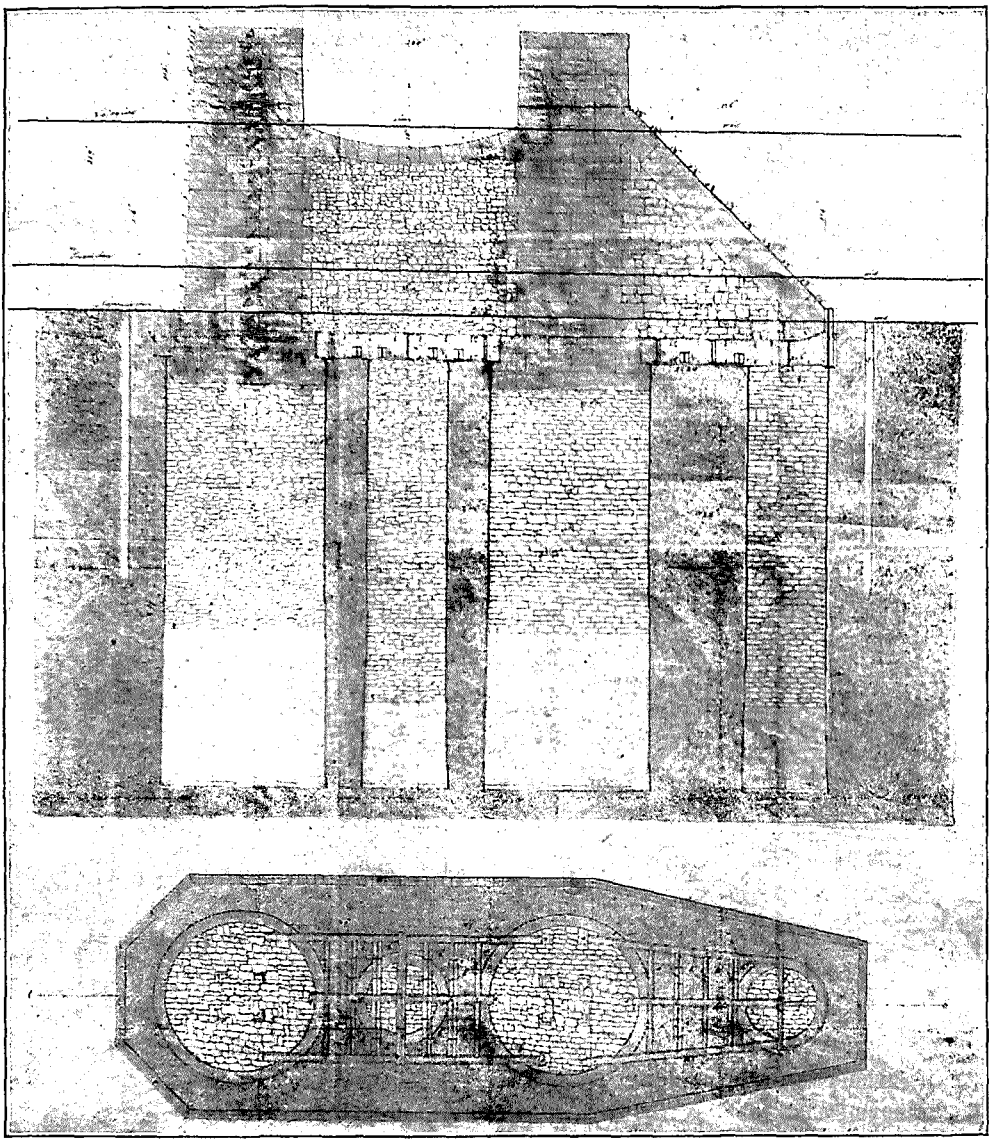


Рис. 459.— Опора Александровскаго моста въ Варшавѣ.

Эльбу въ Гамбургѣ) табл. 20 и на рис. 81, 100, 102, 120, 121, 122, 126, 127 представлено нѣсколько примѣровъ порталовъ, пилоновъ и архитектурныхъ украшеній верхнихъ частей опоръ.

Общая характеристика ледорѣзовъ.—Основные типы ледорѣзовъ.—Правила начертанія ледореза.—Основныя правила разрѣзни камней.—Примѣры ледорѣзовъ.—Отдѣльные деревянные ледорѣзы впереди каменныхъ быковъ.

Общая характеристика ледорѣзовъ. Ледорѣзы устраиваются въ холодныхъ климатахъ на рѣкахъ съ значительною скоростью теченія. Ледорѣзы располагаютъ передъ быками моста въ видѣ отдѣльнаго сооруженія или большею частью со-

прягаютъ ихъ съ головами быковъ съ цѣлью предохраненія этихъ послѣднихъ отъ ударовъ льдинъ и для предупрежденія образованія зажоръ. На незначительныхъ рѣкахъ и на такихъ, на которыхъ скорость настолько мала, что ледъ почти таетъ на мѣстѣ, ледорѣзовъ не устраиваютъ. Иногда же при очень большой скорости, для избѣжанія ударовъ льдинъ, которые могутъ дѣйствовать разрушительно на быки, ледорѣзы ставятся отдѣльно передъ быками, съ общимъ или отдѣльнымъ основаніями. Устраиваются также передъ каменными быками, въ видахъ экономіи, деревянные ледорѣзы. Въ каждомъ ледорѣзѣ слѣдуетъ отличать (рис. 460, *A*) *голову* (носъ) ледорѣза *a*, *боковыя грани b* и *верхнюю наклонную поверхность c*; если верхняя наклонная поверхность состоитъ изъ двухъ взаимно пересѣкающихся наклонныхъ плоскостей, то ребро пересѣченія называется *рѣжущимъ*, *наклоннымъ* ребромъ, которое обыкновенно закругляется.

Льдины разрушаются о ледорѣзъ двоякимъ образомъ: разламываясь отъ удара, или отъ напора на ледорѣзъ; въ послѣднемъ случаѣ онѣ сначала поднимаются по наклонному ребру его и потомъ, вслѣдствіе дѣйствія своего вѣса, переламываются. Разломанные куски льдинъ свободно проходятъ по обѣимъ сторонамъ ледорѣза и быка.

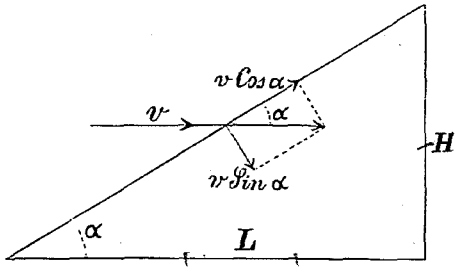


Рис. 459′.

Уклонъ, придаваемый наклонному ребру ледорѣза, различенъ; онъ зависитъ отъ скорости ледохода; чѣмъ значительнѣе сила, поднимающая льдину по ледорѣзу, тѣмъ круче дѣлается уклонъ; иначе льдина можетъ ударить въ голову быка. Скорость ледохода v при ударѣ разлагается на двѣ составляющія (рис. 459′): $v \cos\alpha$ и $v \sin\alpha$; высота h, на которую поднимается льдина, равна $\frac{v^2 \cos^2\alpha}{2g}$, откуда слѣдуетъ, что съ увеличеніемъ скорости необходимо увеличивать и крутость ребра. Однако увеличеніе крутизны не должно превышать извѣстныхъ предѣловъ; иначе ударъ можетъ быть очень силенъ, что вредно для кладки. Наиболѣе употребительный уклонъ — полуторный, хотя встрѣчаются двойные, а при большихъ скоростяхъ—одиночные и даже болѣе крутые. Одиночные уклоны дѣлаютъ и въ томъ случаѣ, когда горизонтъ ледохода очень измѣнчивъ. (Ледорѣзамъ Николаевскаго моста приданъ двойной уклонъ; ледорѣзамъ Волжскаго моста на Оренбургской желѣзной дорогѣ приданъ одиночный уклонъ; ледорѣзы моста черезъ р. Вислу на Обводной вѣтви въ Варшавѣ имѣютъ уклонъ $^1/_2 : 1$).

Если острое ребро ледорѣза не закруглено и матеріалъ не особенно твердый, то его укрѣпляютъ желѣзной полосой (какъ это сдѣлано въ ледорѣзахъ Нарвскаго моста). При твердомъ матеріалѣ достаточно ограничиться закругленіемъ остраго ребра во избѣжаніе выкрашиванія.

Рѣжущее, или наклонное ребро ледорѣза опускаютъ ниже горизонта низкаго ледохода на 0,50 с. или болѣе въ зависимости отъ толщины льда, для того, чтобы льдины, встрѣчая вертикальное переднее ребро, не останавливались; выше горизонта высокихъ водъ наклонное ребро продолжаютъ на 0,80 с. — 1,00 с. въ зависимости отъ скорости теченія.

Какъ сказано было ранѣе, *голова быка* можетъ быть ограничена отвѣсною или наклонною плоскою гранью, двумя пересѣкающимися плоскими гранями и выпуклой цилиндрической или конической поверхностью. То же касается и *головы* (*носа*) *ледо-*

рѣза, за исключеніемъ, конечно, ограниченія плоскою гранью; толщина головы (носа) ледорѣза въ плоскостиоснованія равна или менѣе толщины головы быка въ той же плоскости (фиг. 154 и 155, табл. 18, фиг. 156 и 157, табл. 19). *Боковыя грани* могутъ быть отвѣсной или наклонной плоскостью, косою плоскостью, а при сопряженіяхъ—цилиндроидомъ и коноидомъ. *Верхняя наклонная поверхность* дѣлается или въ видѣ двухъ пересѣкающихся плоскостей съ острымъ или закругленнымъ верхнимъ (рѣжущимъ) ребромъ (фиг. 153, табл. 18), или въ видѣ конической или цилиндрической поверхностей (фиг. 154, табл. 18). Въ послѣднемъ случаѣ ледорѣзъ называется *эллиптическимъ*; въ сѣченіяхъ горизонтальныхъ получаются эллипсы, а въ сѣченіяхъ нормальныхъ къ оси цилиндра или конуса — полуокружности или вообще дуги круга или эллипса (фиг. 155, табл. 18), или же, обратно, въ горизонтальныхъ сѣченіяхъ получаются дуги круга, а въ нормальныхъ сѣченіяхъ—эллипсы (фиг. 154, табл. 18). Въ эллиптическомъ ледорѣзѣ верхняя наклонная поверхность дѣлается обыкновенно касательною къ боковымъ гранямъ ледорѣза; поэтому, если боковыя грани—отвѣсныя плоскости, то пормальныя направляющія—полуокружности или полуэллипсы; при наклонныхъ боковыхъ граняхъ пормальныя направляющія—части круговыхъ или эллиптическихъ кривыхъ. Можно дѣлать эти поверхности и не касательными, лишь бы ие было входящаго иаружнаго угла при пересѣченіи съ боковыми гранями.

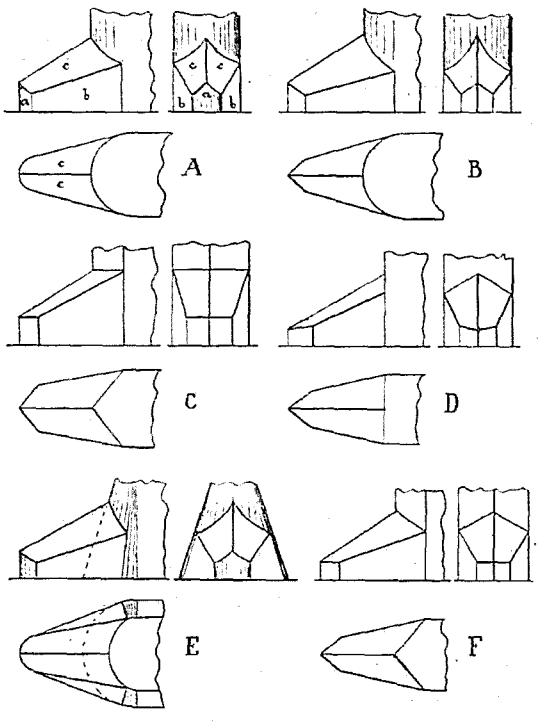


Рис. 460.

Основные типы ледорѣзовъ. Различаютъ три типа ледорѣзовъ: *обыкновенный* — въ которомъ верхняя наклонная поверхность съужнвается отъ головы быка къ головѣ ледорѣза (рис. 460 и фиг. 147 и 152, табл. 17); *американскій*—съ расширяющейся книзу верхней наклонной гранью (рис. 461 и фиг. 149, 150 и 151, табл. 17) и, наконецъ, ледорѣзъ съ наклонной поверхностью *постоянной ширины* (рис. 462 и фиг. 154 и 155, табл. 18).

Каждый изъ этихъ типовъ имѣетъ нѣсколько разновидностей, въ зависимости отъ рода поверхиостей, которыми бываютъ ограничены головы быка и ледорѣза и верхняя наклонная поверхность ледорѣза. Для удобства исполненія работы слѣдуетъ выбирать наиболѣе простыя поверхности.

На рис. (460) изображены схематически нѣсколько разновидностей *обыкновеннаго* типа ледорѣза. (*A*) — голова быка и ледорѣза отвѣсныя цилиндрическія поверхности; направляющая головы ледорѣза имѣетъ меньшій радіусъ; боковыя грани—отвѣсныя плоскости, касательныя къ обѣимъ цилиндрическимъ поверхностямъ; верхняя наклонная поверхность—двѣ перссѣкающіяся плоскости; вертикальныя проекціи кривыхъ пересѣченій верхнихъ наклонныхъ граней съ цилиндромъ—эллипсы; горизонтальныя проекціи—дуги круга. (*B*)—голова быка—ци-

линдръ; голова ледорѣза—двѣ отвѣсныя взаимно пересѣкасающіяся плоскости; наибольшая толщина головы ледорѣза менѣе толщины головы быка; уголъ, образуемый слѣдами плоскостей, ограничивающихъ голову ледорѣза, на горизонтальной плоскости, *болѣе* угла, составляемаго слѣдами двухъ верхнихъ наклонныхъ граней, вслѣдствіе чего вертикальная проекція ребра пересѣченія переднихъ и наклонныхъ плоскостей на плоскость, параллельную продольной осевой плоскости, направлена впизъ, въ сторону головы быка. (*C*)—голова быка и ледорѣза—отвѣсныя взаимно пересѣкающіяся плоскости; наибольшая толщина головы ледорѣза менѣе толщины головы быка; слѣдъ граней, ограничивающихъ объ головы, на горизонтальную плоскость параллеленъ слѣду верхнихъ наклонныхъ плоскихъ граней, вслѣдствіе чего линіи пересѣченій параллельны горизонтальной плоскости. (*D*)—голова быка—отвѣсная грань; голова ледорѣза—отвѣсныя пересѣкающіяся плоскости; уголъ, образуемый слѣдами этихъ плоскостей, *менѣе* угла, составляемаго слѣдами верхнихъ наклонныхъ граней на горизонтальной плоскости, ввиду чего вертикальная проекція ребра пересѣченія направлена вверхъ, въ сторону головы быка. (*E*)—голова быка — конусъ; голова (носъ) ледорѣза — отвѣсная цилиндрическая поверхность; верхняя наклонная поверхность—взаимно пересѣкающіяся плоскости; боковыя грани — косыя плоскости; направляющими служатъ горизонтальный слѣдъ боковой поверхности, касательный къ слѣдамъ цилиндра и конуса, и ребро пересѣченія верхнихъ наклонныхъ граней съ боковою гранью (косою плоскостью); производящія параллельны вертикальной плоскости, нормальной къ слѣду. (*F*)—голова быка и носъ ледорѣза—взаимно пересѣкающіяся отвѣсныя плоскости; уголъ, образуемый слѣдами граней носа ледорѣза, *равенъ*, а уголъ, образуемый слѣдами граней головы быка, *менѣе* угла, составляемаго слѣдами верхнихъ наклонныхъ граней ледорѣза, вслѣдствіе чего вертикальная проекція соотвѣтствующихъ реберъ пересѣченій съ боковыми отвѣсными гранями — въ первомъ случаѣ — горизонтальная линія, а во-второмъ — нисходящая прямая.

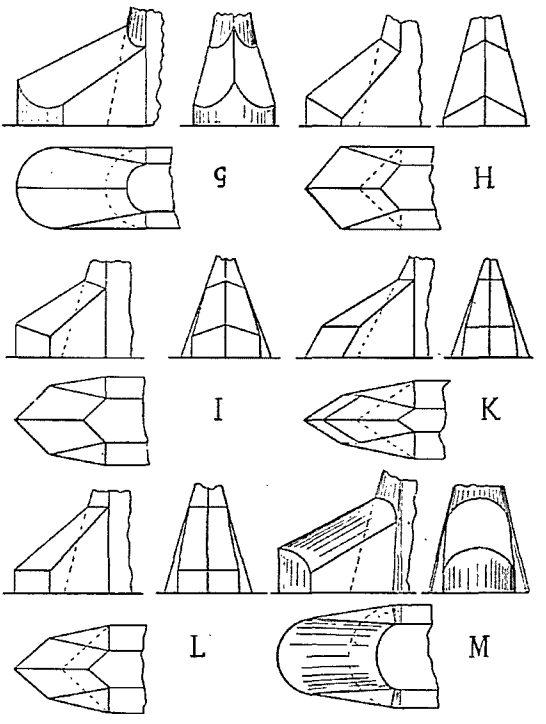


Рис. 461.

На рис. 461 показано нѣсколько разновидностей ледорѣзовъ *американскаго* типа. (*G*)—голова ледорѣза—отвѣсный цилиндръ, того же діаметра, какъ основаніе конической головы быка; верхнія наклонныя грани—пересѣкающіяся плоскости; боковая грань — косая плоскость того же образованія, какъ въ (*E*)—рис. 460, съ тѣмъ лишь отличіемъ, что плоскостью параллелизма служитъ отвѣсная плоскость, нормальная къ продольной оси быка. (*H*) — голова ледорѣза — отвѣсныя пересѣкающіяся грани; голова быка—наклонныя пересѣкающіяся грани; толщина

головы ледорѣза равна толщинѣ быка въ плоскости основанія; боковыя грани—косыя плоскости. (*I*)—предыдущій случай съ тѣмъ отличіемъ, что толщина головы ледорѣза менѣе толщины быка въ основаніи, однако болѣе толщины быка въ уровнѣ верха ледорѣза. (*K*) — голова ледорѣза — наклонныя пересѣкающіяся плоскости съ горизонтальными слѣдами, параллельными соотвѣтственнымъ слѣдамъ граней головы быка и слѣдамъ верхнихъ наклонныхъ граней; остальныя условія тѣ же, какъ и въ предыдущемъ случаѣ; боковыя грани ледорѣза—плоскости. (*L*)—случай тождественный съ (*I*), съ тѣмъ отличіемъ, что слѣды верхнихъ граней параллельны слѣдамъ граней головы быка и ледорѣза. (*M*)—голова ледорѣза—отвѣсный круговой цилиндръ, меньшаго діаметра по сравненію съ основаніемъ конической головы быка; верхняя наклонная поверхность—копусъ; боковыя грани—косыя плоскости, имѣющія ту же плоскость параллелизма, какъ и въ примѣрѣ *E* на рис. 460.

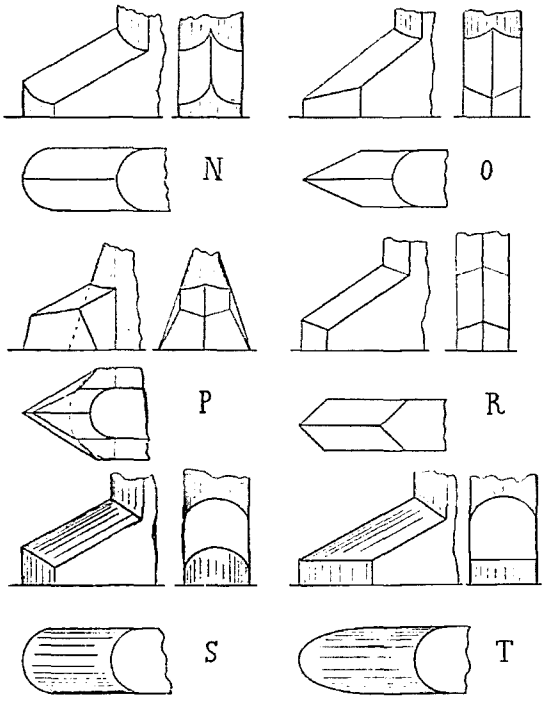


Рис. 462.

На рис. 462—показано нѣсколько видовъ ледорѣзовъ съ *постоянной шириной* верхнихъ наклонныхъ поверхностей. (*N*) — голова быка и ледорѣза — отвѣсный цилиндръ одинаковаго діаметра; (*O*) — голова быка—цилиндръ; голова ледорѣза—пересѣкающіяся отвѣсныя плоскости при толщинѣ головы, равной толщинѣ быка. (*P*) — голова ледорѣза — наклонныя пересѣкающіяся плоскости; толщина головы ледорѣза въ основаніи равна толщинѣ быка, вслѣдствіе чего горизонтальный слѣдъ боковыхъ граней ледорѣза составляетъ продолженіе слѣда боковыхъ граней быка до пересѣченія со слѣдомъ граней головы ледорѣза. Послѣ построенія кривой пересѣченія верхнихъ наклонныхъ граней съ конусомъ и прямой пересѣченія тѣхъ же граней съ гранями головы ледорѣза проведена изъ конечной точки кривой пересѣченія прямая параллельная рѣжущему ребру; эта прямая и горизонтальный слѣдъ будутъ направляющими косой плоскости съ пропзводящими, параллельными поперечноіі вертикальной плоскости. (*R*) — голова быка и ледорѣза — отвѣсныя пересѣкаюпціяся плоскости; толщина головы равна толщинѣ быка. (*S*)—голова быка и ледорѣза—отвѣспые цилиндры одинаковаго діаметра; верхняя наклонная поверхность — цилипдръ того же діаметра; вертикальныя проекціи кривыхъ пересѣченія—прямыя липіи. (*T*)—голова быка и верхняя наклонная поверхность—цилиндры одинаковаго діаметра; голова ледорѣза—эллиптическій цилиндръ съ кривой направляющей, отвѣчающеіі горизонтальному сѣченію наклоннаго цилиндра.

Правила начертанія ледорѣза. При составленіи чертежа быка съ ледорѣзомъ вычерчиваютъ сначала быкъ безъ ледорѣза; затѣмъ наносятъ на чертежъ рѣжущее ребро и голову ледорѣза, строятъ кривыя или прямыя пересѣченій верхпей

наклонной поверхности или наклонныхъ плоскихъ граней съ головами ледорѣза и быка, а также горизонтальный слѣдъ боковыхъ граней ледорѣза и пересѣченія верхней наклонной поверхности съ боковыми гранями ледорѣза.

Полуэллипсы или полуокружности, направляющія наклонной поверхности эллиптическаго ледорѣза, чертятся первый въ плоскости основанія быка, другой же—въ верхней горизонтальной плоскости, ограничивающей быкъ, какъ напр., въ низкихъ каменныхъ быкахъ нѣкоторыхъ мостовъ Николаевской желѣзной дороги (фиг. 154, таб. 18), или же, при высокихъ быкахъ, въ плоскости на 0,50 с.—0,85 с. выше горизонта ледохода, при чемъ является необходимость сопряженія верхней площадки ледорѣза съ поверхностью быка помощью конуса, какъ напр., въ быкахъ Волжскаго моста (фиг. 155, таб. 18). Если же наклонная цилиндрическая поверхность доводится до пересѣченія съ конической или цилиндрическою головою быка (фиг. 156 и 157, таб. 19), то второю направляющею можетъ служить кривая, расположенная въ плоскости, нормальной къ оси цилиндра. По двумъ направляющимъ эллипсамъ или по эллипсу и круговой кривой движется производящая, оставаясь параллельною вертикальной плоскости, проходящей черезъ ось быка съ сохраненіемъ опредѣленнаго уклона.

Сопряженіе кривыхъ поверхностей—головы быка, ледорѣза и верхней наклонной поверхности съ боковою гранью быка всегда стараются дѣлать по касательной, безъ ребра пересѣченія; если послѣднее допускается, то при условіи, чтобы не образовалось при пересѣченіи входящаго наружнаго угла.

Если выше ледорѣза голова быка съ верховой стороны ограничена плоскостью, то наклонное ребро ледорѣза обыкновенно не доводятъ до головы быка (на схематическомъ чертежѣ рис. 460, D—ребро доведено до плоской головы быка), а оканчиваютъ его ранѣе, дѣлая сопряженіе ледорѣза съ верхнею частью быка помощью шапки въ видѣ треугольной пирамиды (фиг. 149 таб. 17), двускатной грани (фиг. 151, таб. 17), или конуса (фиг. 155, таб. 18). Предусмотрительнѣе ограничивать голову быка выше ледорѣза на нѣкоторомъ протяженіи въ видѣ копической, цилиндрической поверхности (фиг. 157 таб. 19) или въ видѣ двухъ пересѣкающихся отвѣсныхъ граней (фиг. 149, таб. 17) на случай чрезвычайнаго поднятія льдинъ.

Приведемъ два примѣра опредѣленія прямыхъ и кривыхъ линій пересѣченія различныхъ плоскостей и поверхностей, ограничивающихъ ледорѣзъ обыкновеннаго и американскаго типовъ.

1-й примѣръ. Положимъ, что голова быка и передняя часть ледорѣза ограничены цилиндрическими поверхностями съ вертикальными осями, при чемъ радіусъ цилиндрической поверхности передней части ледорѣза менѣе радіуса головы быка; верхнія наклонныя грани взаимно пересѣкаются подъ прямымъ угломъ; боковыя грани ледорѣза, очевидно, отвѣсныя плоскости.

Необходимо опредѣлить прямыя пересѣченія верхнихъ граней съ боковыми и кривыя пересѣченія верхнихъ граней съ двумя цилиндрическими поверхностями.

Пусть на фиг. 191а, таб. 23, ABA и aba—планъ головы быка и ледорѣза; линіи (bB, $b'B'$)—верхнее ребро ледорѣза. Проводимъ общія касательныя къ двумъ полуокружностямъ; пусть (A, A') и (a, a')—точки касанія общей касательной; тогда линіи (A, $A'A'$) и (a, $a'a'$) представятъ ребра касанія боковыхъ вертикальныхъ граней къ цилиндрическимъ поверхностямъ. Чтобы найти прямую пересѣченія боковой грани съ верхней наклонной, проведемъ, напр., чрезъ точку (n, n') вспомогательную сѣкущую плоскость, нормальную къ ребру (bB, $b'B'$). Слѣдъ этой плоскости $n'p'q$. Найдемъ прямыя пересѣченія этой плоскости съ верхней наклонной гранью и съ боковой вертикальной гранью. Точка пересѣченія найденныхъ прямыхъ линій и будетъ одна изъ точекъ прямой пересѣченія верхней и боковой граней. Чтобы найти первую прямую, совмѣщаемъ плоскость $n'p'q$ съ горизонтальной плоскостью, вращая около слѣда $p'q$. Точка n' перейдетъ въ (N, N'); проведемъ изъ

N прямую линію подъ угломъ 45° къ bB и продолжимъ ее до встрѣчи съ линіею pq въ точкѣ p. Затѣмъ снова поднимаемъ плоскость; тогда точка N перейдетъ въ n, а p—останется на мѣстѣ. Слѣдовательно, искомая прямая пересѣченія—линія $(np, n'p')$. Сѣченіе вспомогательной плоскости съ боковой вертикальной гранью дастъ, очевидно, прямую $(n_0p_0, n'p')$ (такъ какъ обѣ плоскости проектирующія). Поэтому искомая точка пересѣченія двухъ прямыхъ будетъ (d, d'). Такимъ же образомъ найдемъ и (e, e'), а затѣмъ, имѣя двѣ точки искомой прямой, проводимъ искомое ребро пересѣченія $(aA, a'A')$.

Чтобы найти кривыя пересѣченія верхнихъ наклонныхъ граней съ цилиндрической поверхностью, проводимъ горизонтальныя сѣкущія плоскости $g'k'$, $h'l'$, $z'x'$, $u'y'$ и т. д. и находимъ пересѣченія этихъ плоскостей съ цилиндрическими поверхностями и съ верхними наклонными гранями. Сѣченія съ цилиндрическими поверхностями будутъ дуги круга, горизонтальныя проекціи конхъ aba и ABA, а вертикальныя проекціи — горизонтальныя прямыя, совпадающія съ линіями $g'k'$, $h'l'$ и т. д. Сѣченія же съ наклонными гранями дадутъ въ горизонтальной проекціи линіи gk, hl, zx, uy и д. т., параллельныя слѣду fp верхней наклонной грани на горизонтальной плоскости проекцій. Пересѣченія этихъ прямыхъ съ соотвѣтственными окружностями дадутъ точки (k, k') (l, l') (x, x') (y, y') и т. д., которыя будутъ принадлежать искомымъ кривымъ пересѣченія.

2-ой примѣръ. Предположимъ, что голова ледорѣза ограничена цилиндрической поверхностью, а голова быка—конической, при чемъ основаніе конуса и цилиндра—круги одинаковаго діаметра.

Пусть (черт. 191б, тб. 23) hvh — горизонтальная проекція головы ледорѣза, DED, HrH— горизонтальныя проекціи нижняго и верхняго основаній конической головы ледорѣза; $(rr, v'r')$— верхнее наклонное ребро. Слѣдовательно ледорѣзъ будетъ ограниченъ спереди цилиндрической поверхностью, съ боковъ—косыми плоскостями съ направляющими $(hD, h'D')$ и $(hd, h'd')$ и производящими параллельными плоскостямъ $(DQD, D'Q'')$, а сверху—наклонными гранями.

Чтобы найти ребро пересѣченія $(hd, h'd')$ верхней наклонной грани съ косой плоскостью, при чемъ это ребро и будетъ одной изъ направляющихъ, находимъ двѣ точки этой прямой, а именно—точки пересѣченія наклонной грани съ производящею цилиндра $(h, h'h')$ и съ производящей конуса $(QD, Q''D')$.

Такимъ же построеніемъ, какъ и въ предъидущемъ примѣрѣ, находимъ предварительно горизонтальные слѣды BAC—верхнихъ наклонныхъ граней на горизонтальной плоскости проекцій. Первая изъ искомыхъ точекъ пересѣченія найдется легко: проводя чрезъ h линію $hf \parallel$ слѣду BA, опредѣлимъ точку (f, f'); проводя затѣмъ чрезъ f' линію, параллельную оси проекцій, найдемъ искомую точку (h, h'). Для опредѣленія точки пересѣченія верхней наклонной грани съ производящею конуса $(QD, Q''D')$ надлежитъ найти прямую пересѣченія наклонной грани съ проектирующей плоскостью производящей $(QD, Q''D')$, а затѣмъ точку пересѣченія найденной прямой съ разсматриваемой производящей. Для сего предварительно слѣдовало бы найти слѣды видимой на чертежѣ верхней наклонной грани на обѣихъ плоскостяхъ проекцій (для чего необходимо продолжить слѣдъ AC до оси проекцій и черезъ точку пересѣченія провести линію параллельную $A'Q'$). Но въ виду того, что на чертежѣ это построеніе не помѣстится, переносимъ продольную ось ледорѣза на вертикальную плоскость проекцій. Проведя $A'N \parallel AC$, получимъ $Q'A'N$, т. е. слѣдъ видимой на чертежѣ верхней наклонной грани; производящая $(QD, Q''D')$ замѣнится производящей $(LD', D'Q'')$; далѣе, такъ какъ прямая $(LD', D'Q'')$ находится въ плоскости, перпендикулярной къ оси проекцій, то проектирующія плоскости, какъ производящей $(LD', D'Q'')$, такъ и линіи пересѣченія $(ND', D'Q')$ наклонной грани съ проектирующей плоскостью этой производящей сливаются въ одну плоскость, слѣды которой на обѣихъ плоскостяхъ представятся прямой линіей $(ND', D'Q'')$. Слѣдовательно, прямая пересѣченія плоскости $Q'A'N$ съ проектирующей плоскостью $DD'Q''$ будетъ проектироваться на тѣ же прямыя $(ND', D'Q')$; но такъ какъ и данная производящая проектируется на тѣ же линіи, то для опредѣленія точки ихъ пересѣченія необходимо обѣ прямыя линіи совмѣстить съ вертикальною плоскостью проекцій; прямая пересѣченія двухъ плоскостей въ совмѣщеніи изобразится прямой MQ', а данная производящая—прямой $E'r'$; найдя точку ихъ пересѣченія s', возвращаемся къ прежнему положенію и опредѣляемъ искомую точку (d, d'), при чемъ радіусъ $Qd = d's'$. Имѣя двѣ точки (h, h') и (d, d'), найдемъ и ребро $(hd, h'd')$.

Кривыя пересѣченія верхнихъ наклонныхъ граней съ цилиндрической и конической поверхностями опредѣляются такими же построеніями, какъ и въ предъидущемъ примѣрѣ.

Иногда верхнее наклойное ребро закругляютъ въ видѣ цилиндрической поверхности. Чтобы показать это на эпюрѣ, чертятъ въ сторонѣ прямой уголъ wxv, откладываютъ на сторонахъ длины wx, равныя данному радіусу, находятъ центръ t и вычерчиваютъ $\frac{1}{4}$ окружности wyv. Затѣмъ изъ точки v' — верхняго наклоннаго ребра проводятъ перпендикуляръ $v'k$ и откладываютъ на немъ $v'y' = xy$; проводятъ чрезъ y' линію $\| v'Q'$ и находятъ точку P на цилиндрѣ и соотвѣтственную точку на конусѣ, такъ что объ эти точки опредѣлятъ положеніе наивысшей производящей цилиндра. Чтобы получить положеніе низшей производящей, откладываютъ $v'z' = xz$; проведя чрезъ z' линію $\| v'Q'$ до встрѣчи съ кривыми пересѣченія на цилиндрѣ и на конусѣ, найдемъ положеніе искомой производящей, горизонтальныя проекціи которой $z''z'''$ найдутся, если отложимъ $vz'' = zv$. Затѣмъ остается только построить остальныя промежуточныя точки пересѣченія верхней цилиндрической поверхности съ передней цилиндрической поверхностью и съ головою быка.

Основныя правила разрѣзки камней. Правила разрѣзки камней въ ледорѣзѣ указаны въ слѣдующей главѣ. Здѣсь замѣтимъ только, что разрѣзка головы (носа) ледорѣза и боковыхъ граней дѣлается двумя системами плоскостей — горизонтальной и вертикальной, причемъ вертикальная плоскость нормальна къ слѣдамъ горизонтальныхъ сѣченій; разрѣзка верхнихъ наклонныхъ взаимно пересѣкающихся граней или верхнихъ наклонныхъ криволинейныхъ поверхностей дѣлается плоскостями, нормальными къ плоскимъ гранямъ или къ поверхности, изъ которыхъ одна система при пологихъ ледорѣзахъ нормальна сверхъ того къ верхнему наклонному ребру, а другая параллельна этому же ребру (фиг. 153 и 155, табл. 18) или параллельна ребру пересѣченія наклонныхъ и боковыхъ граней; при крутыхъ уклонахъ—одна изъ этихъ плоскостей горизонтальная, а другая, нормальная къ гранямъ или къ поверхности, вмѣстѣ съ тѣмъ нормальна къ слѣдамъ горизонтальныхъ сѣченій (фиг. 151, табл. 17 и фиг. 154, табл. 18). Другое основное правило состоитъ въ томъ, чтобы въ прямыхъ или кривыхъ пересѣченія различныхъ поверхностей не было швовъ по направленію этихъ линій; на этомъ основаніи угловые камни имѣютъ двѣ или болѣе лицевыя грани или одну или двѣ лицевыя плоскія грани и криволинейныя поверхности (фиг. 153 и 154, табл. 18), при чемъ слѣдуетъ избѣгать по возможности входящихъ угловъ. Въ зависимости отъ уклона ледорѣза каждому угловому камню соотвѣтствуетъ одинъ или болѣе рядовъ камней въ боковыхъ граняхъ ледорѣза (фиг. 153, табл. 18), при чемъ разрѣзку сѣченіями, нормальными къ верхнему наклонному ребру или къ оси наклонной цилиндрической или конической поверхности ледорѣза, продолжаютъ настолько за предѣлы ребра пересѣченія съ боковою гранью, чтобы пересѣченіе съ горизонтальными рядами боковыхъ граней находилось ниже ребра пересѣченія (фиг. 153 и 155, табл. 18).

Примѣры ледорѣзовъ. На фиг. 147, таб. 17. представленъ быкъ съ ледорѣзомъ моста чрезъ р. Вислу на Обводной вѣтви въ Варшавѣ. Уклонъ ледорѣза 1 : 2. Голова быка ограничена отвѣсной цилиндрической круговой поверхностью; голова (носъ) ледорѣза — двумя отвѣсными пересѣкающимися плоскостями; наибольшая толщина его менѣе толщины головы быка, и уголъ, образуемый слѣдами этихъ граней на горизонтальной плоскости, равенъ углу, образуемому такими же слѣдами верхнихъ наклонныхъ граней; верхняя поверхность ледорѣза состоитъ изъ двухъ взаимно пересѣкающихся подъ прямымъ угломъ плоскихъ граней съ загругленнымъ ребромъ. Такъ какъ слѣды на горизонтальной плоскости, какъ переднихъ граней ледорѣза, такъ и верхнихъ наклонныхъ граней взаимно параллельны, то вертикальная проекція реберъ пересѣченія этихъ граней—горизонтальная линія; вертикальная проекція линіи пересѣченія

верхнихъ наклонныхъ гранеи съ цилиндрической головой быка—эллипсъ. Боковыя грани — отвѣсныя плоскости. Разрѣзка камней верхнихъ наклонныхъ граней ледорѣза сдѣлана двумя системами плоскостей, нормальныхъ къ гранямъ и въ то же время нормальныхъ и параллельныхъ рѣжущему ребру. По линіямъ пересѣченія поверхностей швовъ не имѣется; такъ изъ продольнаго разрѣза и фасада явствуетъ, что головные камни вверху и внизу ледорѣза захватываютъ какъ поверхность головы быка и ледорѣза, такъ и верхнія наклонныя грани. Для лучшей связи облицовки тычки обтесаны въ видѣ ласточкина хвоста, и концы соединены пиропами; соотвѣтственно сему ложки имѣютъ шестиугольное очертаніе; въ головахъ быка разрѣзка сдѣлана вертикальными радіальными плоскостями; подъ верхнимъ кордоннымъ рядомъ уложены прокладные ряды во всю толщу обѣихъ головъ быка; верхній кордонный рядъ состоитъ изъ штучныхъ камней, такъ что подфермепные камни опираются на два ряда штучныхъ камней. Между подфермеиными камнями устроены миппые колодцы. Ядро ледорѣза сдѣлапо изъ бутовой кладки.

На фиг. 149 таб. 17 изображенъ быкъ съ ледорѣзомъ желѣзнодорожнаго моста чрезъ р. Миссисипи. Цоколь быка пиже ледорѣза ограниченъ съ боковъ двумя наклонными гранями, а со стороны обѣихъ головъ—двумя наклонными взаимно пересѣкающимися плоскостями. Выше цоколя съ обрѣзомъ въ 4,5 д. возвышаются боковыя паклонныя грапп быка; пизовая голова быка до уровня карниза ограничена двумя достаточно крутыми наклонными гранями; голова съ верховой стороны ограничена въ предѣлахъ ледохода двумя менѣе крутыми наклонными гранями, а выше горизонта ледохода—отвѣспыми пересѣкающимися гранями. Треугольная голова быка сохранепа лишь до извѣстнаго уровня; далѣе голова ограничена плоской отвѣсной гранью; сопряженіе сдѣлапо помощью треугольной пирамиды. Горизонтальные слѣды отвѣсной треугольной головы быка параллельны верхнимъ наклоннымъ гранямъ ледорѣза. Такъ какъ боковыя грани быка наклонны и головы быка и ледорѣза имѣютъ въ основаніи одинаковую толщину, то верхняя наклонная поверхность ледорѣза расширяется книзу.

Того же типа ледорѣзы изображены иа фиг. 148 (быкъ городского моста въ Каизасѣ чрезъ р. Миссури) и на фиг. 151 (мостъ «Викторія» чрезъ р. Св. Лаврентія). Въ послѣднемъ примѣрѣ ледорѣзъ не доведенъ до пересѣченія съ плоскою гранью головы быка и перекрывается двухскатной шапкой. Разрѣзка наклонныхъ граней ледорѣза сдѣлана горизонтальными плоскостями и плоскостями нормальными къ верхнимъ наклоннымъ гранямъ и въ то же время нормальными къ горизонтальнымъ слѣдамъ; толщина рядовъ уменьшается по мѣрѣ приближенія къ вершинѣ.

На фиг. 150 изображенъ ледорѣзъ съ расширяющейся книзу верхней наклонной поверхностью; голова ледорѣза—цилипдръ, а голова быка—конусъ; толщина головы быка въ уровнѣ вершины ледорѣза тоньше, чѣмъ въ головѣ ледорѣза.

На фиг. 152 показанъ ледорѣзъ Александровскаго (Литейнаго) моста въ Петербургѣ. Боковыя грани быка въ нижней части ограничены наклонными плоскостями; въ плоскости обрѣза толщина быка: $2 \times 1{,}685 = 3{,}37$; на высотѣ 2,15 с.—толщина быка: $2 \times 1{,}575 = 3{,}15$, и сохраняется постоянной на высоту 0,575 с.; затѣмъ слѣдуетъ наклонная плоскость на высоту 0,734 с. съ уменьшеніемъ толщины быка до 2,452 с. Сообразно сему голова быка ограничена вверху конической поверхностью съ эллиптической направляющей, а ниже, т. е. въ предѣлахъ пересѣченія съ верхними двумя наклонными гранями—цилиндрической поверхностью съ эллин-

тическою направляющей. (Эти размѣры не показаны на чертежѣ горизонт. проекціи). Для начертанія ледорѣза предположено сначала, что боковыя грани ледорѣза—наклонныя взаимно пересѣкающіяся плоскости; горизонтальный слѣдъ этихъ граней образуетъ треугольникъ съ вершиной, удаленной на 4,487 м. отъ вертикальнаго сѣченія, отдѣляющаго голову быка отъ остальной его части; раствореніе направленія слѣдовъ, измѣряемое въ упомянутомъ сѣченіи: $2 \times 1{,}818 = 3{,}636$ м.; ребро пересѣченія обѣихъ боковыхъ граней предположено наклоннымъ съ горизонтальнымъ заложеніемъ 4,487 м.—4,425 м. $= 0{,}062$ м. на высоту: 0,59 м. Рѣжущему ребру приданъ полуторный уклонъ: высота—3,479 м. на длину 4,487 м.+ 0,732 м. $= 5{,}219$ м. Въ виду того, что уголъ, образуемый слѣдами боковыхъ наклонныхъ граней, менѣе угла, составляемаго слѣдами верхнихъ наклонныхъ граней, ребро пересѣченія послѣднихъ граней съ боковыми наклонными гранями проектируется на вертикальную плоскость въ видѣ прямой, восходящей въ сторону головы быка; крайнія ординаты этой прямой: 0,59 м. и 2,15 м.; горизонтальныя проекціи этихъ реберъ пересѣченія образуютъ треугольникъ съ вершиной, удаленной на 4,425 м. отъ вертикальнаго сѣченія, отдѣляющаго голову быка отъ остальной его части; величина растворенія сторонъ треугольника въ этомъ сѣченіи: $2 \times 1{,}708 = 3{,}416$. Пересѣченіе наклонныхъ граней съ цилиндрической частью головы проектируется въ видѣ эллипсовъ на вертикальную и горизонтальную плоскости (горизонтальная проекція—эллипсъ, въ виду того, что голова быка ограничена эллиптической направляющей). Такимъ образомъ при указанномъ начертаніи толщина ледорѣза въ плоскости, отдѣляющей голову быка отъ остальной его части: $2 \times 1{,}818$ м. $= 3{,}636$ м. внизу и $2 \times 1{,}708$ м. $= 3{,}416$ м. вверху, болѣе толщины быка въ томъ же сѣченіи, т. е. болѣе $2 \times 1{,}685 = 3{,}37$ м. внизу и $2 \times 1{,}575 = 3{,}15$ м. вверху. Для уничтоженія образовавшагося выступа устроено сопряженіе цилиндроидомъ; въ плоскости основанія проведена дуга круга радіусомъ: 1,685 м. до встрѣчи съ горизонтальнымъ слѣдомъ на разстояніи 0,633 (на чертежѣ въ вертикальной проекціи ошибочно 0,33 м.); черезъ эту точку и ось головы быка проведена радіальная плоскость, нормальная къ нижнему слѣду; горизонтальная проекція точки пересѣченія этой плоскости съ ребромъ пересѣченія верхнихъ наклонныхъ и боковыхъ граней будетъ пересѣченіе радіуса $R = 1{,}685$ м. съ горизонтальной проекціей ребра пересѣченія, что отвѣчаетъ радіусу 1,534 м.; вертикальная проекція этой точки будетъ находиться на вертик. проекціи ребра пересѣченія на разстояніи 0,599 м. отъ вертикальнаго сѣченія, отдѣляющаго голову быка; ординаты этихъ двухъ точекъ, считая отъ оси быка: 1,561 м. и 1,477 м. Проведя затѣмъ по верхней наклонной грани кривую касательную съ одной стороны къ ребру пересѣченія въ вышенайденной точкѣ, а также касательную къ кривой пересѣченія на высотѣ 2,15 м., получимъ вторую направляющую для образованія цилиндроида. Часть этой кривой въ предѣлахъ высоты 2,25 м.—2,15 м. будетъ проведена по цилиндру. Острое рѣжущее ребро замѣнено конической поверхностью; для сего на разстояніи 1,00 м. отъ основанія проведена горизонтальная плоскость и найдены точки пересѣченія съ ребрами пересѣченія. Разстояніе между этими точками 0,558; проведя чрезъ эти точки плоскости, нормальныя къ горизонт. слѣду, получимъ точки пересѣченія съ горизонтальнымъ слѣдомъ на взаимномъ разстояніи 0,62 м. На обѣихъ линіяхъ, какъ на діаметрахъ, описаны полуокружности въ плоскости основанія и въ плоскости на 1,00 м. выше основанія, служащія направляющими для усѣченнаго конуса носа ледорѣза. Затѣмъ проведена коническая поверхность, направляющею которой служитъ верхняя полуокружность, а вершиною—точка, расположенная по оси быка, въ плоскости, отдѣляющей голову быка отъ остальной части и на высотѣ 3,479 отъ основанія.

На фиг. 153 табл. 18 изображенъ ледорѣзъ быка косого моста чрезъ р. Клязьму на Нижегородской ж. дорогѣ. Толщина быка 2,15 с.; высота ледорѣза 2,75 с.; уклонъ $2{,}75 : 3{,}80 = 1 : 1{,}38$; рѣжущее наклонное ребро доведено до уровня карниза. Голова быка—цилиндрическая; носъ лѣдорѣза ограниченъ двумя наклонными пересѣкающимися плоскостями съ наклоннымъ переднимъ ребромъ; величина уклона 0,37 с. на 1,60 с. Такъ какъ боковыя грани ледорѣза, совпадающія съ боковыми гранями быка, отвѣсныя, то ребра пересѣченія этихъ граней съ наклонными гранями носа ледорѣза—прямыя линіи, параллельныя переднему ребру на томъ же основаніи взаимно-параллельны рѣжущее ребро и ребро пересѣ-

ченія боковыхъ граней съ верхними наклонными гранями. Уголъ, образуемый слѣдами граней носа ледорѣза менѣе угла (90°), составляемаго верхними наклонными гранями, всѣдствіе чего вертикальная проекція ребра пересѣченія — наклонная прямая, направленная вверхъ, въ сторону головы быка. Разрѣзка кампей ледорѣза сдѣлана двумя системами плоскостей, нормальными къ верхнимъ наклоннымъ гранямъ и въ тоже время нормальными и параллельными рѣжущему ребру. Камень, поставленный въ вершинѣ носа ледорѣза, имѣетъ четыре лицевыхъ грани; камень въ углѣ пересѣченія трехъ реберъ ограниченъ тремя лицевыми плоскими гранями. Нѣкоторые изъ угловыхъ кампей, сопрягающія верхнія наклонныя грани съ гранями головы ледорѣза, имѣютъ входящіе углы, при необходимости сдѣлать сопряженіе двухъ рядовъ облицовки верхнихъ наклонныхъ граней съ однимъ рядомъ облицовки граней, ограничивающихъ голову ледорѣза.

На фиг. 154, табл. 18, показанъ быкъ съ эллиптическимъ ледорѣзомъ Мстинскаго моста на Николаевской ж. д. Съ низовой стороны быкъ ограниченъ отвѣсной цилиндрической поверхностью, съ боковъ—отвѣсными гранями, а съ верховой — наклонной цилиндрической поверхностью отъ верхняго обрѣза фундамента до карниза; нижняя и верхняя направляющая цилиндра — полуокружности. Выше обрѣза фундамента имѣется 3 уступа по всему горизонту быка. Разрѣзка сдѣлана горизонтальными сѣченіями и сѣченіями нормальными къ поверхности цилиндра и въ то же время нормальными къ слѣдамъ горизонтальныхъ сѣченій.

На фиг. 155 табл. 18 изображенъ эллиптическій ледорѣзъ Волжскаго моста близъ Самары. Высота ледорѣза 5,40 саж., уклонъ: 5,27 : 5,40 = 1 : 1,024. Планъ фундамента быка, отвѣчающій плану кессона, ограниченъ двумя параллельными линіями, разставленными на 3,00 саж. и соединенными по концамъ полуокружностью (съ низовой стороны) и параболической кривой (съ верхней стороны). Длина быка въ основаніи 11,00 саж. Тѣло быка ограничено съ низовой стороны конической поверхностью; оси цилиндрической головы основанія и конической головы тѣла быка передвинуты одна относительно другой въ продольномъ направленіи на 1,50 с. — 1,425 = 0,075 с.; радіусъ направляющей полуокружности внизу 1,285 саж., а вверху 1,125 с.; тотъ же уклонъ 0,16 : 5,40 = 1 : 34 имѣетъ и боковая грань быка на длину 2,845 саж.; уклонъ боковыхъ граней начинается отъ уровня на 0,15 с. выше обрѣза фундамента. Толщина головы ледорѣза въ уровнѣ основанія 2,25 саж., высота цилиндрической головы 0,15 саж.; такимъ образомъ боковыя грани —наклонныя плоскости; верхняя наклонная поверхность ледорѣза—цилиндрическая съ эллиптическими направляющими въ основаніи и въ вершинѣ ледорѣза, по длинѣ менѣе полуэллипса, такъ какъ боковыя грани ледорѣза—наклонныя плоскости; сѣченія, нормальныя къ оси цилиндра—неполныя полуокружности съ хордою длиною 2,25 саж. Разрѣзка сдѣлана плоскостями, нормальными къ цилиндрической поверхности и въ то же время нормальными и параллельными къ оси наклоннаго цилиндра или что то же—нормальными и параллельными къ верхнему положенію производящей; вертикальная проекція толщины рядовъ облицовки измѣняется отъ 0,25 саж. до 0,20 саж. Каждому ряду облицовки цилиндрической поверхности ледорѣза соотвѣтствуетъ рядъ облицовки боковыхъ граней; облицовочные камни не имѣютъ входящихъ угловъ; сѣченія, нормальныя къ верхней производящей цилиндра, на столько продолжены по боковымъ гранямъ, что горизонтальные швы не доходятъ до ребра пересѣченія. Верхняя часть быка, выше ледорѣза ограничена въ планѣ прямоугольникомъ съ закругленными ребрами, при разстояніи между осями подферменныхъ кампей въ 2,66 саж. Сопряженіе плоской грани съ ледорѣзомъ сдѣлано помощью конической шапки.

На фиг. 156 табл. 19 изображенъ быкъ съ эллиптическимъ ледорѣзомъ моста чрезъ р. Оку на Московско-Рязанской ж. дор. Ледорѣзъ эллиптическій съ направляющей-эллипсомъ въ основаніи; Уклонъ ледорѣза: 3,06 : 4,66 = 1 : 1,53. Такъ какъ боковыя грани ледорѣза—наклонныя плоскости, то въ сѣченіи, нормальномъ къ верхнему ребру, направляющая кривая не можетъ быть полуокружностью; она можетъ быть меньше половины дуги круга или дугою эллипса, какъ въ данномъ случаѣ, гдѣ хорда эллипса 1,80 саж., а стрѣла 1,20 саж. Тѣло быка на высоту 1,60 с. отъ дна ограничено съ низовой стороны вертикальной цилиндрической поверхностью, съ направляющей въ видѣ

полуокружности діаметромъ 2,40 саж., съ уступомъ въ 0,07 саж. на высотѣ 0,55 саж.,; съ боковъ оно ограничено на протяженіи 5,10 саж. двумя отвѣсными взаимно-параллельными гранями; голова ледорѣза представляетъ отвѣсную цилиндрическую поверхность съ эллиптической направляющей, отвѣчающей нормальному сѣченію дуги круга при хордѣ 1,80 саж. и радіусѣ 1,20 саж., а боковыя грани ледорѣза — двѣ наклонныя плоскости. Въ уровнѣ основанія ледорѣза сдѣланъ уступъ въ 0,05 саж. Средняя часть боковой поверхности быка на протяженіи 5,10 саж. ограничена наклонными плоскостями, при чемъ въ основаніи толщина тѣла быка—2,30 саж., а вверху — 1,60 саж. Съ низовой стороны выше уровня 1,60 с., голова быка коническая; верхняя поверхность ледорѣза—наклонный цилиндръ—съ эллиптической горизонтальной и нормальной направляющими, подобранными такъ, что въ сѣченіи, нормальномъ къ верхнему наклонному ребру, прямая пересѣченія наклонной боковой грани ледорѣза касательна къ кривой; боковыя грани—плоскости.

На фиг. 157, табл. 19—изображенъ быкъ моста чрезъ р. Уфу на Самаро-Златоустовской ж. д. съ эллиптическимъ ледорѣзомъ. Направляющей служитъ эллипсъ въ основаніи и часть дуги круга въ нормальномъ сѣченіи; боковыя грани—наклонныя плоскости, съ тупоугольнымъ ребромъ пересѣченія съ верхней цилиндрической поверхностью безъ наружныхъ входящихъ угловъ.

На фиг. 186, таб. 23 показанъ ледорѣзъ Николаевскаго моста въ С.-Петербургѣ. Головы быковъ имѣютъ видъ усѣченнаго конуса, а головы ледорѣзовъ представляютъ собою вертикальные цилиндры (фиг. 186, табл. 23), построенные на полукругѣ нѣсколько бо́льшаго діаметра, нежели діаметръ верхняго основанія головного конуса. (Построеніе показано на фиг. 191*б*, табл. 23). Верхнія грани ледорѣза образуются двумя плоскостями, составляющими между собою прямой уголъ; ребро пересѣченія этихъ граней округлено; такимъ образомъ ледорѣзъ ограниченъ: а) цилиндрической поверхностью, пересѣкающеюся съ конусомъ головы быка и съ цилиндромъ передней части ледорѣза и замѣняющею собою верхнее ребро ледорѣза; б) двумя наклонными плоскостями, пересѣкающимися въ эллиптическихъ кривыхъ съ цилиндрическою поверхностью передней части ледорѣза и съ конусомъ быка, и в) двумя косыми плоскостями, касательными къ цилиндрической и къ конической поверхности. По переднему наклонному ребру ледорѣза уложены цѣльные камни, имѣющіе видъ, представленный на рис. 463. Камень этотъ входитъ въ выемки, оставленныя въ нижнихъ камняхъ. Взаимное соединеніе нѣкоторыхъ камней сдѣлано посредствомъ гранитныхъ кубиковъ.

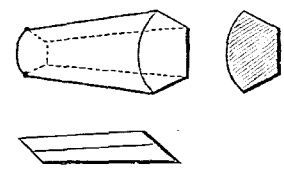


Рис. 463.

Отдѣльные деревянные ледорѣзы впереди каменныхъ быковъ. Для того, чтобы предохранить каменные быки отъ дѣйствія ударовъ льдинъ, иногда впереди ихъ устраиваютъ отдѣльные деревянные ледорѣзы, если глубина рѣки позволяетъ это сдѣлать. На фиг. 158, табл. 19 и фиг. 159, табл. 20 показано два примѣра такихъ ледорѣзовъ въ Америкѣ. Въ изображенномъ на фиг. 158, табл. 19 ледорѣзѣ, внутри ряжевого ящика забиты сваи, расположенныя по направленію оси быка и перпендикулярно къ ней. Сваи срѣзаны такимъ образомъ, что на осевыя сваи можно надѣть насадки, сходящіяся подъ прямымъ угломъ на одной изъ среднихъ свай (наиболѣе высокой). Въ нижнихъ частяхъ обѣ насадки сдѣланы двойныя. На крайній рядъ свай, представляющихъ въ планѣ косоугольный четыреугольникъ и срѣзанныхъ въ одномъ уровнѣ, также положена насадка. На верхнія наклонныя и на нижнія горизонтальныя насадки опираются врубками стропила, подпертыя промежуточными поперечными рядами свай. Поверхъ стропилъ расположенъ сплошной рядъ брусьевъ, образующихъ пирамидальную поверхность ледорѣза. Сваи стянуты схватками; внутренность ящика и ледорѣза—заполнена камнемъ и чурой.

На фиг. 159, табл. 20, показанъ другой типъ деревяннаго ледорѣза изъ однихъ ряжевыхъ ящиковъ (Канзаскій мостъ). Нижняя часть ледорѣза состоитъ изъ ряжевыхъ ящиковъ съ отвѣсными гранями и двумя остроугольными головами. На уровнѣ нѣсколько ниже низкаго горизонта ледохода ряжевой ящикъ состоитъ также изъ ряжей и съ низовой стороны ограниченъ поперечной отвѣсной гранью, съ боковъ — продольными отвѣсными гранями; верхняя часть ледорѣза ограничена наклонными взаимно пересѣкающимися плоскостями; наклонное рѣжущее ребро имѣетъ болѣе крутой уклонъ въ верхней части. Внутренность ряжей заполнена камнемъ; наклонныя грани ледорѣза въ предѣлахъ ледохода обшиты котельнымъ желѣзомъ.

IV.

Производство работъ по устройству каменныхъ опоръ.

Разбивка работъ.

Въ зависимости отъ избранной системы основанія, опоры закладываются непосредственно на грунтѣ, на ростверкѣ изъ лежней, на сваяхъ, на опускныхъ колодцахъ, колоннахъ, на бетонномъ массивѣ и т. д. *).

Предварительно приступа къ работамъ по заложенію основанія—необходимо сдѣлать *разбивку работъ*, т. е. обозначить на мѣстѣ положеніе устоя или быка.

Главная задача состоитъ при этомъ: а) въ обозначеніи на мѣстѣ *продольной и поперечной оси* сооруженія съ указаніемъ разстоянія между опорами моста и б) въ постановкѣ *репера* съ опредѣленной отмѣткой—отъ какового репера отмѣрнваются высоты различныхъ частей сооруженія.

Продольная ось моста обозначается на мѣстѣ двумя вѣхами, поставленными на правомъ и лѣвомъ берегу рѣки. Объ вѣхи устанавливаются провѣшиваніемъ, —при помощи теодолита, — продольной оси полотна или пути; если послѣднее по мѣстнымъ условіямъ невозможно—опредѣляютъ по имѣющемуся плану положеніе точки пересѣченія и уголъ, составляемый осью моста съ какимъ либо опредѣленнымъ направленіемъ (напр. съ направленіемъ оси улицы, берега рѣки и проч.) и точно напосятъ эту ось на мѣстѣ при помощи теодолита. Объ вѣхи должны быть поставлены за предѣлами крайнихъ опоръ. При большихъ сооруженіяхъ забиваютъ съ этою цѣлью на каждомъ берегу рѣки,—въ плоскости приблизительно нормальной къ оси моста,—по двѣ сваи, соединяютъ ихъ схватками или насадкой, а къ этой послѣдней прочно прикрѣпляютъ желѣзный или деревянный шестъ, установленный по теодолиту по оси моста.

Имѣя направленіе оси моста, обозначаютъ затѣмъ точки пересѣченія ея съ *поперечными* осями, которыя обыкновенно соотвѣтствуютъ поперечной лицевой грани устоевъ и вертикальному сѣченію, проведенному черезъ середину быка нормально къ продольной оси моста (рис. 464). Если пролетъ незначительный, не болѣе 10 с., а мѣстность горизонтальная—тогда по продольной оси моста вытягиваютъ стальную рулетку и, сообразуясь съ чертежемъ, отмѣчаютъ по ней искомыя точки пересѣченія. Забивъ въ этихъ мѣстахъ колья, устанавливаютъ надъ ними

*) Подробное описаніе устройства основаній приведено въ курсѣ „Основаній“.

теодолитъ, такъ чтобы визирная линія трубы приходилась въ плоскости продольной оси моста; затѣмъ вращаютъ трубу теодолита на 90° и по ней ставятъ по обѣ стороны продольной оси двѣ вѣхи или сваи ($N' N'$) (рис. 464), опредѣляющія направленіе поперечной оси. Иногда забиваютъ въ сторонѣ отъ предполагаемой поперечной оси по двѣ сваи (M, M) и ($M' M$), соединяютъ ихъ насадками и на нихъ обозначаютъ чертой или инымъ путемъ направленіе поперечной оси, намѣчая кромѣ того и разстоянія нѣкоторыхъ граней и выступовъ устоя отъ избранной поперечной оси.

Всѣ дальнѣйшія разбивки на мѣстѣ производятся уже помощью отмѣриванія назначенныхъ по проекту разстояній отъ продольной и поперечной осей.

При большихъ пролетахъ разбивка нѣсколько затруднительнѣе. Взаимное разстояніе между поперечными осями опредѣляютъ непосредственнымъ измѣреніемъ стальной рулеткой или точно провѣренными съ намѣченными дѣленіями деревянными брусьями (линейками), вытягивая рулетку по горизонтальному по-

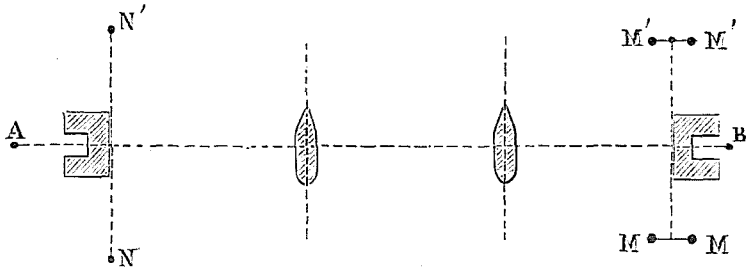


Рис. 464.

лотну временнаго моста, по полотну подмостей, по льду, или укладывая брусья (линейки) на особыхъ деревянныхъ подкладкахъ и клиньяхъ, расположенныхъ по льду или на землѣ и выровненныхъ притомъ горизонтально. Длина деревянныхъ брусьевъ-линеекъ около 20 ф. Концы брусьевъ прикасаются одинъ къ другому съ боку и послѣ приведенія дѣленій въ совпаденіе скрѣпляются скобой съ клиньями. Брусья кладутся въ перевязку—разъ съ правой, другой разъ съ лѣвой стороны линіи такъ, чтобы одинъ край каждаго бруса, направляемый по теодолиту, всегда приходился на продольной оси моста. При значительныхъ неровностяхъ грунта (когда работа ведется на подкладкахъ, уложенныхъ на грунтѣ), смежные брусья помѣщаются не въ одномъ уровнѣ, и совпаденіе конечныхъ дѣленій производится при помощи чувствительнаго отвѣса.

Кромѣ того для той же цѣли можно примѣнить проволоку. По направленію оси моста на обоихъ берегахъ укрѣпляютъ прочно два столба (рис. 465); въ вершинѣ одного изъ нихъ имѣется блокъ. Закрѣпивъ проволоку толщиною около 3—4 мм. къ вершинѣ столба безъ блока, другой ея конецъ перекидываютъ черезъ блокъ и привязываютъ опредѣленный грузъ. Отмѣтивъ на проволокѣ положеніе точки касанія B, снимаютъ проволоку и навѣшиваютъ ее при точно такихъ же условіяхъ на другіе два столба, установленные гдѣ либо на берегу. Затѣмъ, пользуясь отмѣткою на проволокѣ, измѣряютъ протяженіе горизонтальной проекціи между точками A и B, наносятъ на этой проекціи положеніе точекъ пересѣченія поперечныхъ осей съ продольною; переносятъ эти точки на проволоку помощью отвѣсовъ, отмѣчаютъ ихъ на ней, послѣ чего снова располагаютъ проволоку на прежнихъ столбахъ A и B и при помощи отвѣсовъ намѣчаютъ мѣста для забивки кольевъ или свай, въ точкахъ пересѣченія продольной и поперечной осей.

При очень значительной длинѣ моста, когда нельзя пользоваться одной проволокой между крайними опорами,—отмѣчаютъ ею же въ послѣдовательномъ порядкѣ разстоянія между центрами смежныхъ опоръ. Такой пріемъ былъ между прочимъ употребленъ при сооруженіи Екатеринославскаго моста. Ось моста давалась двумя постоянными точками (вѣхами) на правомъ и лѣвомъ берегу. Направленіе проволоки и обозначеніе оси на быкахъ дѣлались теодолитомъ, устанавливаемымъ по оси. Для этого сначала ставили теодолитъ приблизительно по линіи береговыхъ вѣхъ, затѣмъ приводили верхній кругъ инструмента въ горизонтальное положеніе помощью двухъ взаимно перпендикулярныхъ уровней и наводили трубу на одну изъ вѣхъ. Переложивъ ее на 180°, смотрѣли на сколько отходитъ волосокъ отъ 2-й вѣхи и передвиганіемъ ножекъ инструмента и приведеніемъ снова верхняго круга въ горизонтальное положеніе уменьшали это разстояніе вдвое и потомъ, не двигая самаго инструмента, поворачивали только трубу до совпаденія волоска съ вѣхой. Переложивъ трубу снова на 180°, можно было видѣть, что волосокъ меньше отходитъ отъ другой вѣхи; повторивъ это нѣсколько разъ, устанавливали наконецъ трубу совершенно правильно по оси. Дальше и ближе предполагаемаго мѣста быка забивались вѣхи по теодолиту и натягивался между ними шнуръ; онъ давалъ направленіе, по которому слѣдовало натянуть проволоку для обозначенія центровъ. По этому направленію оси становились козлы съ ввинченными въ нихъ роликами. По нимъ натягивалась проволока, для натяженія которой на концахъ привѣшивались чугунныя гири. Дѣйствуя гирями для передвиженія проволоки, ставили ее такъ, чтобы отвѣсъ, удерживаемый у одного изъ навязанныхъ на проволокѣ узелковъ, приходился надъ центромъ сосѣдняго быка, раньше опредѣленнымъ. Тогда отвѣсъ, помѣщенный у другого узелка, прямо давалъ центръ новаго быка. Чтобы не было вытягиванія проволоки, ее держали предварительно около мѣсяца натянутой этими же двумя гирями, и послѣ того точно отмѣренное разстояніе L (т. е. разстояніе между центрами опоръ) помощью отвѣсовъ намѣчалось на проволокѣ узелками.—Прогибъ, который давала проволока при предварительномъ вытягиваніи, оставался одинъ и тотъ же во всѣхъ измѣреніяхъ и потому не вводилъ въ ошибку при отмѣриваніи. Для большей же вѣрности всегда, передъ провѣшиваніемъ, ее провѣряли по раньше обозначеннымъ центрамъ другихъ быковъ. Точки, между которыми провѣшивается проволока, должны быть приблизительно на одинаковой высотѣ. Въ противномъ случаѣ необходимо дѣлать поправки. Такъ напр. еслибы пришлось опредѣлить центръ устоя въ вырытомъ котлованѣ провѣшиваніемъ проволоки съ смежнаго быка, необходимо предварительно опредѣлить нивеллиромъ разность высотъ точекъ на быкѣ и въ котлованѣ. Проволока будетъ представлять гипотенузу прямоугольнаго треугольника, одинъ катетъ котораго равенъ разности высотъ, а другой равенъ L,—поэтому можно опредѣлить длину гипотенузы и прибавить излишекъ противъ L къ разстоянію, отмѣченному въ проволокѣ.

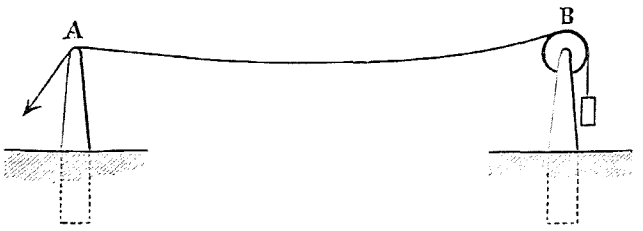


Рис. 165.

Намѣтивъ тѣмъ или инымъ путемъ точки пересѣченія (M, и N) поперечныхъ

осей съ продольными,—остается закрѣпить положеніе этихъ точекъ какими либо знаками. Для этого забиваютъ сваи на берегу по направленію створныхъ линій AB и CD (рис. 466), или же по направленію поперечной оси моста.

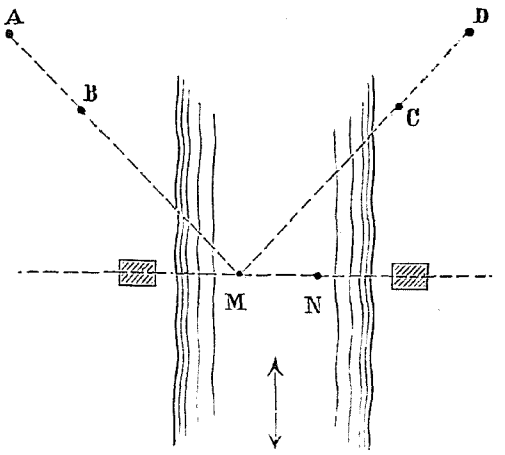


Рис. 466.

Иногда приходится намѣчать центры быковъ — тріангуляціоннымъ пріемомъ. Пусть напр. (рис. 467) дано направленіе продольной оси моста AB и положеніе точки A, совпадающей съ лицевою гранью устоя; кромѣ того извѣстны и величины пролетовъ AC, CB и т. д. Выбравъ на оси AB какую либо точку D, провѣшиваютъ двѣ произвольныя базы DE и DF, точно измѣряютъ ихъ, а равнымъ образомъ и углы EDC и FDC. Поставивъ теодолитъ въ точкахъ E и F, измѣряютъ углы AED и AFD. По даннымъ DE или DF и угламъ при D, E или F—находятъ вычисленіемъ AD; зная же AB, находятъ затѣмъ BD и намѣчаютъ на мѣстѣ точку B, соотвѣтствующую передней грани устоя. Для опредѣленія положенія точки C—находятъ вычисленіемъ углы CED и CFD, такъ какъ въ треугольникахъ того же названія извѣстны CD, DE и DF и углы при D. Поставивъ въ точкахъ E и F теодолитъ такъ, чтобы ось трубы составила съ направленіемъ ED и DF углы CED и CFD — устанавливаютъ по трубѣ вѣхи

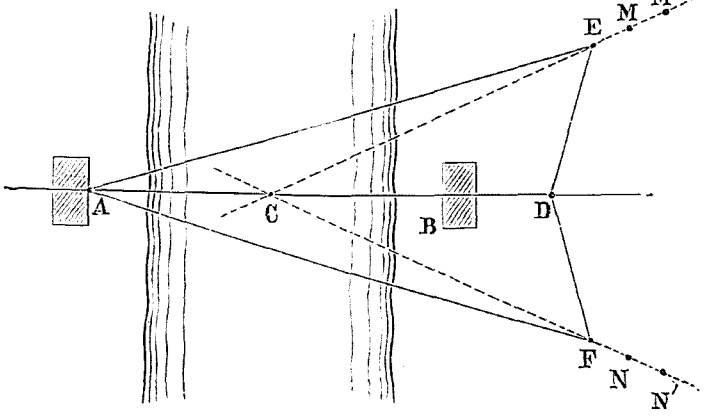
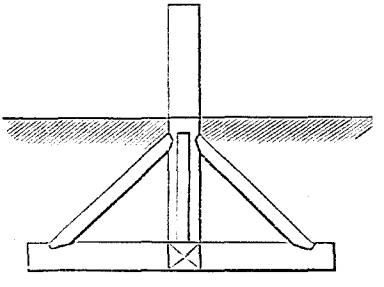


Рис. 467.


Рис. 468.

MM', NN' по направленію линій CE и CF, при чемъ пересѣченіе направленій MM' и NN' и опредѣлитъ точку C.

Реперъ (рис. 468), служащій для провѣрки высотъ различныхъ частей сооруженія, состоитъ обыкновенно изъ врытаго въ землю деревяннаго столба (лучше дубоваго), вышиною около 0,50 саж. Основаніе столба большею частью врубается шипомъ въ накрестъ расположенные лежни и утверждается въ неизмѣнномъ положеніи—четырьмя подкосами. Верхъ столба спиливаетсягори зонтально и на выровненной вершинѣ укрѣпляется металлическая дощечка, на которую ставится рейка. Иногда для постановки рейки дѣлаютъ вверху, сбоку, вырубку въ полдерева,—что хуже, такъ какъ это можетъ помѣшать держать рейку отвѣсно.

На реперѣ полезно написать отмѣтку, къ которой относятся всѣ высоты частей сооруженія. При болѣе значительныхъ сооруженіяхъ, постройка коихъ продолжается нѣсколько лѣтъ,—реперы дѣлаютъ въ видѣ каменныхъ столбовъ, на прочномъ основаніи.

Заготовка матеріаловъ; обмѣръ и пріемка. Составъ цементнаго и сложнаго растворовъ. Приготовленіе цементнаго и сложнаго растворовъ.

Заготовка матеріаловъ; обмѣръ и пріемка. Для обезпеченія безостановочнаго производства работъ необходимо всегда имѣть на мѣстѣ работъ извѣстный запасъ матеріаловъ: бутоваго и штучнаго камня, кирпича, извести, песку, цемента и проч. Но при этомъ не слѣдуетъ доставлять ихъ въ излишествѣ; можетъ потребоваться много мѣста для размѣщенія матеріаловъ, что вліяетъ на усложненіе и удорожаніе перемѣщенія матеріаловъ къ самому сооруженію. Во всякомъ случаѣ матеріалы должны быть заготовлены не менѣе, какъ на шесть дней работы.

Для удешевленія подвозки матеріаловъ изъ карьеровъ или изъ центральныхъ складовъ пользуются, при гужевой доставкѣ, обыкновенно зимнимъ путемъ (если не имѣется въ виду перевозки по желѣзной дорогѣ); доставка на баркахъ лѣтомъ—также дешевый способъ перемѣщенія. Всѣ эти матеріалы складываются по возможности ближе къ самому сооруженію. Штучные, лекальные камни, а также и облицовочные, обыкновенно еще въ карьерахъ приводятся въ правильную форму съ обтеской граней и доставляются на мѣсто работъ въ обдѣланномъ видѣ. Въ извѣстныхъ случаяхъ штучные камни нумеруются.

Бутовый камень складывается отдѣльными штабелями, высотою не болѣе 0,50—0,75 саж., съ основаніемъ отъ 1 до 3 кв. саж.; между штабелями оставляютъ проходы; кирпичъ складывается въ штабеляхъ, по тысячѣ въ каждой; штучные или облицованные камни располагаются въ одинъ рядъ—для облегченія отысканія подходящаго или назначеннаго по чертежу камня. Известь и цементъ въ бочкахъ помѣщаются въ закрытыхъ досчатыхъ помѣщеніяхъ; песокъ и щебень складываютъ въ конусахъ или призмахъ. Жирная известь доставляется въ гашеномъ состояніи (пушонка) или негашеная (кипѣлка), что зависитъ отъ относительной дальности мѣста обжига извести. Если это разстояніе не особенно велико, предпочитаютъ кипѣлку, перевозя ее въ плотныхъ ящикахъ или бочкахъ и сохраняя на мѣстѣ работъ въ закрытыхъ помѣщеніяхъ; такая известь гасится прямо въ тѣсто требуемой густоты. Въ противномъ случаѣ известь доставляется уже гашеная, при чемъ не требуется особенной предосторожности при перевозкѣ. Гидравлическая же известь всегда доставляется въ негашеномъ состояніи, такъ какъ она тотчасъ по погашеніи должна быть употреблена въ дѣло.

Тутъ же вблизи располагаютъ творила (прямоугольныя ямы, обложенныя досками) для храненія известковаго тѣста.

При выборѣ мѣста для тѣхъ или другихъ приспособленій слѣдуетъ всегда имѣть въ виду возможно-меньшее перемѣщеніе матеріала. Такъ напр., если предполагается приготовить бетонъ, то ящикъ для перемѣшиванія щебня съ растворомъ помѣщается между складомъ промытаго щебня и ящиками, въ которыхъ приготовляется растворъ изъ смѣси песку и цемента.

При болѣе значительныхъ сооруженіяхъ, гдѣ требуется приготовленіе раствора и бетона машиннымъ способомъ—на берегу или на понтонахъ устраивается шатеръ, въ которомъ устанавливаются локомобиль или другой двигатель, барабаны для приготовленія раствора и бетона, а также резервуаръ съ водой, съ трубами, проведен-

ными въ барабаны. Вблизи шатра располагаются склады щебня, песку и цемента. Вращеніе оси барабановъ и накачиваніе воды производится двигателемъ. Шатеръ устраивается обыкновенно съ возвышеннымъ помостомъ, подъ копмъ располагаются рельсовые пути; на этихъ послѣднихъ устанавливаются вагончики для пріема готоваго раствора и бетона и для перемѣщенія ихъ къ мѣсту работъ. Помостъ въ свою очередь соединенъ рельсовыми путями со складами песку, цемента и щебня. Порядокъ работъ обыкновенно слѣдующій: на помостъ подвозятся въ тачкахъ песокъ и цементъ, которые перемѣшиваются на-сухо въ опредѣленной пропорціи; далѣе смѣсь всыпается въ барабанъ для приготовленія раствора; туда же впускается изъ резервуара вода въ необходимомъ количествѣ, и затѣмъ ось вращенія барабана съ насаженными на пей рѣзаками (пожами) приводится во вращательное движеніе. Когда растворъ окажется достаточно перемѣшаннымъ, открываютъ дверцу (щитокъ) барабана, вслѣдствіе чего растворъ вываливается и сквозь отверстіе, сдѣланное въ помостѣ, падаетъ въ вагончики, поставленные подъ помостомъ на путяхъ, и отвозится рабочими на мѣсто работъ. Если же растворъ долженъ быть употребленъ для приготовленія бетона, то, задвинувъ предварительно щитомъ отверстіе, сдѣланное въ помостѣ — растворъ, выпавшій изъ барабана, сбрасываютъ лопатами въ расположенный рядомъ другой барабанъ для приготовленія бетона. Одновременно доставляютъ изъ склада щебень въ вагончикахъ, въ кузовѣ которыхъ имѣются отверстія; вагончикъ со щебнемъ, вкатываемый на помостъ, становится предварительно подъ водопроводный кранъ и обливается водой до тѣхъ поръ, пока стекающая изъ отверстій кузова вода не будетъ вполнѣ свѣтлой; послѣ сего вагончикъ продвигается дальше, и щебень сбрасывается въ барабанъ для приготовленія бетона, куда въ то же время прибавляется немного воды; затѣмъ ось барабана съ насаженными на ней кулаками приводится во вращеніе. Когда бетонъ окажется достаточно перемѣшаннымъ, отодвигаютъ заслонку въ днѣ барабана; бетонъ вываливается въ поставленные подъ помостомъ вагончики и отвозится къ мѣсту работъ.

Освидѣтельствованіе и пріемку матеріаловъ, согласно требованіямъ техническихъ условій, слѣдуетъ дѣлать заблаговременно, чтобы во избѣжаніе остановки работъ не быть вынужденнымъ допускать въ дѣло матеріалы неудовлетворительнаго качества. Качество камня полезно освидѣтельствовать еще въ карьерахъ для сбереженія расходовъ по перевозкѣ камня, подлежащаго забракованію.

Обмѣръ выставляемаго матеріала дѣлается исчисленіемъ объема геометрической фигуры штабелей или отдѣльныхъ штукъ камней съ указаніемъ площади обтески.

Для *каменныхъ* работъ преимущественно употребляется гранитъ, песчаникъ (кварцевый), известнякъ, булыжный камень, гранитный и песчаниковый, известковый песчаникъ, базальтъ, порфиръ, діоритъ; глинистые известняки не допускаются. Вообще камень долженъ быть плотнаго, однообразнаго, сплошного сложенія, мелкозернистый, безъ трещинъ и прослоекъ постороннихъ породъ, не вывѣтриваюшійся и сопротивляющійся дѣйствію мороза.

Кирпичъ долженъ быть приготовленъ изъ хорошо перемѣшанной глины, безъ избытка песку и не содержащей мергеля; онъ долженъ быть хорошо обожженъ, ровнаго цвѣта, съ плоскими гранями, съ правильными кромками и прямыми углами; долженъ хорошо принимать теску и при ударѣ молоткомъ издавать чистый звукъ. Въ изломѣ кирпичъ долженъ представлять плотную и однородную массу, безъ камней, а въ особенности безъ крапинокъ обожженной извести; предѣльное увеличеніе вѣса при насыщеніи водою: 4%—6%.

Известь должна быть свѣже-обожженная. Если известь гасится не на мѣстѣ работъ, а доставляется въ видѣ пушонки, то количество содержащихся въ извести посторонних веществъ опредѣляется тѣмъ, что извѣстное количество извести ссыпаютъ въ полотняный мѣшочекъ и отмучиваютъ въ водѣ; разность въ вѣсѣ до и послѣ отмучиванія покажетъ степень чистоты извести. Доставленную на мѣсто работъ пушонку, передъ употребленіемъ въ дѣло, держатъ въ творильной ямѣ нѣкоторое время подъ водою, около трехъ дней, что называется *замореніемъ* извести. Она располагается слоями толщиною въ $^1/_2$ фута, поперемѣнно со слоями песку. Послѣ иоложенія слоя песку наливаютъ столько воды, чтобы известь и песокъ были ею покрыты. Передъ употребленіемъ въ дѣло забираютъ лопатой изъ ямъ песокъ и известковое тѣсто кладутъ въ каменьщичій ящикъ, перемѣшиваютъ и разработываютъ лопатами. Хотя изъ ямы получается тѣсто довольно жесткое, но ни въ какомъ случаѣ не слѣдуетъ приливать къ нему воды. При тщательномъ переработываніи тѣста, известь отдаетъ механически связанную воду и можно получить растворъ вязкаго вида. Потомъ прибавляютъ въ ящикъ въ опредѣленной пропорціи песокъ и перемѣшиваютъ до тѣхъ поръ, пока не получится однородная масса. При значительномъ расходѣ раствора—перемѣшиваніе производится помощью бѣгуновъ, конным или инымъ приводомъ.

Если же известь доставляется негашеная (кипѣлка)—она гасится на мѣстѣ прямо въ тѣсто. Для этого ставятъ около творила ящикъ, около 1 саж. въ сторонѣ и высотою около 8 вершковъ. Въ одной изъ стѣнокъ сдѣланъ прорѣзъ во всю высоту стѣнки и шириною около 8 вершковъ; прорѣзъ прикрытъ сѣткой и деревяннымъ щиткомъ. Опустивъ щитъ, наполняютъ ящикъ кипѣлкой и поверхъ ея наливаютъ воду, или обратно—сначала наливаютъ воду и въ нее опускаютъ кипѣлку, при чемъ, по мнѣнію нѣкоторыхъ, гашеніе въ послѣднемъ случаѣ происходитъ несравненно лучше. Вслѣдъ за симъ появляется шипѣніе, известь вспучивается, растрескивается и сильно нагрѣвается. Когда не замѣчается больше движенія, известь переворачиваютъ деревянными крюками, чтобы ускорить гашеніе непогасившихся еще частицъ. Для изслѣдованія массы гасимой извести просовываютъ палку; если по выпутіи палки изъ отверстія показываются пыльные пары, тогда направляютъ въ отверстіе воду изъ ящика же, по проложенной бороздкѣ. Затѣмъ поднимаютъ щитокъ, спускаютъ тѣсто въ творильную яму и тамъ покрываютъ слоемъ песку; потомъ гасятъ новое количество извести, которое опять спускаютъ въ творило, пока оно не будетъ наполнено.

Весьма важное значеніе имѣетъ количество воды, употребленное для гашенія. Если воды взято мало, то известь подвергается дѣйствію очень высокой температуры, не будучи охлаждаема избыткомъ воды; частицы ея спекаются въ крупинки, и она обращается въ *сожженную* известь, негодную для употребленія (перепалъ). При обиліи воды, температура не достаточно высока, чтобъ способствовать раздробленію извести въ порошокъ; избытокъ воды охлаждаетъ массу; известь получается въ крупинкахъ и также негодна для употребленія (недопалъ). Лучше всего опредѣлять количество воды опытомъ. При гашеніи извести въ порошокъ достаточно *четыре* объема воды на *три* объема кипѣлки, а при гашеніи въ тѣсто—необходимо *три* объема воды на *одинъ* объемъ кипѣлки.

Приготовленное такимъ образомъ тѣсто можетъ оставаться въ ямахъ неопредѣленное время, не теряя своихъ достоинствъ; необходимо только устранить соприкосновеніе съ воздухомъ. Съ другой стороны употребленіе известковаго тѣста для раствора не допускается ранѣе шести дней по загашеніи извести (за исключеніемъ гидравлической извести).

Гидравлическая известь гасится передъ самымъ употребленіемъ въ дѣло. При гашеніи она не обращается въ тѣсто и не разсыпается въ порошокъ и потому послѣ гашенія необходимо раздробить ее. При гашеніи она впитываетъ воду, а при раздробленіи опять отдаетъ ее отъ себя; этой воды достаточно для образованія раствора. Поэтому подъ жернова мельницы вмѣстѣ съ гидравлическою известью подбрасываютъ песокъ, и получается одновременно растворъ.

Качество известковаго раствора изъ жирной извести (1 ч. извести и 2—3 ч. песку) обыкновенно опредѣляется тѣмъ, чтобы подлитые на немъ семь кирпичей, по истеченіи семи сутокъ, при подъемѣ ихъ за верхній, остались бы всѣ въ связи между собою, безъ распаденія.

Цементъ—долженъ быть доставляемъ въ крѣпкихъ бочкахъ, хорошо укупоренный. Поврежденный или подмоченный — ни въ какомъ случаѣ не долженъ быть употребляемъ въ дѣло. Цементъ долженъ быть медленно твердѣющій и удовлетворять нормальнымъ условіямъ по пріемкѣ и испытанію *). Цементный растворъ долженъ имѣть видъ густого и вязкаго тѣста.

Составъ цементнаго раствора измѣняется отъ 1 ц. : 1 п. и 1 ц. : 2 п.—для частей сооруженія, гдѣ помимо крѣпости требуется и водонепроницаемость — до 1 ц. : 3 п. и 1 ц. : 4 п.—для устройства основаній, опоръ и для приготовленія бетона.

Между объемами составныхъ частей и готоваго раствора получается слѣдующая зависимость:

Объемы:				На 1 куб. м. раствора требуется:		
Цем.	Пес.	Воды.	Раствора.	Цемента кил.	Песку литр.	Воды литр.
1	1	0,53	1,50	933	667	353
1	2	0,75	2,25	622	888	333
1	3	0,98	3,00	467	1000	327
1	4	1,25	3,80	368	1053	329

т. е. объемъ раствора составляетъ около 75% отъ общаго объема цемента и песку.

Болѣе тощему раствору съ содержаніемъ 1 ц. : 5 п. — нѣкоторые инженеры предпочитаютъ сложный растворъ съ прибавленіемъ незначительнаго количества извести, дѣлающей растворъ болѣе вязкимъ, такъ какъ тощій растворъ трудно равномѣрно разравнивать и онъ не обладаетъ достаточной вязкостью и пластичностью. Весьма важное значеніе имѣетъ въ этомъ случаѣ количество прибавляемой извести. По мѣрѣ увеличенія прибавленія извести качество тощаго цементнаго раствора улучшается, но содержаніе извести не должно превосходить из-

*) Послѣднее видоизмѣненіе нормальныхъ условій состоялось въ 1899 году. Основныя требованія состоятъ въ томъ, что образцы раствора, изготовленнаго изъ чистаго портландъ-цемента, должны представлять черезъ 7 дней послѣ затворенія раствора сопротивленіе разрыву не менѣе 20 $\frac{\text{кил.}}{\text{см.}^2}$, а черезъ 28 дней не менѣе 25 $\frac{\text{кил.}}{\text{см.}^2}$. Образцы, приготовленные изъ 1 ц. : 3 п. — должны представлять въ тѣ же сроки сопротивленіе разрыву не менѣе 7 $\frac{\text{кил.}}{\text{см.}^2}$ и соотвѣтственно — 10 $\frac{\text{кил.}}{\text{см.}^2}$. Начало схватыванія должно быть не ранѣе четверти часа, считая съ момента прибавленія воды къ цементу, а конецъ схватыванія не ранѣе одного часа и не позже 12 часовъ.

вѣстнаго предѣла, за которымъ прибавленіе извести ухудшаетъ качество раствора. По опытамъ Dyckerhoff'a и Wolff'a, при надлежащемъ содержаніи извести, крѣпость тощаго цементнаго раствора увеличивается на $40^0/_0$—$100^0/_0$, а сцѣпленіе увеличивается еще въ большей степени. Наиболѣе подходящій составъ сложнаго раствора слѣдующій:

1 ц. : 5 п. : $^1/_2$ известк. тѣста
1 ц. : 6—7 п. : 1 » »
1 ц. : 8 п. : $1^1/_2$ » »
1 ц. : 10 п. : 2 » »

Для указаннаго состава раствора существуетъ слѣдующее соотношеніе между объемами составныхъ частей и объемомъ готоваго раствора:

Объемы:					На 1 куб. м. раствора требуется:			
Цемента.	Песка.	Извест. тѣста.	Воды.	Раствора.	Цемента кил.	Песку литр.	Извести литр.	Воды литр.
1	5	0,5	1,30	4,90	286	1020	102	265
1	6	1,0	1,35	6,00	233	1000	167	225
1	7	1,0	1,60	6,80	206	1029	147	235
1	8	1,5	1,60	7,80	182	1010	195	205
1	10	2,0	1,70	9,45	148	1055	212	180

т. е. объемъ раствора составляетъ около $75^0/_0$ отъ общаго объема цемента, песку и известковаго тѣста.

Вышеприведенное соотношеніе предполагаетъ въ дѣйствительности *вѣсовое* соотношеніе, отъ котораго слѣдуетъ перейти къ *объемному;* но въ большинствѣ случаевъ удѣльные вѣса песка и цемента почти тождественны; поэтому объемное отношеніе приблизительно равно вѣсовому отношенію. Замѣтимъ, что растворъ изъ одного цемента неудовлетворителенъ, такъ какъ отъ дѣйствія атмосферы онъ быстро трескается. Если требуется, чтобы растворъ былъ водонепроницаемымъ, то онъ долженъ быть достаточно жирный, приготовленный съ пескомъ средней крупности. По изслѣдованіямъ Dyckerhoff'a слѣдующіе составы, при толщинѣ шва въ 15 мм., можно считать водонепроницаемыми:

1 ц. : 1 п.
1 ц. : 2 п. : $^1/_2$ известкового тѣста
1 ц. : 3 п. : 1 » »
1 ц. : 5 п. : $1^1/_2$ » »
1 ц. : 6 п. : 2 » »

Приготовленіе цементнаго раствора. Цементный растворъ заготовляется за одинъ разъ въ количествѣ не больше того, которое можетъ быть употреблено въ дѣло прежде, чѣмъ растворъ начнетъ схватываться. Приготовленіе раствора состоитъ въ томъ, что насыпаютъ на досчатый помостъ песокъ не толстымъ слоемъ въ опредѣленномъ количествѣ, поверхъ него располагаютъ въ соотвѣтственномъ количествѣ цементъ и тщательно все перемѣшиваютъ, пока не получится смѣсь однообразнаго цвѣта. Затѣмъ смѣсь насыпаютъ въ творило или въ барабанъ и при непрерывномъ перемѣшиваніи прибавляютъ медленно необходимое количество воды. Количество прибавляемой воды находится въ зависимости отъ быстроты

схватыванія, назначенія раствора и отъ погоды. Быстро схватывающійся цементъ требуетъ бо́льшаго количества воды; при сырой погодѣ требуется менѣе воды; если растворъ идетъ на приготовленіе бетона, который будетъ втрамбовываться, то онъ долженъ быть достаточно сухимъ, вродѣ влажной земли, допускающимъ скатываніе шариковъ, т. е. долженъ быть настолько сухимъ чтобы при трамбованіи только что начинала выдѣляться вода. Растворъ, употребляемый для каменной кладки, долженъ содержать въ себѣ только настолько воды, чтобы легко сходить съ каменщичьей лопатки. Вообще, чѣмъ меньше воды употреблено для приготовленія раствора, тѣмъ лучше; тщательнымъ перемѣшиваніемъ—растворъ, при маломъ количествѣ воды, дѣлается вязкимъ, при чемъ онъ уплотняется и дѣлается болѣе прочнымъ. При значительномъ количествѣ воды прочность и плотность раствора уменьшаются, а при сырой и холодной погодѣ затвердѣваніе идетъ болѣе медленно. Для кирпичной кладки растворъ употребляется, впрочемъ, болѣе жидкимъ по сравненію съ растворомъ для каменной кладки, такъ какъ кирпичъ впитываетъ много влаги. Если растворъ начинаетъ крѣпнуть ранѣе употребленія въ дѣло, то его ни въ какомъ случаѣ пельзя употреблять въ кладку, хотя бы и разжиженнымъ отъ прибавленія воды. При болѣе значительныхъ сооруженіяхъ пользуются механическимъ перемѣшиваніемъ въ барабанахъ (рис. 469), съ вертикальной, горизонтальной или наклонной осью вращенія, съ насаженными на ней ножами. Ножи имѣютъ обыкновенно очертаніе винтовыхъ лопастей, что безусловно необходимо при горизонтальномъ барабанѣ, для того, чтобы передвигать растворъ къ одному концу барабана, гдѣ имѣется закрываемое щитомъ отверстіе. Въ типѣ барабана, указанномъ на рис. 469, при высотѣ въ 1,1 м., діаметрѣ 0,85 м. и при двигателѣ въ 2 паровыя лошади, изготовляется въ часъ отъ 2 до 3 куб. метр. раствора.

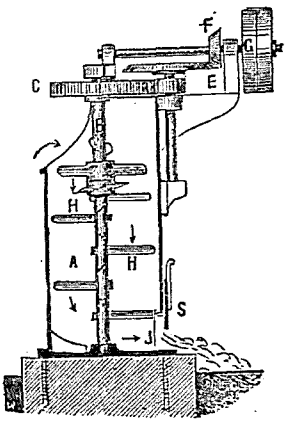


Рис. 469.

Приготовленіе сложнаго раствора состоитъ въ слѣдующемъ: известковое тѣсто разбавляется въ ручномъ или машинномъ творилѣ водою такъ, чтобы образовалось известковое молоко; затѣмъ всыпаютъ заранѣе перемѣшанный песокъ съ цементомъ и всю смѣсь тщательно перемѣшиваютъ, пока не получится однообразное тѣсто. Если вмѣсто известковаго тѣста берется пушонка, то предварительно перемѣшиваютъ въ сухомъ состояніи известь, песокъ и цементъ и затѣмъ прибавляютъ воду. Необходимо обратить вниманіе, чтобы въ пушонкѣ не оставалось непогасившихся частей; полезно ее просѣять или измолоть; безъ этой предосторожности частицы могутъ со временемъ погаситься и, увеличившись въ объемѣ, разстроить прочность швовъ.

Песокъ—долженъ быть чистый, безъ примѣси глины, землистыхъ и органическихъ веществъ. Лучшимъ пескомъ считается грунтовый, какъ состоящій изъ неровныхъ, угловатыхъ песчинокъ, но при обязательномъ условіи быть тщательно промытымъ и освобожденнымъ отъ глины и растительныхъ веществъ. При болѣе значительныхъ сооруженіяхъ промывка песка дѣлается набрасываніемъ его въ наклонный металлическій или досчатый желобъ, длиною около 3 саж., шириною 0,25 с. и высотою 0,06 с., по которому протекаетъ струя воды. Для болѣе равномѣрной засыпки песка, перемѣщаютъ надъ желобомъ противъ теченія воронку,

снабженную внизу клапаномъ, съ насыпаннымъ въ ней пескомъ. Рѣчной песокъ — чище всякаго другого, но частицы его округлены. Морской песокъ также представляетъ округленныя песчинки, въ добавокъ пропитанныя вредными для раствора солями. Наконецъ напосный (верховый), сыпучій песокъ, состоящій изъ мелкихъ легкихъ кварцевыхъ зеренъ, смѣшанныхъ съ известью и глиной—наиболѣе неудовлетворительный для раствора песокъ.

По составу своему лучшимъ пескомъ считается кварцевый, затѣмъ полевошпатовый, и хуже всего—известковый.

Для бутовой кладки идетъ крупный песокъ, т. е. такой, который проходитъ чрезъ сито съ отверстіями шириною 1,8 лин., и не проходитъ чрезъ отверстія шириною 0,8 лин.; для тесовой и кирпичной кладки употребляется средній песокъ, проходящій чрезъ отверстія въ 0,4 линіи.

На сколько вліяетъ крупность песка на крѣпость раствора, можно видѣть изъ слѣдующихъ опытныхъ результатовъ. Послѣ 28 дней затвердѣнія образцы раствора въ составѣ 1 ц. : 3 п., приготовленнаго изъ портландъ-цемента и шести сортовъ песку—имѣли слѣдующее временное сопротивленіе разрыву:

Мелкій грунтовой песокъ	5,1	$\frac{\text{кил.}}{\text{см.}^2}$
Рѣчной песокъ I, мелкій	11.6	»
Тоже, крупный	20,2	»
Рѣчной песокъ II, мелкій	11,7	»
Рѣчной песокъ III, мелкій.	14,5	»
Тоже, крупный	21,1	»
Нормальный песокъ	20,9	» *).

Такимъ образомъ, очевидно, преимущество—за крупнымъ пескомъ; хотя съ другой стороны водонепроницаемость уменьшается съ увеличеніемъ крупности зерна. Замѣтимъ, что нормальнымъ пескомъ называется смѣсь по ровну изъ остатковъ, полученныхъ отъ просѣвки черезъ сита въ 144 и 225 отверстій на кв. сант., послѣ предварительной просѣвки песка черезъ сито въ 64 отверстія на кв. сант. Толщина проволоки въ песочныхъ ситахъ составляетъ: 0,4 мм., 0,3 мм. и 0,2 мм.— для ситъ въ 64, 144 и 225 отверстій.

Вода—должна быть мягкая, чистая и свободная отъ солей. Поэтому лучшая вода—дождевая, затѣмъ рѣчная, и наконецъ ключевая и грунтовая; послѣднія почти всегда содержатъ соли. Морская вода можетъ быть употреблена въ крайнемъ случаѣ только для растворовъ въ гидротехническихъ сооруженіяхъ.

Перемѣщеніе матеріала на мѣстѣ работъ. Лѣса. Теплые бараки. Распредѣленіе работъ по временамъ года. Временныя вспомогательныя сооруженія.

При незначительныхъ и невысокихъ сооруженіяхъ матеріалъ подносится на рукахъ, въ посилкахъ. Если высота не болѣе 0,66 саж., то каменщикъ работаетъ, стоя на землѣ; при высотѣ до 1,2 саж. ставятся стелюги на козлахъ; при большей высотѣ устраиваютъ лѣса. Въ данномъ случаѣ лѣса, т. е. подмости, на которыхъ стоятъ рабочіе и располагается матеріалъ, — простой конструкціи. По периметру сооруженія врывается въ землю двойной рядъ стоекъ, стянутыхъ на различныхъ высотахъ продольными и поперечными схватками, на которыхъ кладется досчатый настилъ; подъ схватки ставятъ короткіе брусья, подушки

*) Der Portland-Cement und seine Anwendungen.

(ушаки), врубленные въ стойку и скрѣпленные съ нею заершенными гвоздями. Сообщеніе между различными этажами лѣсовъ производится по *стремянкамъ*.

При крупныхъ работахъ пользуются подвозкой матеріала на вагонеткахъ по рельсовому пути, съ подъемомъ его вверхъ паровыми или ручными лебедками, помѣщенными внизу, или гдѣ либо на подмостяхъ, или на мостовыхъ кранахъ, или же пользуются вращающимися кранами. Вмѣсто подвозки на вагонеткахъ — матеріалъ доставляется иногда къ каждой изъ опоръ на баркахъ или плотахъ. Въ первомъ случаѣ вдоль постояннаго моста, нѣсколько въ сторонѣ, устраивается временный мостъ (обыкновенно съ низовой стороны); на немъ укладывается рельсовый путь, соединенный съ магазиномъ, со складами камня, извести и проч. (фиг. 164, табл. 20). Вдоль боковыхъ граней каждой изъ опоръ имѣется также рельсовый путь. Если опора незначительно возвышается надъ продольнымъ рельсовымъ путемъ, то поперечные пути находятся въ одномъ уровнѣ съ продольнымъ путемъ и въ такомъ случаѣ соединяются съ нимъ легкими поворотными кругами, и, слѣдовательно, вагонетки съ матеріаломъ прямо поступаютъ на поперечные пути. Большею же частью,—а особенно при достаточно высокихъ опорахъ, поперечные пути располагаются значительно выше, и именно на столько, чтобы между верхней поверхностью опоры и лебедкой мостового крана оставалось не менѣе 1 саж. Въ этомъ случаѣ по поперечнымъ путямъ (*Б*) (фиг. 165, табл. 20) перемѣщается мостовой кранъ (*В*), вдоль котораго въ свою очередь перемѣщается лебедка (*Г*). На фиг. 165, табл. 20 (*А*)—представленъ временный мостъ съ продольнымъ путемъ, по которому перемѣщаются вагонетки съ камнемъ. Параллельно длиннымъ боковымъ гранямъ опоры забитъ двойной рядъ высокихъ свай (*Б*), перекрытыхъ насадкой, на которыхъ расположены продольные брусья, шпалы и рельсы, такъ что одинъ рельсъ поперечнаго пути находится по одну сторону каменной опоры, а второй—по другую сторону. На оси колесъ мостового крана (*В*) опирается парный брусъ, въ который врублены стойки и подкосъ крана. Стойки и подкосы перекрыты вверху продольной насадкой, образующей прогонъ крана, усиленный притомъ шпренгелемъ; на продольныхъ насадкахъ расположены поперечины, прогоны, шпалы и рельсовый путь, по которому перемѣщается лебедка (*Г*). Такимъ образомъ вагонетка, нагруженная на берегу камнемъ, перемѣщается по пути вдоль моста и останавливается противъ одного изъ поперечныхъ путей; мостовой кранъ приводится къ концу поперечнаго пути на столько, чтобы лебедку можно было установить надъ вагонеткой; зацѣпивъ крюкомъ лебедки за камень, поднимаютъ послѣдній съ вагонетки; затѣмъ мостовой кранъ отодвигается назадъ и останавливается противъ того мѣста, куда слѣдуетъ опустить камень; лебедка, передвигаясь по мостовому крану, точно становится надъ тѣмъ мѣстомъ опоры, куда требуется камень.

Нерѣдко устраиваютъ по обѣ стороны моста временный путь для передвиженія вагонетокъ, и рядомъ—особый продольный же путь для перемѣщенія мостового крана, итого по три рельса съ каждой стороны (фиг. 166, табл. 21).

При очень высокихъ опорахъ нельзя уже довольствоваться мостовымъ краномъ, передвигающимся по одному опредѣленному поперечному пути; необходимо мостовой кранъ или лебедки послѣдовательно помѣщать на различныхъ этажахъ подмостей. Въ этомъ случаѣ мостовые краны дѣлаются болѣе простой конструкціи, какъ напримѣръ, показанный на фиг. 167, табл. 21, при чемъ они постепенно поднимаются вверхъ, по мѣрѣ возведенія кладки. Въ приведенномъ примѣрѣ кругомъ опоры забитъ рядъ высокихъ свай, стянутыхъ горизонтальными и діагональными

(въ вертикальной плоскости) схватками. Къ внутренней грани продольнаго ряда свай привинчивается съемная схватка, поддерживаемая сверхъ того кобылками; по краю съемной схватки уложенъ рельсъ, по которому перемѣщается кранъ съ лебедкой. По мѣрѣ возведенія кладки—съемная схватка соотвѣтственно перемѣщается вверхъ.

Другой подобный же примѣръ показанъ на фиг. 168, 169, 171, табл. 21 и фиг. 170 и 172, табл. 22—представляющихъ подмости опоръ Ингулецкаго моста на Екатерининской желѣзной дорогѣ. Кругомъ проектированной каменной опоры забитъ двойной рядъ свай (фиг. 169, табл. 21); за исключеніемъ свай, расположенныхъ со стороны менѣе широкой грани быка — всѣ остальныя сваи —парныя. Второй рядъ свай отстоитъ отъ перваго ряда на разстояніи 2 саж.; сваи обоихъ рядовъ взаимно соединены продольными (двойными) и поперечными (одиночными) схватками, расположенными по высотѣ на разстояніи 2 саж.—одинъ рядъ отъ другого; кромѣ того всѣ сваи стянуты діагональными схватками. Матеріалъ для кладки складывался внизу, на землѣ (фиг. 170, табл. 22), или подвозился въ особыхъ вагонеткахъ (фиг. 172, табл. 22), но въ обоихъ случаяхъ онъ помѣщался со стороны менѣе широкой грани быка, въ промежуткѣ между двумя крайними поперечными рядами свай. Для подъема матеріала вверхъ и для перемѣщенія его вдоль опоры устраивался, въ промежуткѣ между внутреннимъ продольнымъ рядомъ свай, рельсовый путь для двухъ лебедокъ (фиг. 170, табл. 22) или для одного мостового крана (фиг. 171, табл. 21), при чемъ путь этотъ можно было постепенно поднимать съ одного этажа на другой. Для поддержанія этого пути, нѣкоторыя изъ поперечныхъ схватокъ (фиг. 170, табл. 22) дѣлались болѣе длинными и тройными; конецъ выступающихъ схватокъ былъ подпертъ тройными подкосами. Поверхъ выступающихъ концовъ схватокъ помѣщенъ былъ прогонъ, надъ которымъ располагались рельсы для перемѣщенія мостового крана съ лебедкой (фиг. 171, табл. 21). На нѣкоторыхъ изъ опоръ вмѣсто одного мостового крана были употреблены двѣ лебедки (фиг. 170, табл. 22). Наружный рельсъ каждаго изъ рельсовыхъ путей лебедокъ опирался на подпертые подкосами концы схватокъ; для поддержанія же внутренняго рельса колеи служила особая мостовая ферма (системы Лонга), опиравшаяся на спеціально для сего забитыя сваи, въ головахъ быка. Ферма состояла изъ двухъ поясовъ (прогоновъ) на разстояніи около 0,75 саж. одинъ отъ другого, соединенныхъ деревянными раскосами и стойками (фиг. 170, табл. 22, разрѣзъ ⊥ къ оси моста). На верхнемъ поясѣ фермы помѣщенъ былъ рядъ брусьевъ, концы которыхъ подпирались подкосами, имѣвшими упоръ въ нижнемъ поясѣ той же фермы. Выступающіе концы брусьевъ и служили для поддержанія внутренней колеи рельсовыхъ путей.

На глубокихъ рѣкахъ, гдѣ забивка свай для подмостей встрѣтила бы не мало затрудненій, пользуются другимъ пріемомъ. Такъ какъ въ этомъ случаѣ основанія опоръ почти исключительно—кессонныя, то тѣ же самыя плавучія подмости (на баркахъ), которыя служили для опусканія кессона и для склада матеріала—служатъ подмостями и послѣ того, какъ кессонъ всталъ на мѣсто. Если же кромѣ того опора довольно высокая, то во избѣжаніе устройства высокихъ подмостей на баркахъ — прокладываются на извѣстной высотѣ ряды брусьевъ поперекъ опоры, и концы ихъ подпираются подкосами (рис. 470). Брусья эти во время производства работъ не задѣлываются въ кладку наглухо и, по окончаніи работы, вынимаются; пустоты задѣлываются бетономъ и облицовываются камнемъ.

Иногда камень подвозится къ опорамъ на баркахъ; въ этомъ случаѣ уста-

навливаютъ около опоры кранъ, вращающійся около вертикальной оси (фиг. 173, табл. 22), или же пользуются мостовымъ краномъ съ лебедкой.

Если поднимаемый грузъ очень великъ, то вмѣсто ручной лебедки пользуются паровой, или локомобилемъ, установленнымъ внизу (фиг. 174, табл. 22).

Растворъ поднимается вверхъ въ ящикахъ кранами, или пользуются для сего приспособленіемъ иа подобіе норьи (фиг. 175, табл. 22). Звенья безконечной цѣпи состоятъ изъ полосъ желѣза, взаимно соединенныхъ стяжными болтами; иа эти же стяжные болты навѣшиваются ящики съ растворомъ.

Въ извѣстныхъ случаяхъ, когда напримѣръ пролеты ие велики, а высота значительна, для подъема матеріала и для кладки опоръ — вовсе не устраиваютъ вертикальныхъ лѣсовъ, а ограничиваются устройствомъ временныхъ деревянныхъ моетовыхъ фермъ, иа которыхъ располагается рельсовый путь съ мостовыми крапами (фиг. 176, табл. 22). Опорами для этихъ фермъ служатъ мостовыя опоры. По мѣрѣ возведенія кладки, фермы, опирающіяся на клѣтки изъ брусьевъ, постепенно поднимаются домкратами. Матеріалъ подвозится къ одному опредѣленному мѣсту и поднимается вверхъ при помощи локомобиля. Полезно — какъ это и показано на фиг. 176, табл. 22—прикрѣплять къ обоимъ концамъ каната, перекииутаго черезъ блоки — по платформѣ; при опусканіи одиой платформы — другая одновременно поднимается. Матеріалъ, доставленный вверхъ, развозится по опорамъ мостовыми кранами. На этомъ чертежѣ показанъ подъемъ раствора помощью норьи.

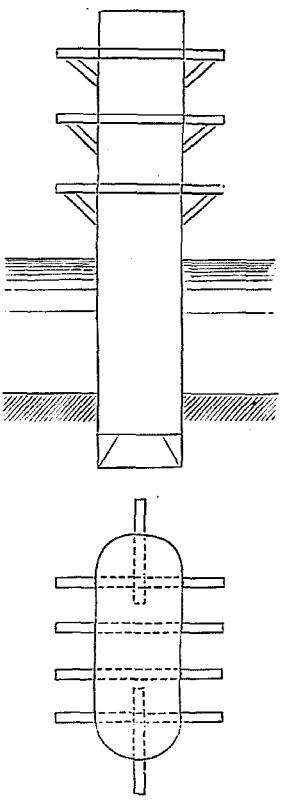


Рис. 470.

Иногда матеріалъ перемѣщается, какъ по горизонтальному, такъ и по наклонному направленіямъ, въ особыхъ люлькахъ, подвѣшенныхъ къ роликамъ, перемѣщающимся по проволочному канату (фиг. 176а, табл. 22). Для нагрузки камня въ барки прибѣгаютъ къ подобнымъ же манипуляціямъ, т. е. устраиваютъ нормально къ берегу двухъ-ярусныя подмости (фиг. 177, табл. 22); по нижнему ярусу перемѣщается вагонетка, а по верхнему—лебедка. Нижній ярусъ располагается въ одномъ уровнѣ съ рельсовымъ путемъ (если камень подвозится по желѣзной дорогѣ) или съ полотномъ проѣзжей дороги (при доставкѣ камня на подводахъ). Лебедкой камень поднимается изъ телѣгъ или изъ вагоновъ и ставится па вагонетки. Передвинувъ вагонетку по нижнему ярусу къ краю подмостей,—тою же лебедкой снимаютъ камень съ вагонетки и опускаютъ въ барки. Поднимаемые камни обвязываютъ канатами, или же пользуются особаго рода щипцами, раздвигающимися при подъемѣ камня; въ этомъ случаѣ необходимо сдѣлать соотвѣтственное углубленіе въ камнѣ (фиг. 178, табл. 22).

При спѣшныхъ работахъ оказывается иногда необходимымъ вести работу и зимою, для чего опора, начиная съ опредѣленной высоты, обстраивается теплымъ баракомъ. Внутренняя площадь должна быть такъ расчитана, чтобы, кромѣ возводимаго сооруженія, въ немъ помѣщались творила для приготовленія раствора, а также всѣ необходимые матеріалы, камень, песокъ, цементъ и проч., въ количествѣ двухъ или трехъ-дневнаго ихъ расходованія.

Въ зимніе мѣсяцы заготовляютъ матеріалъ, устраиваютъ подмости, ремонтируютъ машины, инструменты и проч. Весною обыкновенно начинаютъ работы, устраиваютъ основанія и проч. Лѣтомъ и осенью, пользуясь низкимъ горизонтомъ воды, стараются вывести кладку выше горизонта высокихъ водъ.

Къ временнымъ вспомогательнымъ сооруженіямъ слѣдуетъ отнести кромѣ временныхъ мостовъ, подмостей и разныхъ механическихъ приспособленій по перемѣщенію и подъему матеріаловъ: помѣщеніе для конторы, бараки для рабочихъ, кузницу, мастерскія, магазины, крытыя помѣщенія для склада матеріаловъ, временные пути, поворотные круги, колодцы и проч. На (фиг. 164, табл. 20) показано расположеніе этихъ построекъ при сооруженіи моста чрезъ рѣку Бугъ на Сѣдлецъ-Малкинской желѣзной дорогѣ.

Бутовая и кирпичная кладка. Составъ бетона. Приготовленіе бетона. Бетонная кладка, подводная и надводная.

Бутовая кладка. Прп производствѣ бутовой кладки фундамента, первый рядъ камней кладется на грунтъ или на ростверкъ—насухо. Для него выбираются самые большіе и постелистые камни высотою 0,15—0,20 саж., шириною 0,25—0,30 саж., что необходимо для болѣе равномѣрной передачи давленія на грунтъ. Камни укладываются какъ можно плотнѣе, и промежутки между ними расщебениваются хорошимъ щебнемъ и осколками; кладку начинаютъ съ боковыхъ камней и потомъ заполняютъ середину. Послѣ плотной утрамбовки всего ряда, онъ заливается жидкимъ растворомъ до тѣхъ поръ, пока растворъ не начнетъ выступать изъ всѣхъ швовъ.

Когда первый рядъ готовъ, продолжаютъ вести кладку далѣе на растворѣ подъ лопатку; сначала выводятъ *версту*, т. е. кладутъ на растворѣ камни по периметру, выбирая для сего камни наиболѣе крупные, постелистые. Передъ положеніемъ камня на мѣсто, онъ очищается отъ грязи и пыли, пригоняется, т. е. окалывается и смачивается водой. Каменщикъ кладетъ на предыдущій рядъ камней слой раствора толщиною около дюйма, разравниваетъ его каменщичьей лопаткой (кельмой) (рис. 471) и садитъ камень, ударяя при этомъ по нему молоткомъ, такъ чтобы растворъ выступалъ изъ-подъ постели камня; подобными же ударами молотка сбоку онъ выправляетъ положеніе камня. Чтобы связать второй камень съ первымъ, покрываютъ растворомъ боковую поверхность перваго камня, т. е. ту, которою онъ будетъ прикасаться ко второму камню. — Положивъ затѣмъ растворъ и на горизонтальную постель, ставятъ камень на мѣсто, придвигая его ударами молотка возможно ближе къ первому камню, какъ для уменьшенія толщины шва, такъ и для большей плотности кладки. Выбирая для версты камни, слѣдуетъ по возможности чередовать *ложки* съ *тычками*, соблюдая при томъ перевязки швовъ по отношенію нижняго ряда. Нерѣдко тычковые камни въ хвостовыхъ частяхъ значительно тоньше, чѣмъ въ передней части; въ этомъ случаѣ необходимо подложить подъ хвостовую часть болѣе мелкій камень, посаженный въ растворъ и плотно забитый молоткомъ. Окончивъ версту по всему периметру, приступаютъ къ заполненію середины. Разровнявъ по всей поверхности слой раствора достаточной толщины, сажаютъ въ растворъ (въ сокъ) камни и осаживаютъ ихъ молоткомъ; затѣмъ во всѣ швы, которые по необходимости неправильны,

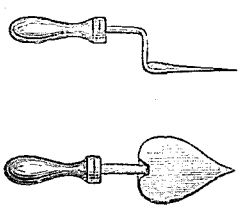


Рис. 471.

забиваютъ молоткомъ болѣе мелкій камень такъ, чтобы растворъ началъ выступать, и это будетъ служить признакомъ отсутствія пустотъ. Собравъ выступившій растворъ, каменщикъ разравниваетъ его по поверхности кладки; не слѣдуетъ однако допускать, чтобъ онъ при этомъ сглаживалъ его лопаткой, такъ какъ образующееся при этомъ хотя незначительное сжатіе раствора способствуетъ его высыханію и отвердѣнію, и при положеніи слѣдующаго ряда камней свѣжій растворъ дурно пристаетъ къ отвердѣвшему. Равнымъ образомъ не слѣдуетъ допускать, чтобы камни укладывались насухо и заливались сверху жидкимъ растворомъ. — Кладка ведется по возможности горизонтальными рядами для правильности осадки, при чемъ камни опускаются въ растворъ болѣе широкою, ровною поверхностью такъ, чтобы не оставалось навѣсовъ и пустотъ внутри. Никогда не слѣдуетъ ставить камень на ребро; исключеніе составляютъ иногда—камни, расположенные въ опорахъ арочныхъ мостовъ по направленію кривой давленія (фиг. 188, тб. 23). Дурно положенный камень шатается подъ пятой, и его слѣдуетъ либо удалить, либо подбить мелкимъ камнемъ, но никакъ не сухимъ, а съ растворомъ. Булыжный камень, валуны—допускаются въ кладку лишь расколотые; вообще же матеріаломъ для бутовой кладки могутъ служить камни крѣпкихъ, не вывѣтривающихся и не трескающихся на морозѣ породъ; размѣры камней по объему не должны быть менѣе 0,25 кубическаго фута.

Чтобы убѣдиться, что внутри кладки нѣтъ пустотъ, достаточно сдѣлать на горизонтальной поверхности кладки, по шву, небольшое углубленіе и осторожно лить воду. Если внутри имѣется пустота, то вода свободно уходитъ во внутрь кладки.

При высокихъ сооруженіяхъ, для обезпеченія равномѣрной передачи давленія и равномѣрной осадки,—необходимо помѣщать *прокладные ряды* изъ штучныхъ камней во всю толщину опоры. Постели такихъ камней—грубой тески; разстояніе между рядами около 1 саж., толщина ряда—около 0,20 саж.; размѣры камней должны быть таковы, чтобы площадь постели каждаго камня составляла въ среднемъ около 0,1 кв. саж. Средняя толщина швовъ въ бутовой кладкѣ около 0,5—1 дюйма; толщина же швовъ въ прокладныхъ рядахъ около $^1/_6$—$^1/_3$ дюйма, при чемъ вертикальные швы дѣлаются вообще тоньше горизонтальныхъ.

Для подводныхъ частей опоры употребляется исключительно цементный растворъ изъ 1 части цемента и 2 или 3 частей песку; выше же горизонта высокихъ водъ—цементный—съ большимъ содержаніемъ песку или сложный растворъ изъ 1 части цемента, 2 частей извести и 6 частей песку. Не слѣдуетъ допускать въ работу растворъ, начавшій твердѣть, что для известковаго раствора имѣетъ мѣсто послѣ 6 часовъ затворенія, для сложнаго—послѣ 2 часовъ, а для цементнаго—послѣ 1 часа.

Кирпичная кладка. Въ извѣстныхъ случаяхъ, за неимѣніемъ удовлетворительнаго бутоваго камня—кладка опоръ *выше горизонта высокихъ водъ* производится изъ хорошо обожженнаго кирпича, однороднаго сложенія, съ соблюденіемъ условія перекрытія швовъ. Подобно тому, какъ и въ бутовой кладкѣ, выводятъ сначала *версту*, а затѣмъ кладутъ въ сокъ кирпичи внутренняго заполненія, смочивъ ихъ предварительно водою. При положеніи лицевого ряда кирпичей слѣдуетъ имѣть въ виду, чтобы растворъ не доходилъ до лицевой грани, такъ какъ въ противномъ случаѣ, при ударѣ молоткомъ по кирпичу, растворъ можетъ выступить и загрязнить лицо кладки. Толщина швовъ около $^1/_5$ дюйма и во всякомъ случаѣ не болѣе $^2/_5$ дюйма. У насъ обыкновенно держатся того правила, чтобы 9 рядовъ соотвѣтствовали по высотѣ 1 аршину. Вообще толщина швовъ

должна быть между прочимъ такова, чтобъ по высотѣ укладывалось цѣлое число кирпичей. Если d — толщина кирпича, x — предполагаемая толщина шва, h—высота сооруженія, n — число рядовъ, то должно быть: $n(d + x) = h$; $n = \frac{h}{d+x}$. Если n — получается не цѣлое число, то берутъ слѣдующее большее число n', и толщина шва: $x' = \frac{h}{n'} - d$. Для болѣе равномѣрной передачи давленія полезно чрезъ каждую сажень по высотѣ помѣщать прокладной рядъ изъ тесовыхъ камней. Равнымъ образомъ углы и карнизы дѣлаются также изъ штучныхъ камней чистой или получистой тески. Въ мѣстахъ, гдѣ кладка будетъ соприкасаться съ землею, поверхность покрывается топкимъ слоемъ цементной смазки.

Составъ бетона. Бетонная кладка употребляется въ опорахъ преимущественно для устройства основанія, при чемъ толщина бетоннаго слоя дѣлается не менѣе 0,75—1,00 саж. Въ послѣднее время встрѣчаются, впрочемъ, и бетонныя опоры. Бетонъ долженъ быть приготовленъ изъ булыжнаго, гранитнаго или кремнистаго щебня, толщиною не болѣе $1^1/_2$ дюйма въ сторонѣ, и изъ цементнаго раствора въ пропорціи: на 1 объемъ бетона около 0,55 объема раствора, при составѣ цементнаго раствора изъ 1 части цемента и 2—4 частей песку. Щебень до употребленія въ дѣло долженъ быть хорошо прогрохоченъ и тщательно обмытъ водою.

Объемъ раствора долженъ отвѣчать полному заполненію пустотъ между щебенкамп. Опредѣливъ этотъ объемъ для данной какой-либо мѣры щебня путемъ вливанія въ нее воды и измѣренія ея объема, прибавляютъ еще къ измѣренному объему до $15^0/_0$. Что касается размѣра отдѣльныхъ щебенокъ, то онѣ должны быть не болѣе $1^1/_2$ д., при чемъ безусловно полезно, чтобъ щебень, входящій въ составъ бетона, былъ разнообразной величины, что необходимо для лучшаго заполненія всѣхъ пустотъ. Обыкновенное отношеніе объема раствора къ объему бетона или, что почти тоже — къ объему щебня — около $55^0/_0$. Вообще содержаніе щебня отъ 1,75 до 2,00 разъ болѣе содержанія песка, входящаго въ составъ раствора, хотя для полученія бетона наибольшей крѣпости—по крайней мѣрѣ не менѣе крѣпости раствора — содержаніе щебня должно быть *не болѣе* содержанія песка, количество котораго въ зависимости отъ назначенія бетона превышаетъ количество цемента отъ 1 до 6 разъ. При тощемъ растворѣ въ составѣ 1 ц: 5 п. и при большемъ содержаніи песку, растворъ трудно перемѣшивается со щебнемъ; въ этомъ случаѣ полезно прибавить незначительное количество известковаго тѣста. По Dyckerhoff'у между объемомъ составныхъ частей бетона и объемомъ бетона существуетъ слѣдующее объемное соотношеніе въ предположеніи, что пустоты занимаютъ $35^0/_0$:

Цемента.	Песку.	Щебня.	Бетона.
1	2	4	4,4
1	3	6	6,65
1	4	8	8,85
1	5	10	11,25
1	6	12	13,45

Пусть напр., пустоты составляютъ $40^0/_0$, и составъ раствора 1 ц., 4 п.; тогда если имѣть въ виду, что общій объемъ составныхъ частей раствора составляетъ

около 75% отъ объема раствора,—объемъ составныхъ частей бетона выражается слѣдующими цифрами въ доляхъ объема M бетона:

Объемъ цемента: $m_1 = \frac{1}{5} \times \frac{1}{0{,}75} \times 0{,}4\,M = 0{,}1127\,M.$

Объемъ песку: $m_2 = \frac{4}{5} \times \frac{1}{0{,}75} \times 0{,}4\,M = 0{,}4507\,M.$

Объемъ щебня: $m_3 = 0{,}9\,M.$

Если же имѣть въ виду всякія неизбѣжныя потери при перевозкѣ и проч., то заготовляемое количество цемента, песку и щебня слѣдуетъ увеличить еще на 20%.—Данныя относительно временнаго сопротивленія бетона приведены на стр. 485—491; замѣтимъ здѣсь еще, что по Dyckerhoff'y — временное сопротивленіе бетона по прошествіи года почти *вдвое* болѣе сопротивленія, оказавшагося послѣ 28-диевиаго затвердѣванія. Количество воды, необходимое для приготовленія бетона, увеличивается вмѣстѣ съ увеличеніемъ содержанія песку и щебня, но оно не должно быть чрезмѣрнымъ, такъ какъ при этомъ сопротивленіе бетона понижается. Такъ напр., по изслѣдованіямъ Tetmajer'a бетонъ одинаковаго состава, но при различномъ содержаніи воды въ растворѣ имѣлъ слѣдующія различныя сопротивленія раздробленію, послѣ 28-дневнаго и 210-дневнаго затвердѣванія въ водѣ:

Затвердѣваніе въ водѣ.	Содержаніе воды въ растворѣ въ %			
	9% (сухой растворъ).	12% (влажный).	15% (средней густоты).	18% (жидкій растворъ).
	Временное сопротивленіе раздробленію въ кил. на кв. сант.			
Послѣ 28 дней	277,0	289,2	248	212,6
Послѣ 210 дней	333,8	406,2	335,6	304,0

Съ другой стороны *трамбованіе* бетона значительно повышаетъ его сопротивленіе. Такъ по Dyckerhoff'y — бетонъ въ составѣ 1 ц. : 3 п. : 3 щебня, погруженный послѣ приготовленія въ воду и не подвергнутый трамбованію, послѣ 28 дней имѣлъ временное сопротивленіе раздробленію всего въ 35 $\frac{\text{кил.}}{\text{см.}^2}$; затѣмъ бетонъ болѣе тощій въ составѣ 1 ц. : 3 п. : 6 щебня — втрамбованный въ форму и выдержанный сутки на воздухѣ и 27 дней подъ водою—имѣлъ временное сопротивленіе въ три раза болѣе, чѣмъ въ предыдущемъ случаѣ.

Приготовленіе бетона. Бетонъ приготовляется вручную или машиннымъ образомъ. Въ первомъ случаѣ устраиваютъ обыкновенно двѣ рядомъ расположенныя платформы или помоста; на одной изъ нихъ располагаютъ ровнымъ слоемъ песокъ, поверхъ котораго насыпаютъ ровнымъ же слоемъ цементъ; всю массу тщательно перемѣшиваютъ съ прибавленіемъ необходимаго количества воды, пока растворъ не приметъ однообразный цвѣтъ безъ свѣтлыхъ полосъ. Одновременно на второй платформѣ разсыпаютъ равномѣрный слой тщательно промытаго щебня. Этотъ слой щебня забрасываютъ растворомъ ровнымъ же слоемъ и все тщательно перемѣшиваютъ. Если песокъ и щебень составляютъ природную или искусственную смѣсь, то перемѣшиваютъ съ этой смѣсью цементъ на-сухо и затѣмъ уже прибавляютъ воду; но лучше примѣнить первый пріемъ. Нѣкоторые инженеры отдаютъ предпочтеніе ручному приготовленію бетона по сравненію съ машиннымъ.

При машинномъ приготовленіи пользуются весьма разнообразными устройствами, перемѣшивая растворъ со щебнемъ въ плоскихъ чашкахъ (бетоньеркахъ), въ цилиндрическихъ барабанахъ, съ горизонтальной, наклонной или вертикальной осями вращенія. При горизонтальныхъ или наклонныхъ осяхъ вращенія обыкновенно вращается цилиндръ, и щебень перемѣшивается съ растворомъ, благодаря развивающейся центробѣжной силѣ. При вертикальныхъ осяхъ вращенія—цилиндръ неподвиженъ, а вращается ось съ насаженными на ней кулаками, лопастями, винтовыми лопастями и проч. Приготовленный машиннымъ путемъ растворъ поступаетъ изъ барабана въ бетоньерку, куда всыпается тщательно промытый щебень, и все затѣмъ перемѣшивается. Иногда же перемѣшивается машиннымъ путемъ въ сухомъ видѣ цементъ, песокъ и щебень, смѣсь автоматически поступаетъ въ бетоньерку, гдѣ съ прибавленіемъ воды перемѣшивается въ бетонъ. Въ зависимости отъ размѣровъ бетоньерокъ 8-сильная паровая машина въ состояніи приготовить въ 1 часъ отъ 12 до 30 куб. метр. бетона.

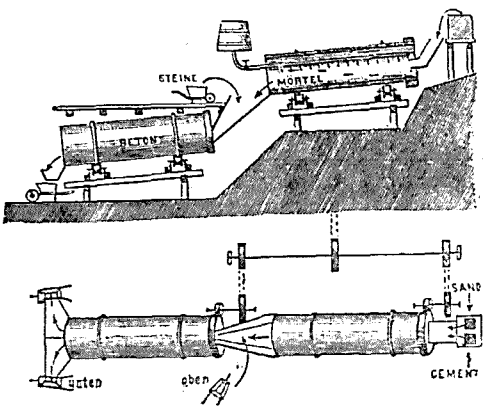


Рис. 472.

На рис. 472 изображено схематически расположеніе механическихъ устройствъ для приготовленія раствора и бетона, примѣненныхъ при сооруженіи гавани въ Килѣ. На трехъ различныхъ уровняхъ устроено три помоста. На верхнемъ помостѣ перемѣшивается въ сухомъ видѣ песокъ и цементъ; въ верхнемъ цилиндрѣ приготовляется растворъ; вода доставляется изъ резервуара; приготовленный растворъ поступаетъ во второй цилиндръ, куда одновременно всыпаютъ щебень; готовый бетонъ развозятъ затѣмъ тачками. При приготовленіи бетона для опоръ Троицкаго моста въ Петербургѣ песокъ и цементъ, перемѣшанные въ сухомъ видѣ, забрасывались въ вертикальный цилиндръ съ подвижной осью вращенія, съ насаженными на ней лопастями (рис. 492), куда прибавлялось изъ трубки опредѣленное количество воды. Въ нижней части цилиндра, около дна его, было сдѣлано щитовое отверстіе; по окончаніи операціи отверстіе открывалось, и чрезъ него при непрекращавшемся вращеніи оси выдавливался лопастями растворъ. Этотъ послѣдній немедленно забрасывался въ поставленную рядомъ бетоньерку—въ видѣ плоскаго круга съ высокими бортами; внутри этой чашки вращалась ось съ насаженными на ней горизонтальными пальцами съ кулаками; одновременно насыпался въ бетоньерку щебень; плоскій кругъ, представлявшій дно плоской чашки, имѣлъ отверстіе, задвигаемое щиткомъ, чрезъ которое падалъ бетонъ въ поставленныя подъ бетоньеркой вагонетки.

Бетонная кладка производится или подъ водою *(мокрое бетонированіе)* или въ освобожденномъ отъ воды пространствѣ (*сухое бетонированіе*). Въ томъ и другомъ случаѣ примѣняютъ различные пріемы работы при соотвѣтственныхъ составахъ бетона. Бетонированіе подъ водою имѣетъ слѣдующіе недостатки: необходимость принятія предосторожностей противъ вымыванія раствора во время погруженія, затруднительность контроля, невозможность трамбованія бетона и медленное его затвердѣваніе. Въ виду возможности вымыванія раствора, при мокромъ бетонировкѣ употребляютъ обыкновенно болѣе жирный бетонъ, такъ что содержаніе

раствора должно быть не менѣе 50%. Существовало мнѣніе, что бетонированіе подъ водою предпочтительнѣе, такъ какъ для затвердѣванія бетона необходимо присутствіе воды; но этотъ взглядъ нынѣ оставленъ.

Для того, чтобы уменьшить вымываніе раствора при погруженіи бетона, ничѣмъ не прикрытаго, англійскій инженеръ (Kinipple) погружалъ бетонъ нѣсколько часовъ (2—5) спустя послѣ его приготовленія, когда уже онъ получалъ извѣстную твердость; такой бетонъ онъ называлъ «пластичнымъ». Но при этомъ начавшееся схватываніе нарушается при погруженіи и разъединеніи частей и едва ли можетъ затѣмъ полностью возстановиться, такъ что крѣпость «пластичнаго»

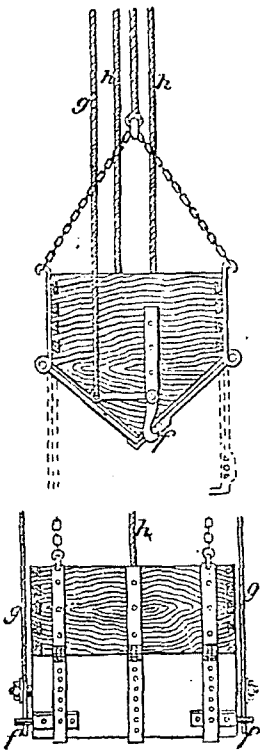


Рис. 473.

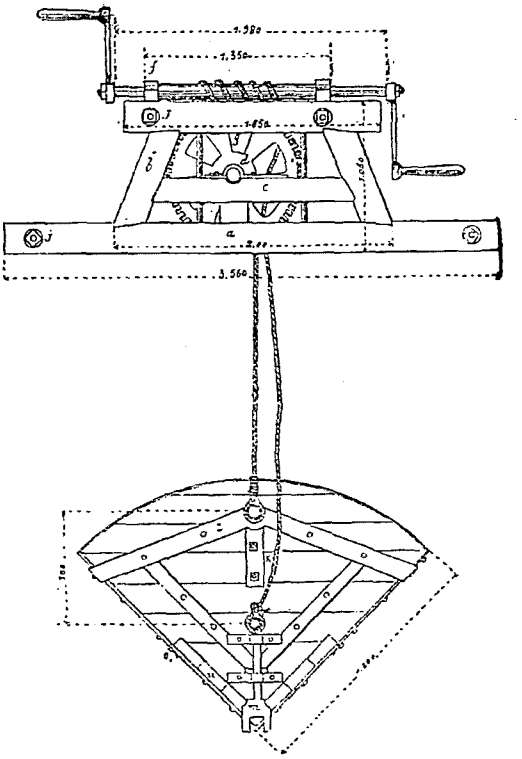


Рис. 474.

бетона должна уступать крѣпости обыкновеннаго бетона; пріемъ этотъ можетъ быть примѣненъ лишь въ томъ случаѣ, когда отъ бетона не требуется прочности и крѣпости и онъ играетъ роль мертваго груза. Что касается пріема погружать только песокъ и щебень и нагнетать жидкій цементъ,—то пріемъ этотъ нельзя назвать нормальнымъ, и онъ можетъ быть употребленъ только при ремонтѣ или укрѣпленіи подводныхъ частей сооруженій и проч. Другой пріемъ состоитъ въ погруженіи бетона въ просмоленныхъ мѣшкахъ; но при этомъ нельзя ожидать образованія сплошной массы, чему препятствуетъ полотно. Объемы погруженныхъ такимъ образомъ массъ составляютъ отъ 14 до 45 куб. метр.

Наиболѣе дѣйствительный пріемъ погруженія состоитъ въ употребленіи деревянныхъ (рис. 473 и 474) или металлическихъ (рис. 475) ящиковъ съ откиднымъ дномъ, полотняныхъ мѣшковъ (рис. 476) или металлическихъ и деревянныхъ трубъ или воронокъ (рис. 477). Ящики опускаются съ моетовыхъ крановъ или помощью постояннаго поворотнаго крана. Часто кузовъ вагонетки устраивается въ видѣ подобнаго ящика; такая вагонетка, доставленная по рельсовому пути, сни-

мается поворотнымъ краномъ, опускается въ воду, опоражнивается и вновь устанавливается на остовѣ вагонетки. При бетонированіи подъ водой необходимо по возможности увеличивать объемы отдѣльныхъ погружаемыхъ массъ, чтобъ уменьшить поверхность при данномъ объемѣ; кромѣ того высота объема должна быть тоже незначительная, для избѣжанія неравномѣрнаго распредѣленія щебенки и раствора. Объемы деревянныхъ и металлическихъ ящиковъ измѣняются отъ 0,05 до 2 куб. метр., хотя бывали примѣры, когда объемъ составлялъ 16 куб. метр. (при сооруженій гавани въ Дублинѣ).

Въ изображенномъ на рис. 473 ящикѣ дно открывается, если натянуть канатъ g, прикрѣпленный къ колѣнчатому крюку. Въ типѣ ящика (рис. 474) въ видѣ сектора,— обѣ нижнія наклонныя грани раскрываются, послѣ поднятія вертикальнаго засова при помощи каната. На рис. 475 показанъ металлическій ящикъ, объемомъ въ 0,5 куб. метр., состоящій изъ двухъ половинокъ, образующихъ полу-

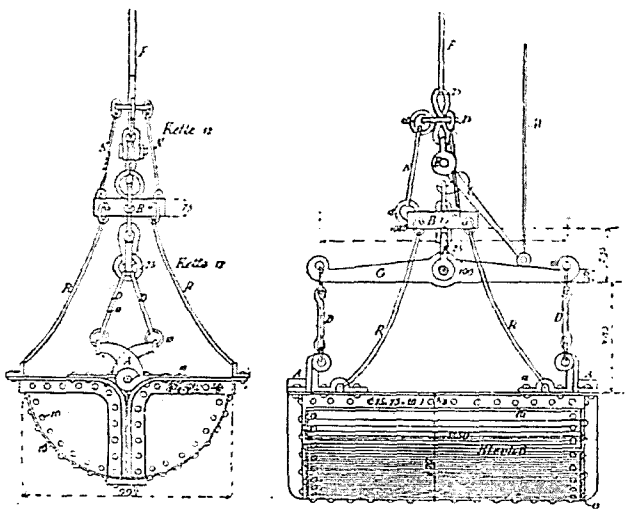


Рис. 475.

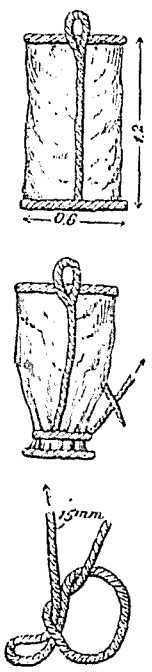


Рис. 476.

цилиндръ. Во время погруженія ящикъ подвѣшенъ помощью колѣнчатыхъ крюковъ A и штангъ D къ коромыслу G, къ которому прикрѣплена цѣпь; два звена этой цѣпи, отстоящіе одинъ отъ другого на нѣсколько звеньевъ, сближены и взаимно соединены особымъ крюкомъ C. Когда ящикъ опущенъ на опредѣленную глубину и необходимо его открыть, начинаютъ тянуть капать M, прикрѣпленный къ крюку C. Крюкъ соскакиваетъ, коромысло падаетъ, цѣпь между взаимно сближенными звеньями натягивается, а вмѣстѣ съ нею натягиваются и канаты R, прикрѣпленные къ ребрамъ ящика, который такимъ образомъ раскрывается. Иногда пользуются полотняными просмоленными мѣшками (рис. 476) съ объемомъ въ 0,15 куб. м., изъ которыхъ завязывается особой петлей, изображенной на рис. 476; если потянуть за одинъ конецъ петли, то она развязывается сама собой и бетонъ вываливается изъ мѣшка. Другой типъ ящика показанъ на фиг. 166, таб. 21. При погруженіи ящика въ воду, вытѣсненная имъ вода съ большою силою вновь занимаетъ свое положеніе и при этомъ вымываетъ растворъ въ верхней обнаженной части бетона; въ виду сего полезно прикрывать ящики во время погруженія полотномъ, прикрѣпленнымъ къ ящику и съ отверстіями для выхода

воздуха. Если приходится располагать бетонъ въ узкомъ огражденномъ пространствѣ, — нерѣдко пользуются деревянными или желѣзными воронками (рис. 477), прикрѣпленными къ телѣжкѣ и перемѣщаемыми вдоль мостового крана, который въ свою очередь перемѣщается по рельсовому пути; воронка состоитъ изъ нѣсколькихъ съемныхъ частей. Для того, чтобы бетонъ не могъ прилипать къ стѣнкамъ воронки, нижняя часть ея часто дѣлается расходящеюся. Такъ какъ при погруженіи воронкой бетонъ ложится менѣе плотно, чѣмъ при погруженіи ящиками, то иногда въ концѣ воронки устраиваютъ катки или примѣняютъ спеціальный катокъ (фиг. 179, таб. 22), но при неровной поверхности бетона — перемѣщеніе воронки съ катками очень затруднительно; давленіе воды отчасти замѣняетъ дѣйствіе трамбованія. При погруженіи бетона воронками — необходимо избѣгать перерывовъ; поэтому работа производится днемъ и ночью. Заполненіе воронки вновь послѣ перерыва требуетъ особыхъ предосторожностей противъ

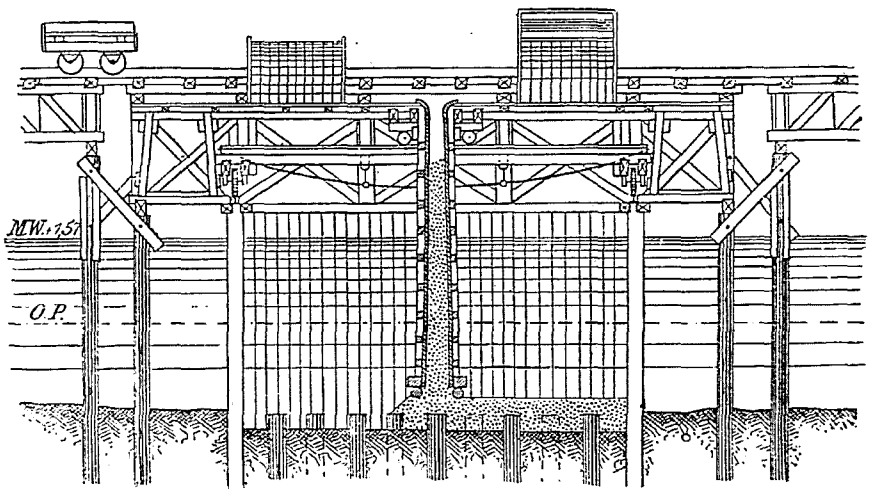


Рис. 477.

вымыванія раствора. Для этого, поднявъ воронку, вставляютъ въ нее другую, болѣе узкую, съ откиднымъ дномъ, и заполняютъ ее бетономъ по мѣрѣ опусканія обѣихъ воронокъ, наблюдая при томъ, чтобы уровень бетона былъ всегда выше поверхности воды; когда наружная и внутренняя воронки дошли до низу, то открываютъ откидное дно и осторожно вытаскиваютъ внутреннюю воронку, одновременно заполняя бетономъ промежутокъ между внутренней и наружной воронками. Вообще при подводной кладкѣ слѣдуетъ обратить вниманіе на быстроту и непрерывность работы. Если подводное бетонированіе выведено до уровня ниже горизонта воды и дальнѣйшую кладку предполагается вести послѣ предварительнаго откачиванія воды, то необходимо выждать нѣсколько нѣдѣль или мѣсяцевъ, пока бетонъ подъ водой вполнѣ окрѣпнетъ; иначе можетъ произойти изломъ или выпучиваніе бетона отъ давленія воды снизу вверхъ; обыкновенно полагаютъ, что толщина бетоннаго слоя, подвергающагося давленію воды снизу вверхъ, должна быть не менѣе 0,44 h, если h — высота подпора.

При бетонированіи выше поверхности воды или вообще при сухомъ бетонированіи—бетонъ располагается уступами и слоями около 30 сант., при чемъ откосамъ присыпныхъ слоевъ придается наклонное положеніе; слои слѣдуетъ такъ располагать, чтобы послѣ не было сквозныхъ швовъ; каждый слой тщательно

трамбуется, пока не выступитъ вода. При толстыхъ слояхъ, хотя уменьшается число раздѣльныхъ поверхностей, но за то затрудняется трамбованіе. Если бетонъ располагается непосредственно на грунтѣ и есть основаніе опасаться проточной грунтовой воды, то слѣдуетъ, начиная съ подошвы основанія, класть жирный бетопъ, избѣгая для нижнихъ слоевъ кладки безъ раствора (на сухо), такъ какъ иначе между камнями или щебнемъ можетъ образоваться протокъ съ вымываніемъ раствора. При недостаточно плотномъ грунтѣ полезно до начала бетонированія втрамбовывать въ грунтъ щебень до совершеннаго уплотненія основаній. Одно время существовало среди англійскихъ инженеровъ мнѣніе, что при сухомъ бетонированіи бетопъ долженъ быть сбрасываемъ съ высоты около 2,5 м. Это вѣроятно и послужило поводомъ къ примѣненіе деревянныхъ или металлическихъ трубъ, внизу которыхъ располагается зигзагомъ рядъ встрѣчныхъ наклонныхъ плоскостей; по этимъ послѣднимъ бетопъ опускается внизъ непрерывной массой (рис. 478); труба вверху закрывается вращающейся крышкой. Несмотря на это, благодаря различію удѣльнаго вѣса щебня и раствора, щебенки

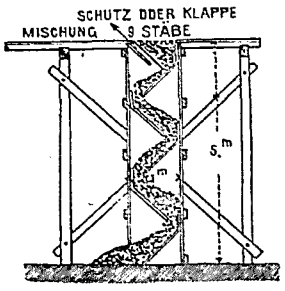


Рис. 478.

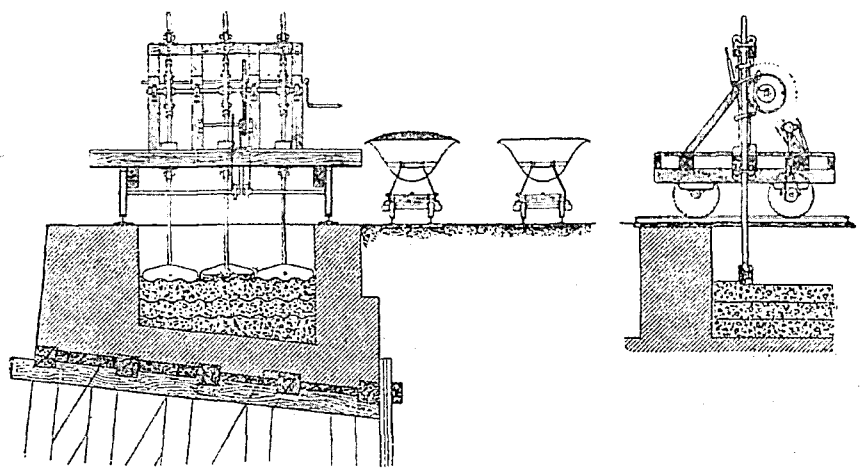


Рис. 479.

опускались быстрѣе, такъ что внизу располагались сначала болѣе крупныя части, а затѣмъ болѣе мелкія и растворъ. Въ виду сего опущенный такимъ путемъ бетонъ требуетъ безусловно вторичнаго перемѣшиванія на мѣстѣ сбрасыванія. Если приходится опускать бетопъ на большую глубину, то лучше пользоваться для сего опускными ящиками, подобными примѣняемымъ при бетонированіи подъ водой. Если это почему-либо неудобоисполнимо, то слѣдуетъ опускать его въ металлическихъ или деревянныхъ воронкахъ съ обязательнымъ вторичнымъ перемѣшиваніемъ. Поверхность уложенныхъ слоевъ должна быть шероховатая; если она сглаживается отъ трамбованія, то необходимо передъ положеніемъ новыхъ слоевъ придать ей шероховатость. Если перерывъ работы будетъ около 24 часовъ, то поверхность тщательно смываютъ и скребутъ проволочными щетками; при большемъ перерывѣ приходится выкирковывать бороздки.

Особенное вниманіе должно быть обращено на тщательное трамбованіе около периметра. Вѣсъ трамбовокъ измѣняется отъ 10 до 15 кил.; деревянныя трам-

бовки оковываются листовымъ желѣзомъ. На рис. 479 показано примѣненное въ Бременѣ приспособленіе для машиннаго трамбованія тремя желѣзными трамбовками, вѣсомъ каждая около 90 кил. при площади въ 0,3 кв. м. Нижняя поверхность трамбовокъ волнообразная; подъемъ ихъ совершался вращеніемъ оси съ кулаками. Въ жаркое время необходимо предохранять бетонъ отъ быстраго высыханія — путемъ поливки въ теченіе первыхъ недѣль, или же елѣдуетъ прикрыть его иавѣсомъ. По мнѣнію нѣкоторыхъ инженеровъ для лучшаго затвердѣнія бетона полезно послѣ положенія каждаго слоя впускать воду въ котлованъ на 1 сутки; послѣ положенія послѣдняго слоя рекомендуется оставить бетонъ подъ водою около 6 сутокъ и затѣмъ, откачавъ воду, начать бутовую кладку.

Облицовка намнемъ. Размѣры облицовочныхъ намней и кладна каменной облицовни. Повѣрка правильности кладни. Расшивна. Кирпичная облицовка. Бетонная облицовка. Разрѣзна облицовочныхъ камней въ опорахъ и въ ледорѣзахъ.

Выше поверхности земли лицевыя грани опоръ *облицовываются*: камнемъ, кирпичемъ, а въ исключительныхъ случаяхъ и бетономъ.

Облицовка камнемъ. Камень для облицовки долженъ быть лучшаго качества, однороднаго, мелкозернистаго сложенія, безъ трещинъ, слоевъ посторонней породы, не поддающійся вывѣтриванію и дѣйствію мороза.

Лучшимъ матеріаломъ служитъ гранитъ и песчаникъ. Облицовка можетъ быть сдѣлана или горизонтальными рядами, или циклопской кладкой (фиг. 180, таб. 22); но послѣдняя можетъ быть признана удовлетворительной лишь въ томъ случаѣ, если камни плотно и точно пригнаны одинъ къ другому, и хвосты камней достаточно длинные; въ противномъ случаѣ при толстыхъ швахъ, хотя и расщебененныхъ, подобной облицовки елѣдуетъ избѣгать. Угловые камни дѣлаются и въ данномъ случаѣ изъ камней прямоугольнаго очертанія съ лица.

Облицовочный камень подвергается различной обдѣлкѣ, смотря по значенію сооруженія. Иногда подбираютъ для облицовки (при мостахъ малыхъ отверстій) только отборный бутовый камень, наблюдая, чтобы вертикальный шовъ одного ряда находился не ближе, какъ на 0,05 саж. отъ вертикальнаго шва другого ряда; угловые камни дѣлаютъ во всякомъ случаѣ изъ камней правильной формы (фиг. 181, таб. 22), при чемъ толщина угловыхъ камней должна соотвѣтствовать опредѣленному числу рядовъ остальной облицовки; ряды эти могутъ быть и не одинаковой толщины, постепенно утоняясь къ верху. Угловые камни должны имѣть размѣры не менѣе 0,25 саж. длины, 0,15 саж. ширины и не менѣе 0,15 саж. высоты при заусенкахъ не менѣе 0,05, со средней постелью не менѣе 0,15 саж.; толщина угловыхъ камней должна быть однообразна по всей площади. (Среднею постелью угловыхъ камней названо среднее ариѳметическое двухъ чиселъ, полученныхъ отъ дѣленія дѣйствительной площади постели на длину той и другой лицевой стороны ея). При болѣе же значительныхъ сооруженіяхъ вся облицовка дѣлается изъ штучныхъ камней. Эти камни имѣютъ съ лица чистую теску (какъ напримѣръ въ ледорѣзахъ, карнизахъ, подферменныхъ камняхъ), получистую, или же отдѣлываются въ рамку (фиг. 181, таб. 22) шириною около $1^1/_2$ д., при чемъ средняя часть оставляется въ грубо околотомъ видѣ. При чистой тескѣ лицевыя грани камней или не имѣютъ скошенныхъ реберъ (цоколь) (фиг. 181, таб. 22), или всѣ четыре ребра имѣютъ рустикъ (фиг. 182, таб. 22), или наконецъ рустикъ дѣлается по одному горизонтальному направленію (фиг. 183, таб. 22). Во избѣжаніе неравиомѣрной осадки полезно, чтобы толщина рядовъ бута мало отличалась отъ толщины облицовки.

Размѣры и кладка каменной облицовки. Облицовочные камни должны имѣть для тычковъ: хвосты не менѣе $1^1/_2$ высоты (обыкновенно двойная или тройная высота) и во всякомъ случаѣ не менѣе 0,25 саж.; длина лица не менѣе высоты и во всякомъ случаѣ не менѣе 0,15 саж.; заусеики не менѣе 0,05 саж.; средняя постель не менѣе 0,15 саж. Для ложковъ — длина лица ие менѣе полуторы высоты (обыкновенно двойная или тройная высота) и пе менѣе 0,30 саж.; длина хвоста не менѣе 0,15 саж., при заусенкахъ не менѣе 0,05 саж. и средняя постель пе менѣе 0,15 саж.; заусенки и постели должны быть тесанныя. (Среднею постелью облицовочныхъ камней названо частное, полученное отъ дѣленія дѣйствительной площади постели на длину лицевой ея стороны). Толщина ложковъ облицовки должна быть однообразна по всей площади, а въ тычкахъ не менѣе, какъ на 0,15 саж. отъ лица. Для большей связи облицовочныхъ камней — заусенки ложковъ и тычковъ должны быть вытесаны подъ угломъ 87° и 93° (фиг. 147, таб. 17 и фнг. 186, таб. 23), при чемъ около лица грани заусенковъ по крайней мѣрѣ на протяженіи 0,03 с. должны быть нормальны къ лицевой поверхности. Другой типъ очертанія заусенковъ ложковъ и тычковъ показанъ на рис. 480. Подобная разрѣзка безусловно необходима въ головахъ быковъ, въ круглыхъ быкахъ и т. д., когда требуется, чтобы облицовочный рядъ образовалъ неразрывное кольцо. Ипогда смежные облицовочные камни соединяются горизонтальными пиропами (скобами), и въ быкахъ тычки проходятъ во всю толщину быка (фиг. 147, таб. 17 и фиг. 186, таб. 23), соединяясь также ипронами. Металлическіе горизонтальные пироны въ видѣ скобъ (рис. 481 *а*) или въ видѣ ласточкина хвоста (рис. 481 *б*) заливаются свинцомъ; такъ какъ свинецъ при остываніи значительно уменьшается въ объемѣ, то углубленія для помѣщенія скобъ дѣлаются расширяющимися книзу. Заливка свинцомъ должиа быть сдѣлана на совершенно сухую поверхность камня, иначе отъ образующагося пара свинецъ выбрасывается. Скобы заливаютъ иногда сѣрой, гипсомъ п асфальтомъ; гипсъ примѣнимъ лишь въ томъ случаѣ, когда ие предвидится доступа сырости; сѣра оказываетъ вредное вліяніе на желѣзо, а асфальтъ не достаточно прочно связывается съ желѣзомъ, такъ что лучшей задѣлкой елѣдуетъ считать свинецъ. Если требуется соединить смежные ряды камней (напр. въ карнизныхъ камняхъ или для увеличенія сопротивленія сдвигу), то употребляютъ вертикальные металлическіе пироны (рис. 481 *в*) — толщиною 1—2 д. и длиною 5—6 д., или же каменные параллелопипеды (рис. 481 *г*) квадратиаго очертанія по 6 д. въ сторонѣ и высотою 1,25 д.—задѣлываемые цемеитомъ. (Послѣдиее примѣнеио при кладкѣ опоръ Николаевскаго моста въ Петербургѣ).

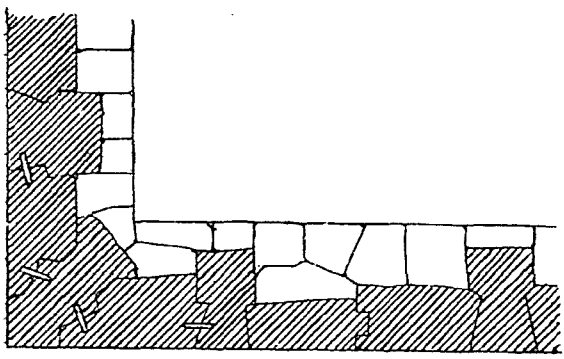


Рис. 480.

Угловые камни дѣлаются иногда съ внутренними входящими углами, чтобы отдалить швы отъ угла. При сопряженіи крыла съ устоемъ слѣдуетъ помѣщать цѣльные камни, съ внутренними входящими углами, захватывающіе обѣ грани, чтобы воспрепятствовать отдѣленію крыла отъ устоя. Толщина швовъ дѣлается около $^1/_5$ д., а въ штучныхъ камняхъ чистой тески около $^1/_6$ дюйма. Для обли-

цовки употребляется преимущественно растворъ изъ 1 части цементу и 2 частей песку—болѣе мелкаго, чѣмъ для бутовой кладки.

Передъ тѣмъ, какъ начинать облицовку, бутовая кладка раздѣлывается подъ горизонтальную плоскость и точно опредѣляется ея отмѣтка, послѣ чего дѣлается разбивка подъ облицовку. Кладка облицовочныхъ штучныхъ камней производится въ такомъ порядкѣ: сначала каждый камень кладется насухо, хорошо пригоняется на свое мѣсто, послѣ чего клиньями его нѣсколько поднимаютъ, подливаютъ подъ него тонкій слой жидкаго раствора цемента и разравниваютъ каменщичьей лопаткой; затѣмъ выбиваютъ клинья, поддерживая камень ломами и наконецъ опускаютъ въ растворъ. Между сосѣдними камнями по наружному ребру закладывается иногда тонкій шнуръ, а изнутри швъ задѣлывается цементомъ. Промежутокъ заливается совершенно жидкимъ растворомъ цемента; послѣ отвердѣнія вынимаются шнуры, отчего образуются швы. При заполненіи вертикальнаго шва менѣе жидкимъ растворомъ пользуются продолговатой кельмой съ зубцами (пилой) (рис. 480′). Когда такимъ образомъ уложенъ весь лицевой рядъ, внутреннее пространство, огражденное имъ, заполняется бутовой кладкой.



Рис. 480′.

Повѣрка правильности кладки. Повѣрка правильности кладки можетъ быть произведена такимъ образомъ: осевыя точки намѣчаются на кладкѣ и постепенно переносятся отвѣсомъ по мѣрѣ возведенія кладки съ одного ряда на другой. Затѣмъ устанавливаютъ въ истинномъ центрѣ опоры (который при ошибочности кладки можетъ не совпадать съ дѣйствительнымъ центромъ) теодолитъ, направляютъ трубу по истиннымъ продольнымъ и поперечнымъ осямъ опоры, отмѣчаютъ эти направленія на кладкѣ и сравниваютъ съ предъидущими. Для того, чтобы не

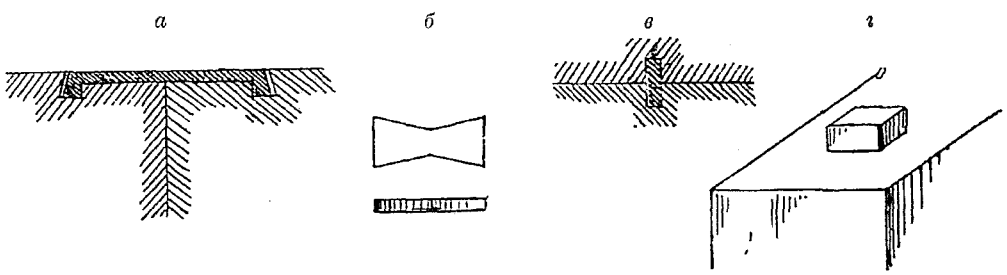


Рис. 481.

искать долго центра опоры, дѣлаютъ заблаговременно по направленію истинныхъ осей — отмѣтки на лѣсахъ, натягиваютъ по нимъ взаимно пересѣкающіяся проволоки, точка пересѣченія которыхъ и даетъ положеніе центра, окончательно выправляемое при установкѣ теодолита по направленію истинныхъ осей.

Кромѣ того отмѣтка каждаго ряда извѣстна, такъ что высота можетъ быть повѣрена нивеллиромъ.

Чтобы дать возможность рабочимъ повѣрять себя, приготовляютъ рейки съ отмѣченіями рядами и прибиваютъ ихъ у концовъ опоры къ лѣсамъ, по нивеллиру. Протягивая шнуры между отмѣтками извѣстнаго ряда, получаютъ высоту, на которой долженъ находиться данный рядъ. По возведеніи кордона выравниваютъ кладку подъ горизонтальную плоскость и намѣчаютъ мѣста подферменныхъ камней. Подферменные камни по высотѣ должны быть поставлены совершенно

правильно, почему точно опредѣляютъ отмѣтку кордона, и камни кладутъ по нивеллиру, помѣщая подъ нихъ бо́льшій или меньшій слой цемента. Кладутся они на чистомъ цементѣ и тѣмъ же способомъ, какъ и облицовочные камни.

Расшивка. По окончаніи кладки, обиваютъ на облицовочныхъ камняхъ сильно выступающія неровности и затѣмъ расшиваютъ швы. Послѣдняя работа заключается въ томъ, что пустоты, оставленныя шнурами, которые были прокладываемы между камнями, наполняютъ цементомъ, смочивъ предварительно швы водою и расшиваютъ особенными лопатками.

Кирпичная облицовка. Кирпичная облицовка преимущественно примѣняется только въ томъ случаѣ, если остальная, по толщинѣ опоры, часть кладки также кирпичная. Существуютъ, впрочемъ, примѣры, гдѣ бутовая кладка облицована кирпичемъ и обратно — кирпичная кладка облицована камнемъ; по этого слѣдуетъ избѣгать въ виду различной осадки, вызываемой неодинаковымъ числомъ швовъ въ той и другой кладкѣ. Если же подобной облицовки, помѣстнымъ условіямъ, нельзя избѣжать,—то необходимо сдѣлать хорошую перевязку, ограничивая внутреннюю поверхность кирпичей облицовки уступами, какъ по горизонтальному, такъ и по вертикальному направленіямъ (фиг. 184, таб. 22), имѣя при томъ въ виду, чтобы выступы одного горизонтальнаго ряда облицовки (состоящаго изъ 2 или 3 рядовъ кирпичей) приходились надъ впадинами предъидущаго ряда и т. д. Кирпичи для облицовки выбираются лучшаго качества, безъ примѣси мергеля, правильной формы, одноцвѣтные и съ чистыми кромками. При самой кладкѣ — швы съ лица дѣлаются пустыми (около $^1/_2$ дюйма отъ лицевой грани), затѣмъ заполняются цементомъ и расшиваются особыми расшивками, соотвѣтствующими выпуклымъ или втопленнымъ швамъ (рис. 482 и 483). Предъ положеніемъ цемента швы смачиваются водой.

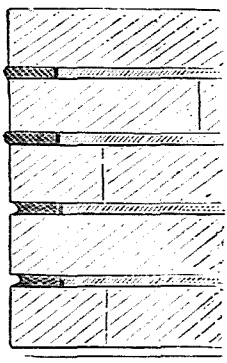


Рис. 482.

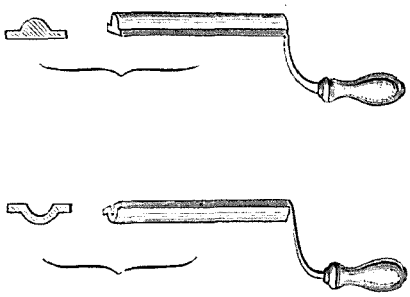


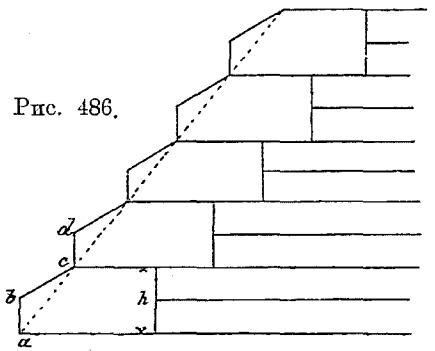
Рис. 483.

Бетонная облицовка. Бетонъ, за неимѣніемъ годнаго облицовочнаго камня, употребляется иногда для облицовки стѣнокъ трубъ, отверстіемъ около 0,50—0,75 саж. Производство работъ обыкновенно слѣдующее: сложивъ изъ бутовой кладки массивъ общаго фундамента, на 0,08—0,10 саж. ниже поверхности лотка, закладываютъ послѣдній рядъ фундамента, толщиною около 0,10 саж. въ видѣ двухъ продольныхъ стѣнокъ, оставляя середину не задѣланною (фиг. 185, таб. 22); внѣшнія стороны стѣнокъ обрѣзываются по шнуру, а внутреннимъ придаютъ неправильный видъ зигзаговъ, для лучшаго соединенія съ бетономъ. Концы лотка обдѣлываютъ камнями, и въ образовавшееся такимъ образомъ углубленіе кладутъ бетонъ, утрамбовывая слегка деревянными трамбовками. Затѣмъ вдоль трубы устапавливаютъ два щита изъ врубленныхъ въ четверть половыхъ досокъ, соединенныхъ шпонками; внѣшняя поверхность щитовъ тщательно остругивается. Для предупрежденія отклоненія щитовъ помѣщаются черезъ $^3/_4$ саж. распорныя рамы и схватки, плотно закрѣпленныя клиньями. Установивъ щиты помощью отвѣса и причалка по возможности точно, выводятъ первый рядъ стѣнки трубы, имѣя въ виду, чтобы неправильности горизонтальнаго очертанія внутренней стороны каждаго ряда бу-

товой кладки не соотвѣтствовали такимъ же очертаніямъ предъидущаго ряда, т. е. чтобы выступы приходились противъ впадинъ и обратно. Сложивъ одинъ рядъ, наполняютъ бетономъ промежутокъ между щитомъ и кладкою; бетонъ трамбуютъ сперва шестами для того, чтобъ бетонная масса наполнила всѣ углубленія, а потомъ плоскими продолговатыми трамбовками; затѣмъ выводятъ второй рядъ и т. д. Щиты слѣдуетъ оставлять до тѣхъ поръ, пока бетонная кладка окрѣпнетъ настолько, что не приметъ впечатлѣнія отъ ногтя.

Разрѣзка облицовочныхъ камней въ опорахъ и въ ледорѣзахъ. Разрѣзка облицовочныхъ камней, какъ въ опорахъ, такъ и въ откосныхъ крыльяхъ съ вертикальными или мало наклоненными гранями, а также въ передней части ледорѣза и въ боковыхъ его граняхъ производится двумя системами плоскостей: горизонтальными и вертикальными, при чемъ послѣднія всегда нормальны къ разсѣкаемой поверхности и вмѣстѣ съ тѣмъ нормальны къ слѣдамъ горизонтальныхъ сѣченій.

Рис. 486.



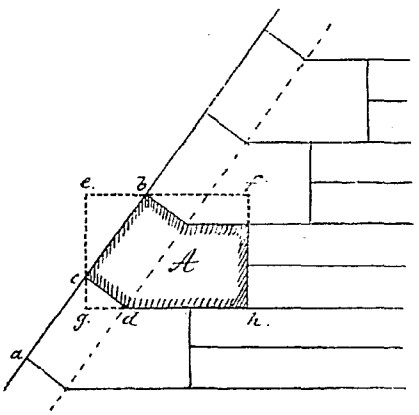


Рис. 484.

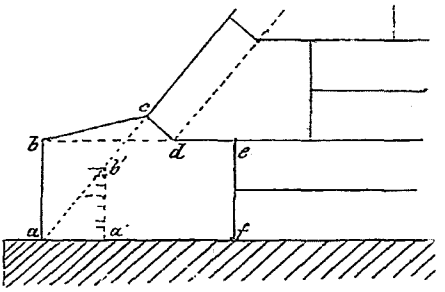


Рис. 485.

Слѣдовательно, если передняя часть быка или ледорѣза цилиндрическая, то вертикальныя сѣченія должны быть сдѣланы по направленію нормалей къ направляющей кривой.

Если уклонъ верхней наклонной грани крыла не менѣе $^1/_6$, то горизонтальныя сѣченія доводятъ до упомянутой грани; въ противномъ случаѣ на разстояніи 0,05—0,10 саж. отъ наклонной грани горизонтальныя сѣченія замѣняютъ нормальными къ наклонному ребру (рис. 484); камень A вытесывается изъ объемлющаго параллелопипеда $efgh$ путемъ наложенія шаблона A. Нижній камень во избѣжаніе острыхъ угловъ ограничиваютъ или вертикальной гранью $a'b'$ (рис. 485) или же употребляютъ для сего болѣе крупный камень, придавая ему очертаніе $abcdef$ (рис. 485). При этомъ способѣ разрѣзки камней теряется много матеріала; поэтому если не требуется непрерывной гладкой поверхности, то пользуются иногда разрѣзкой, изображенной на рис. 486, причемъ высота ab дѣлается отъ $^1/_3\,h$ до $^1/_2\,h$. Можно довольствоваться менѣе крупными камнями, примѣняя разрѣзку, указанную на рис. 487. Для того, чтобы преградить доступъ дождевой воды внутрь кладки крыла, а также для избѣжанія необходимости пользоваться крупными камнями, можно примѣнить типъ покрытія верхней поверхности крыла, изображенный на рис. 488.

Разрѣзка кирпичной облицовки откоснаго крыла показана на рис. 489, или же примѣняется типъ, указанный па рис. 488, съ тѣмъ лишь отличіемъ, что по наклонной грани кирпичи ставятся на ребро.

Теска облицовочныхъ камней прямого крыла не представляетъ затрудненій. Нѣсколько сложнѣе теска камней наклоннаго крыла. Пусть напр. (рис. 490) верхняя поверхность наклоннаго крыла совпадаетъ съ поверхностью откоса на-

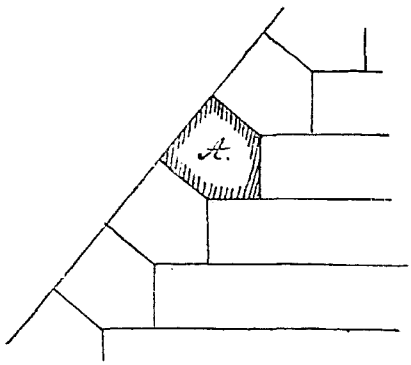


Рис. 487.

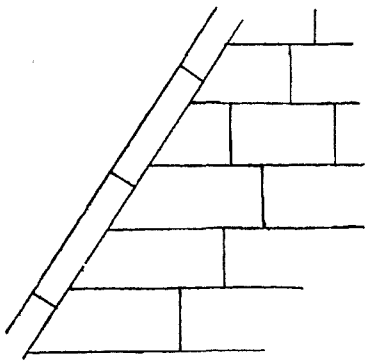


Рис. 488.

сыпи. Для облегченія приготовленія шаблоновъ—отдѣльные камни и объемлющій ихъ параллелопипедъ вычерчивается въ изометрической проекціи; для сего кромѣ горизонтальной проекціи крыло вычерчивается еще въ двухъ вертикальныхъ

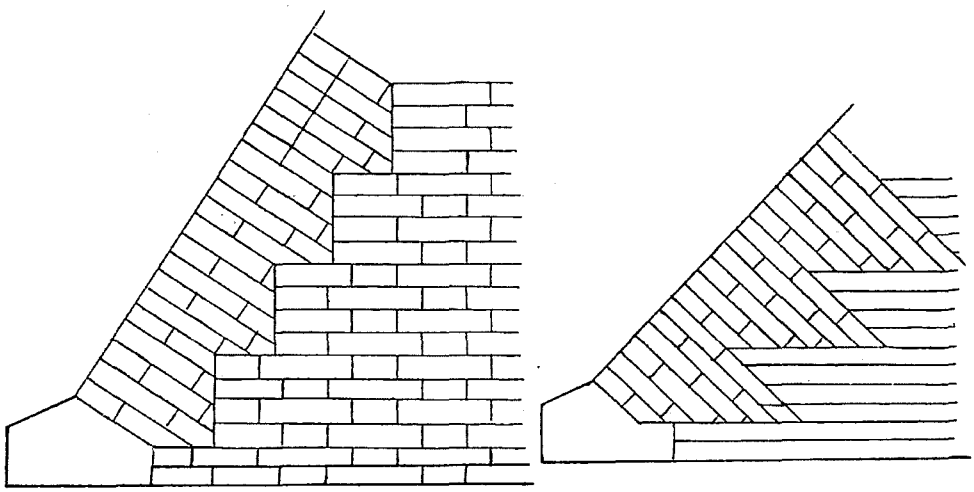


Рис. 489.

проекціяхъ на плоскости параллельную и нормальную къ продольной оси пути, а также и въ совмѣщеніи съ горизонтальной плоскостью.

При наклонномъ крылѣ—горизонтальныя сѣченія близъ наклонной грани могутъ быть замѣнены сѣченіями, засѣкающими наклонную грань по горизонтальнымъ линіямъ, а отвѣсную—по линіямъ, перпендикулярнымъ къ наклонному ребру (рис. 490), или же замѣняются сѣченіями нормальными къ наклонному ребру. Чтобы приготовить, напр., при первомъ способѣ разрѣзки нижній упорный камень (рис. 490), опредѣляютъ предварительно наименьшій объемлющій параллелопипедъ при наименьшемъ основаніи *abed*, опредѣляютъ высоту камня *ef*, и приложеніемъ къ камню шаблоновъ *A* и *B*—получаютъ указанія—какія части камня надлежитъ снять и пр.

Верхняя часть ледорѣза, т. е. двѣ верхнія наклонныя грани, разсѣкается двумя системами плоскостей, изъ которыхъ одна нормальна къ верхнему ребру ледорѣза (при пологихъ ледорѣзахъ), а другая перпендикулярна къ верхнимъ гранямъ, будучи въ то же время параллельной верхнему ребру (фиг. 192а, таб. 23), или ребру пересѣченія верхнихъ и боковыхъ граней (фиг. 192 б, таб. 23, фиг. 192 в и 192 г, таб. 24); или же одна система плоскостей горизонтальна (при крутыхъ ледорѣзахъ), а другая нормальна къ верхнимъ наклоннымъ гранямъ, будучи въ то же время параллельна или верхнему ребру (фиг. 192д, таб. 24), или во избѣжаніе острыхъ плоскихъ угловъ, перпенди-

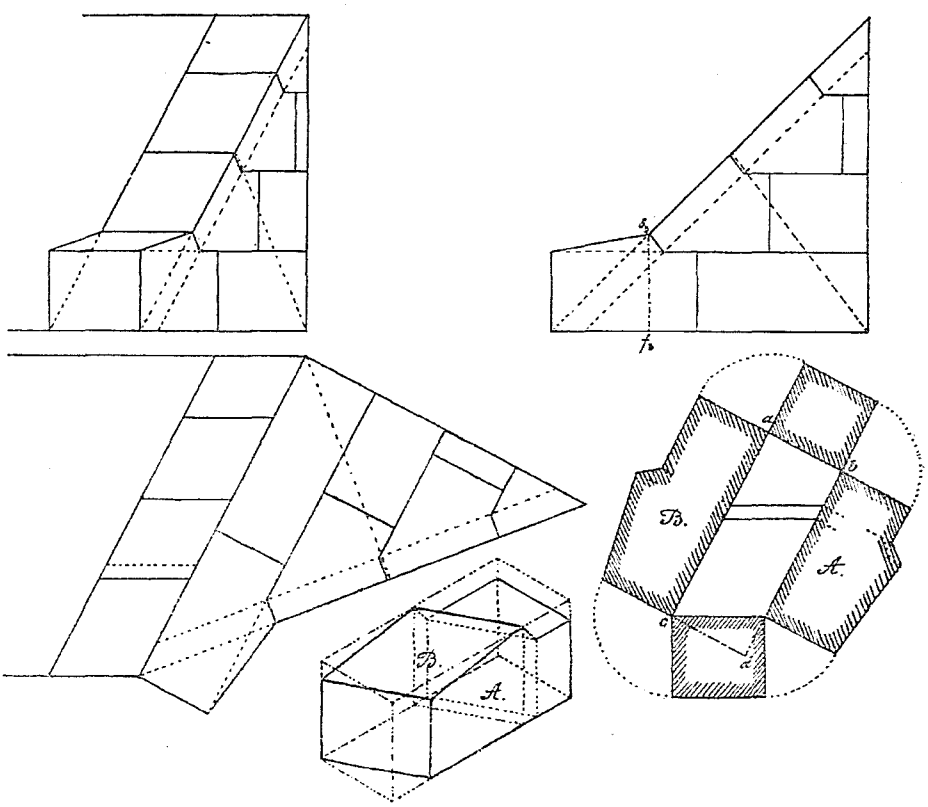


Рис. 490.

кулярна къ горизонтальному слѣду сѣченія верхнихъ наклонныхъ граней (фиг. 192е, таб. 24). Что касается угловыхъ камней, сопрягающихъ верхнюю наклонную грань съ боковыми гранями, то въ нихъ разрѣзка дѣлается со входящими углами (фиг. 192б, таб. 23), или лучше безъ входящихъ угловъ (фиг. 192г, таб. 24 и 192а, таб. 23). На чертежѣ фиг. 192г, таб. 24 показаны различныя разрѣзки со входящими углами и безъ нихъ, при чемъ каждому ряду верхняго наклоннаго ребра соотвѣтствуетъ одинъ, два или болѣе рядовъ боковыхъ граней, что бываетъ въ зависимости отъ уклона ребра пересѣченія.

Внутреннія грани ледорѣзныхъ камней должны имѣть такое относительное положеніе, чтобы нигдѣ не было острыхъ двугранныхъ угловъ, вслѣдствіе чего ледорѣзный камень бываетъ иногда ограниченъ болѣе, чѣмъ 6 гранями, какъ напримѣръ камень, размѣры граней котораго показаны на фиг. 194, таб. 24.

Кромѣ этого слѣдуетъ имѣть въ виду, чтобы въ кривыхъ или прямыхъ пересѣченія различныхъ поверхностей не было швовъ по направленію этихъ линій.

На этомъ основаніи всѣ углы, при сопряженіи плоскихъ граней между собою и съ цилиндрическими поверхностями, должны быть сдѣланы изъ одного камня (фиг. 196, таб 24). На этомъ чертежѣ показаны фасады и планы нѣкоторыхъ ледорѣзныхъ камней.

На табл. 24 изображенъ фасадъ, планъ и продольный разрѣзъ ледорѣза Троицкаго моста, а также планъ второго внутренняго ряда камней и детальные размѣры нѣкоторыхъ камней съ показаніемъ очертанія каждой грани въ совмѣщеніи. Голова быка ограничена конусомъ съ эллиптической направляющей; верхняя наклонная поверхность ледорѣза — двѣ взаимно пересѣкающіяся подъ прямымъ угломъ плоскости; ребро пересѣченія закруглено по конической поверхности; высота головы ледорѣза равна нулю; очертаніе ледорѣза въ планѣ представляетъ четыре взаимно пересѣкающіяся прямыя линіи; первая пара линій, со стороны головы ледорѣза — горизонтальные слѣды верхнихъ наклонныхъ гранеи; слѣдующая пара линій — прямыя, проведенныя отъ двухъ точекъ горизонтальныхъ слѣдовъ (на разстояніи 1,947 м. отъ точекъ встрѣчи слѣдовъ) касательными къ основанію конической головы быка; боковыя грани—наклонныя плоскости, касательныя къ конической поверхности головы быка; ребра пересѣченія верхнихъ наклонныхъ граней съ боковыми гранями и съ конической головой быка—опредѣлены общеизвѣстнымъ образомъ.

Разрѣзка верхнихъ наклонныхъ граней ледорѣза сдѣлана системою плоскостей, нормальныхъ къ рѣжущему ребру и другой системой, нормальной къ верхнимъ наклоннымъ гранямъ и параллельнымъ рѣжущему ребру. Разрѣзка плоскостями, нормальными къ рѣжущему ребру, продолжена нѣсколько за ребро пересѣченія съ боковыми гранями; разрѣзка на этихъ послѣднихъ граняхъ сдѣлана горизонтальными и вертикальными плоскостями. Для увеличенія сопротивленія сдвигу передніе камни ледорѣза вдѣланы въ массивъ кладки уступами; штучные камни примѣнены не только для облицовки, но и для одного внутренняго ряда подъ рѣжущимъ ребромъ ледорѣза. Такъ какъ передніе камни ледорѣза вдѣланы въ массивъ кладки на 0,5 м., то напр. передній камень № 1—ограниченъ спереди— вертикальной цилиндрической поверхностью E и двумя вертикальными плоскими гранями E_1 и E_2; сверху—конической поверхностью $Ж$ и двумя плоскими наклонными гранями $Ж_1$ и $Ж_2$; по направленію нормальной къ рѣжущему ребру сѣкущей плоскости — гранью A: по направленію нормальной къ горизонтальному слѣду сѣкущей плоскости — гранями B_1 и B_2 и наконецъ сзади — отвѣсной гранью $Б$; размѣры всѣхъ этихъ граней показаны въ совмѣщеніи. Внутренніе камни имѣютъ входящіе углы; верхняя наклонная грань (какъ напр. въ камнѣ № 14) ограничена двумя наклонными гранями съ заплечиками, чему соотвѣтствуютъ входящіе углы въ нижнихъ граняхъ верхнихъ рядовъ камней и что сдѣлано для увеличенія сопротивленія сдвигу, по направленію нормальному къ продольной оси ледорѣза. Показанные на фасадѣ двойные номера относятся къ камнямъ, расположеннымъ по обѣ стороны ледорѣза.

Въ эллиптическихъ ледорѣзахъ разрѣзка производится двумя плоскостями, изъ которыхъ одна горизонтальна (фиг. 154, таб. 18) или нормальна къ верхнему наклонному ребру (фиг. 155, таб. 18), а другая плоскость нормальна къ поверхности ледорѣза и вмѣстѣ съ тѣмъ нормальна къ слѣдамъ, образуемымъ сѣченіемъ предыдущей системой плоскостей (фиг. 154), или же параллельна оси наклоннаго цилиндра или конуса (фиг. 155).

Для приготовленія облицовочныхъ ледорѣзныхъ камней полезно сдѣлать изъ дерева или изъ мягкаго камня модели разныхъ камней, на которыхъ должны

быть надписаны длины различныхъ реберъ, а также и величины угловъ. Всѣ эти данныя получаются расчетомъ или изъ чертежа. Вмѣсто модели можно пользоваться и чертежемъ, представляющимъ въ совмѣщеніи различныя грани камня, какъ это, напримѣръ, показано на фиг. 194, таб. 24.

Различные виды разрѣзки камней внутри кладки устоевъ арочныхъ мостовъ показаны на фиг. 107а, 107б, 107в, 107г, 107д, таб. 13 и фиг. 188, таб. 23.

Описанія работъ по устройству опоръ нѣкоторыхъ мостовъ. Изготовленіе и погруженіе фашинныхъ тюфяковъ.

1) *Опоры моста чрезъ р. Ааръ въ Бернѣ.* На рис. 491*а* изображенъ быкъ арочнаго металлическаго моста чрезъ р. Ааръ въ Бернѣ (Kornhausbrücke рис. 120), представляющій

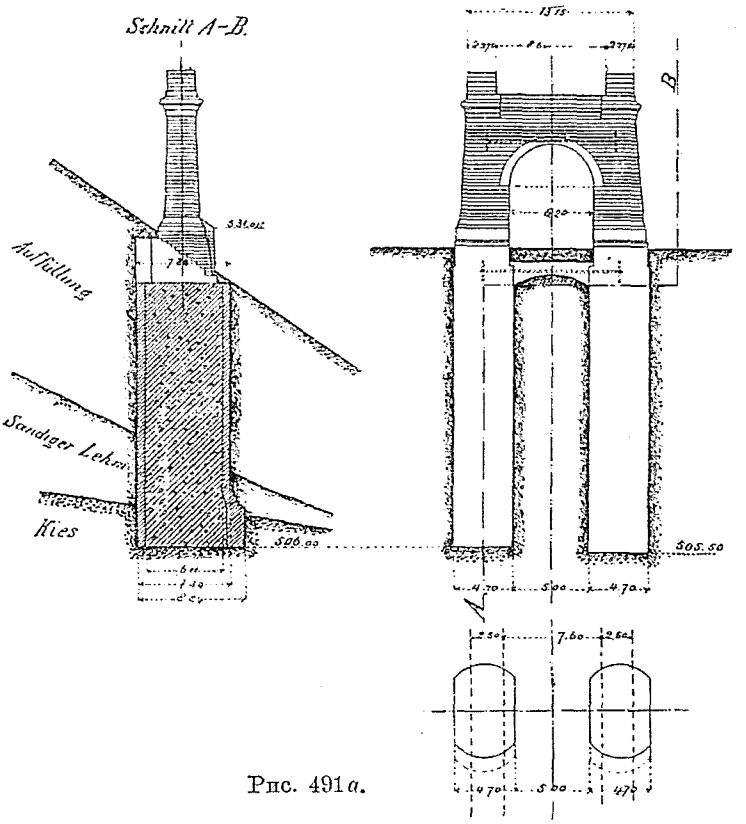


Рис. 491*а*.

интересъ въ смыслѣ примѣненія своеобразнаго пріема по заложенію опоръ на глубинѣ 28 метр. путемъ постепеннаго подведенія кладки снизу *). Основаніемъ быку служатъ два отдѣльныхъ столба на взаимномъ разстояніи 5 м., представляющіе въ сѣченіи четыреугольникъ съ двумя закругленными сторонами, каждый столбъ состоитъ изъ кирпичной оболочки толщиною 0,615 м., заполненной бетономъ. Кирпичная оболочка была выбрана на томъ основаніи, что не желали допустить давленіе на грунтъ болѣе 6 $\frac{\text{кил.}}{\text{см.}^2}$. Бетонный или сплошной каменный массивъ не удовлетворялъ бы этому условію; внутреннія пустоты были признаны не цѣлесообразными для быка арочнаго моста. Остановились поэтому на кирпичной оболочкѣ съ бетоннымъ заполненіемъ и въ такой относительной пропорціи, чтобы удѣльный вѣсъ кладки былъ не болѣе: $\gamma = 2$. Наибольшіе поперечные размѣры столба: 7,34 м. $\times$ 4,70 м.; близъ подошвы наружная поперечная закругленная стѣнка утолщена, такъ что въ уровнѣ подошвы основанія размѣры

*) Schweizerische Bauzeitung. 1897, № 6.

столба: 8,64 м. × 4,70 м. Около поверхности земли оба столба соединены аркой и металлической связью; выше этого уровня тѣло быка вновь состоитъ изъ двухъ столбовъ, вторично соединенныхъ аркой. Быки оказалось необходимымъ помѣстить на крутомъ берегу р. Ааръ, представляющемъ мощную до 16 м. осыпь съ уклономъ 3 : 4, залегающую на наклонномъ пласту глины, толщиною 8,5 м., съ подпочвой изъ хрящеватаго грунта, на которомъ и предположено было заложить основаніе. Надлежало избрать такой способъ производства работъ, чтобы по возможности не нарушать равновѣсія осыпи, такъ какъ иначе она могла бы придти въ движеніе. На этомъ основаніи опускные колодцы, кессоны, при которыхъ опора опускается внизъ, увлекая за собою прилегающій грунтъ, были признаны опасными. Инженеръ Simons предложилъ опустить основаніе до требуемой глубины, подводя кладку оболочки снизу; онъ полагалъ, что при одинаковомъ удѣльномъ вѣсѣ

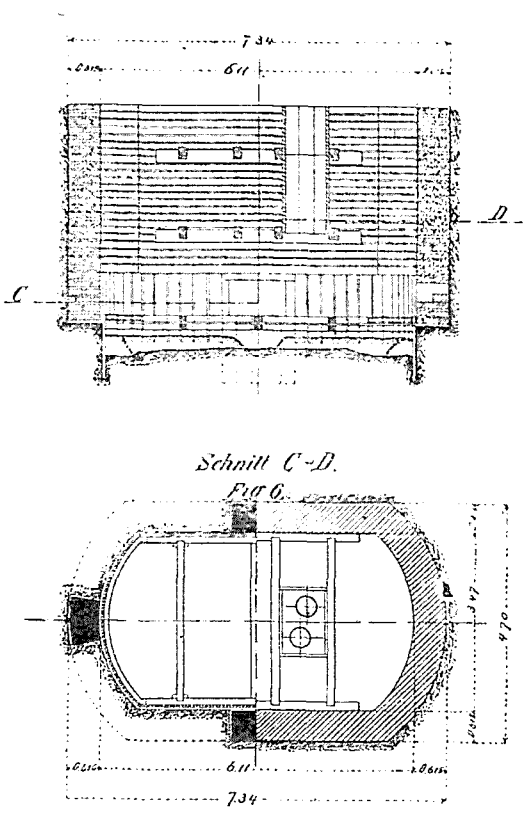


Рис. 491*б*.

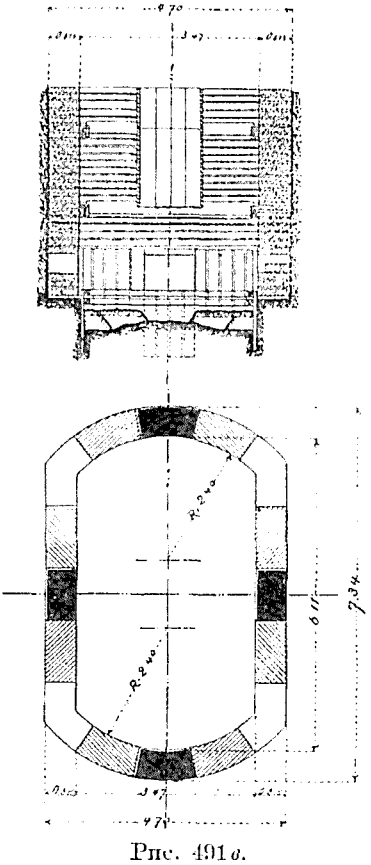


Рис. 491*в*.

грунта (осыпи) и кирпичной кладки — (около 1,8) — равновѣсіе крутого откоса не должно нарушиться. Съ этою цѣлью стѣнкамъ оболочки была придана форма въ видѣ прямого (со стороны дѣйствія распора земли) и обратнаго сводовъ, соединенныхъ прямыми вставками. Работа началась съ того, что помощью шахтъ была выведена съ опредѣленной глубины оболочка, при чемъ кладка производилась по частямъ, начиная съ обратнаго свода и кончая прямымъ сводомъ. Глубина, до которой вырыты были шахты, отвѣчала уже такой толщинѣ (въ горизонтальномъ сѣченіи) осыпи, при которой передачу давленія отъ обратнаго свода можно было считать достаточно безопасною. Дно шахты, ширина которой была не много болѣе толщины оболочки, было выложено рядомъ поперечныхъ досокъ съ выступающими внутрь колодца концами; въ концахъ досокъ была вынилена средняя часть, такъ что оставалось съ боковъ какъ бы два уха, которые имѣли назначеніемъ служить направляющими для забивки ручной бабой вертикальныхъ шпунтовъ. Послѣ сего начались собственно работы по подведенію кладки. Вырыта была земля внутри оболочки, прямыя стѣнки роспертры распорками (рис. 491*б* и 491*в*), забиты вертикальныя доски между выступающими ушами горизонтальныхъ досокъ на глубину 1,30 м. ниже основанія каменной оболочки, и выбрана внутри земля на глу-

бину до 1 м., чтобы удобнѣе было работать каменщикамъ. Затѣмъ въ четырехъ крестообразно-расположенныхъ мѣстахъ (залито на рис. черпымъ) по пяти доскъ были углублены ударами ручной бабы на глубину 0,70 м., вынуты изъ-подъ оболочки приходящіяся противъ нихъ горизонтальныя доски, выбранъ подъ ними грунтъ на глубину 0,30 м. ниже верха понижепныхъ вертикальныхъ досокъ, дно плотно утрамбовано, вновь положены горизонтальныя доски и выведено шесть рядовъ кладки. Продолжая подобнымъ образомъ раскрывать въ четырехъ мѣстахъ (на рис. показано заштрихованнымъ и пустымъ мѣстомъ) вертикальныя доски, кольцо высотою 0,96 м. было выведено въ четыре послѣдовательныхъ пріема. Затѣмъ укладывали слѣдующій рядъ распорокъ и работы продолжались въ томъ же порядкѣ. Случайные обвалы позади каменной стѣнки заполнялись растворомъ. Верхній шовъ каждаго звена имѣлъ толщину около $2^1/_2$—3 см., заполнялся растворомъ, въ который желѣзной зубчатой планкой (пилой) загонялся мелкій плоскій кирпичный щебень; цементный растворъ былъ быстро схватывающій, такъ какъ при успѣхѣ работъ—по одному кольцу высотою 0,96 м. въ каждые два дня—часть кладки на протяженіи 1,25 м.—1,75 м., послѣ каждыхъ 2-хъ сутокъ

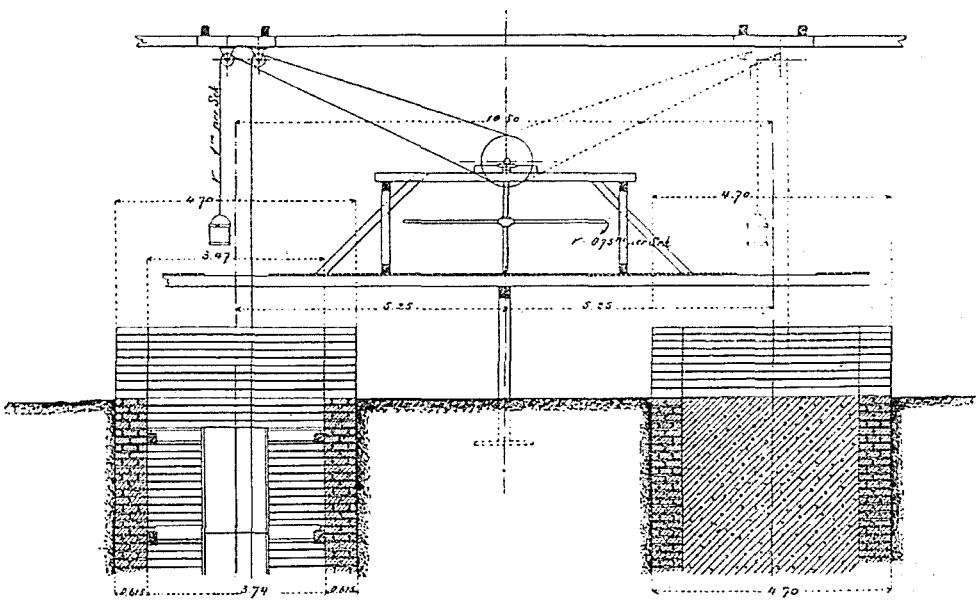


Рис. 491 *г*.

должна была оставаться на вѣсу. Для удобства установки распорныхъ рамъ—въ каждомъ второмъ кольцѣ въ 4-мъ ряду выпускали нѣсколько кирпичей въ видѣ кронштейновъ, на которые опиралась обвязка рамы; для болѣе плотнаго соприкасанія рамы съ кладкой промежутокъ между досками и кладкой заливался растворомъ. Расходъ раствора вслѣдствіе сего оказался на 50% болѣе противъ исчисленнаго для кладки. Работа въ каждомъ колодцѣ производилась разновременно. Для извлеченія грунта пользовались двумя бадьями, (рис. 491*г*), привязанными къ концу каната, который былъ перекинутъ черезъ два блока и шкивъ, насаженный на валъ. При помощи коническаго зацѣпленія, послѣдній приводился во вращеніе рабочимъ, дѣйствующимъ на вертикальный воротъ; скорость подъема была 1 м. въ сек. Съ увеличеніемъ глубины пришлось увеличить объемъ бадьи. Во время производства работъ одинъ столбъ опустился на 25 м.м., а другой на 11 м.м. При этомъ способѣ работъ не представляло никакого затрудненія утолстить близъ основанія (на глубинѣ 18 м.) стѣнку обратнаго свода, для того, чтобы увеличить площадь передачи давленія и чтобы отдалить крайнее ребро основанія отъ направленія равнодѣйствующей вертикальнаго и горизонтальнаго давленій. Способъ этотъ оказался недорогимъ и удобоисполнимымъ; его можно рекомендовать при необходимости погружать опоры въ рыхлый, неустойчивый грунтъ, когда есть основаніе опасаться образованія пустотъ въ земляной массѣ во время опусканія; къ недостаткамъ же слѣдуетъ приписать зависимость успѣха работъ отъ затвердѣнія раствора, вслѣдствіе чего нѣкоторая медленность въ работѣ неизбѣжна. Simons полагаетъ, что способъ этотъ примѣнимъ при слабомъ притокѣ

поды, съ употребленіемъ для работъ быстро твердѣющаго раствора; въ случаѣ сильнаго притока воды можно сохранить тотъ же пріемъ, пользуясь сжатымъ воздухомъ для вытѣсненія воды.

2) *Опоры моста черезъ р. Сулу.* При сооруженіи основанія опоръ моста черезъ р. Сулу на Ромны-Кременчугской ж. д. (фиг. 116, табл. 12, рис. 437) былъ примѣненъ слѣдующій пріемъ. Подъ каждую опору устроено по два бетонныхъ колодца, при наружныхъ размѣрахъ 2,60 с. × 2,18 с. для устоевъ и 2,5 с. × 2,35 с. для быка; бо́льшіе размѣры соотвѣтствуютъ направленію вдоль оси пути. Толщина стѣнокъ 0,50 с. Промежутокъ между колодцами 0,26 с. Бетонъ былъ выбранъ потому, что стѣнки изъ бетона представляютъ монолитную массу, менѣе подвержены разрыву и при гладкихъ наружныхъ поверхностяхъ менѣе задерживаются треніемъ о грунтъ при опусканіи. Основаніемъ для колодцевъ служили металлическіе ножи и дубовыя брусчатыя кольца. Желѣзный металлическій ножъ (фиг. *A*, таб. 24″) состоялъ изъ вертикальной стѣнки 2 (17 д. × $^1/_2$ д.), усиленной внизу листомъ 5 × $^1/_2$ д., и къ которой черезъ каждые 25 д. были приклепаны при помощи парныхъ уголковъ треугольные консоли изъ $^1/_2$ д. листа, высотою 17 д. и шириною 13 д. Къ горизонтальнымъ уголкамъ консолей приклепанъ горизонтальный листъ 13 д. × $^1/_2$, на которомъ расположено 5 перекрещивающихся рядовъ дубовыхъ досокъ толщиною по 4 д. Ширина досчатыхъ рядовъ напусками постепенно увеличивалась съ 13 д. до 42 д. = 0,50 с. Доски стянуты тремя рядами болтовъ, при чемъ одинъ рядъ болтовъ, прибольченный къ горизонтальной полкѣ ножа, продолжался далѣе и входилъ на нѣкоторомъ протяженіи въ массивъ оболочки. На дубовыхъ кольцахъ устраивалась бетонная стѣнка, сначала высотою 0,50 с., а затѣмъ 0,75 с., и постепенно наращивалась по мѣрѣ опусканія колодцевъ. Формы (наружныя и внутреннія) для кладки стѣнокъ устраивались разборчатыми и состояли изъ поставленныхъ стоймя 1 верш. сосновыхъ досокъ (фиг. *B*, таб. 24″); наружная стѣнка была обжата двумя рядами связанныхъ по высотѣ горизонтальныхъ рамъ, а внутренняя — росперта подобными же двумя рамами. Въ конструкціи наружныхъ и внутреннихъ рамъ была существенная разница. Наружная рама представляла замкнутое кольцо, составленное изъ $1^1/_2$ верш. досокъ, связанныхъ въ стыкахъ желѣзными накладками и болтами; внутренняя рама состояла изъ шести отдѣльныхъ частей, взаимно связанныхъ четырьмя поперечными брусками, врубленными въ полдерева одинъ въ другой и прикрѣпленными болтами къ ребрамъ внутренней рамы. Отверстія для болтовъ были сдѣланы овальныя; въ брускахъ имѣлись четырехугольныя вырѣзки, куда загонялись вертикальные клинья; кромѣ того между отдѣльными составными частями рамы были оставлены просвѣты, куда также загонялись толстые клинья, нажимавшіе на вертикальныя доски, прислоненныя къ торцамъ составныхъ частей рамъ. Такимъ образомъ, несмотря на прерывность внутреннихъ рамъ онѣ по забивкѣ клиньевъ представляли жесткое, замкнутое кольцо; съ другой стороны, ослабивъ нѣсколько клинья и болты, можно было сдвинуть составныя части рамы внутрь, чему не препятствовали овальныя отверстія. Сдвинувъ раму, можно было ее поднять вверхъ и вынуть изъ колодца. Обѣ стѣнки взаимно связаны сверхъ того съемными горизонтальными скобами, имѣющими вырѣзы, соотвѣтствующіе толщинѣ стѣнъ.

Порядокъ работъ былъ слѣдующій. На шероховатую поверхность предыдущаго бетоннаго слоя или въ началѣ работъ на деревянное кольцо укладывали нѣсколько поперечныхъ брусковъ съ выступами въ обѣ стороны (фиг. *B*, таб. 24″). На бруски устанавливались сначала части наружной стѣнки, всего по периметру 6 частей, такъ чтобы бруски приходились противъ вырѣзовъ, сдѣланныхъ въ нѣкоторыхъ доскахъ стѣнки; отдѣльныя части стѣнки взаимно связывались желѣзными планками и болтами, и одновременно накладывались наружныя рамы. Затѣмъ опускалась на блокахъ внутренняя стѣнка, устанавливалась вырѣзами на бруски и одновременною забивкою всѣхъ клиньевъ стѣнка раздвигалась до требуемыхъ размѣровъ, что повѣрялось накладываніемъ верхнихъ съемныхъ скобъ. При разборкѣ наружная стѣнка разбиралась, при чемъ вынимались предварительно болты, связывающіе отдѣльныя части наружной рамы; во внутренней же стѣнкѣ ослабляли клинья и, сдвинувъ раму немного внутрь, поднимали стѣнку изъ колодца цѣпями и воротомъ. Въ кольцеобразный промежутокъ стѣнокъ, послѣ ихъ установки насыпался предварительно приготовленный бетонъ: 1 ц. : 2 п. : 5 гран. щебня, который тщательно утрамбовывался. Послѣ 5 дней формы разбирались, и наружная стѣнка штукатурилась цементомъ. Въ бетонный массивъ задѣлывались на опредѣленной высотѣ рельсы, служившіе впослѣдствіи подмостями для установки пульзометра. Выемка земли производилась при маломъ водоотливѣ лопатою, при увеличивающемся притокѣ—посредствомъ обыкно-

венныхъ черпаковъ (желѣзный продолговатый ковшъ съ отверстіями, открытый съ одной стороны и прикрѣпленный подъ прямымъ угломъ къ шесту, къ свободному концу ковша прикрѣпленъ канатъ) или помощью черпака особаго типа, на подобіе экскаваторовъ емкостью отъ 2 до 3 куб. ф. (фиг. *C*, таб. 24″). При опусканіи этотъ послѣдній черпакъ направлялся желѣзной штангой, которая углублялась въ грунтъ. Черпакъ имѣлъ шарнирное соединеніе со штангой; при опусканіи, черпакъ ложился острісмъ на дно (фиг. *D*); при навиваніи цѣпи на воротъ, остріе черпака врѣзывалось въ грунтъ, черпакъ захватывалъ грунтъ и поднимался воротомъ вмѣстѣ со штангой. Для опусканія и подъема бетонныхъ формъ и черпаковъ были устроены на сваяхъ подмости (фиг. *D*, таб. 24″) внѣ района предположенной осадки грунта. Одновременно работало въ одномъ колодцѣ шесть черпаковъ, и при глубинѣ около 4 с., однимъ черпакомъ выбиралось въ часъ 18 куб. ф. песчанаго грунта. Глинистый грунтъ требовалъ предварительнаго разрыхленія особымъ стальнымъ ножемъ, въ видѣ трехъ заостренныхъ листовъ по $^1/_2$ д., приклепанныхъ къ парному рельсу (фиг. *E*, таб. 24″); этимъ же ножемъ вѣсомъ до 20 пуд. разрубались и встрѣчавшіяся стволы деревьевъ.

Средній успѣхъ работы въ день при одной смѣнѣ составлялъ отъ 0,02 пог. с. до 0,03 пог. с., при чемъ въ глинѣ было пройдено около 1,30 с., а въ пескѣ около 5,50 с. При кессонныхъ работахъ средній суточный успѣхъ около 0,15 с.—0,20 с. На медленность работы (около 280 дней на каждую опору) вліяло отчасти близкое взаимное расположеніе (0,26 с.) двухъ колодцевъ, вслѣдствіе чего происходило напираніе одного колодца на другой, при чемъ требовалось много времени на выправленіе.

Въ виду малаго вѣса колодцевъ приходилось, начиная съ 4 саж., производить погруженіе колодца путемъ откачиванія воды изъ колодца черезъ каждые 2—3 дня. Колодецъ опускался не болѣе 0,05 с.—0,15 с., но въ то же время плывунъ поднимался на высоту до 0,75 с. и на вычерпываніе его тратилось много времени. При этомъ способѣ опускашія съ откачиваніемъ, около опоры происходила осадка грунта и выравниваніе производилось мѣшками съ глиной. Опытъ погруженія въ глину помощью открытаго подкона съ предварительнымъ откачиваніемъ воды не удался, такъ какъ послѣ откачки воды на глубинѣ 4,5 с. двумя пульзометрами, наружный грунтъ подъ напоромъ столба воды въ 4,1 с., врывался въ колодецъ и заполнялъ нижнюю часть. Производитель работъ пришелъ къ заключенію, что въ будущемъ слѣдуетъ устраивать одинъ общій колодецъ, бо́льшаго вѣса, затѣмъ бетонировать одновременно болѣе высокіе слои кольца, и наконецъ проектировать кольцы въ планѣ съ запасомъ въ виду возможнаго ихъ отклоненія. Колодцы по опусканіи наполнялись сначала бетономъ на 0,50 с. опускнымъ способомъ, а затѣмъ по откачкѣ воды заполненіе бетономъ шло на высоту 3 с.—3,9 с.; далѣе же выводилась бутовая кладка. Обѣ колонны перекрыты вверху аркой. Подферменные камни сдѣланы изъ одного куска, размѣровъ 0,70 с. × 0,60 с. × 0,25 с. — на устоѣ и 0,90 с. × 0,70 с. × 0,25 с. — на быкѣ. Стоимость устройства основанія, всего шести колодцевъ, обошлась въ 86966,40, или на куб. саж. подводнаго объема колодцевъ: 423 руб., а на пог. саж. 2376 руб.

Общая стоимость распредѣляется слѣдующимъ образомъ:

А) *Изслѣдованіе грунта.*

1) Буреніе и обсадныя трубы . . . . . 1398,94 руб.

Б) *Опускные колодцы* (общая глубина шести колодцевъ—36,60 пог. саж.).

2) Ножи и болты для 6 колодцевъ . . . . . 7281,02 руб.
3) Дубовыя подушки для ножей . . . . . 2186,61 »
4) Подмости надъ колодцами . . . . . 3529,57 »
5) Выдѣлка бетонныхъ стѣнокъ:
   а) Работа 149,65 куб. саж. . . . . 2720,06 »
   б) Матеріалы: щебень 152,40 куб. саж. . . . . 4124,52 »
      цементъ 1945,44 боч. . . . . 12662,85 »
   в) Бетонная форма . . . . . 3558,28 »
6) Штукатурка колодцевъ 20,84 кв. саж. . . . . 233,43 »
7) Отливъ воды при опусканіи: Ручными насосами . . 6644,40 »
   Пульзометрами . . . 3261,36 »
8) Выемка земли: Работа . . . . . 17720,86 »
   Канаты, цѣпи и пр. . . . . 832,22 »

9) Обмащиваніе колодцевъ мѣшками	3478,13 руб.
10) Рельсовыя балки и кузнечныя работы	6644,58 »
11) Зимнія работы: а) бараки надъ колодцами	4056,37 »
б) печи	681,08 »
в) отопленіе и освѣщеніе	3023,90 »
12) Пульзометры, котлы и черпаки	4287,60 »
Итого по Б . . .	86966,40 руб.

3) *Опоры моста чрезъ р. Рейнъ въ Боннѣ.* Приведемъ краткое описаніе сооруженія среднихъ опоръ Боннскаго городского моста чрезъ р. Рейнъ (рис. 122). Мостъ состоитъ изъ четырехъ пролетовъ: средняго въ 187,92 м., перекрытаго арочной фермой съ ѣздою по низу, изъ двухъ боковыхъ по 94,45 м., перекрытыхъ арочными фермами съ ѣздою по верху, изъ одного малаго пролета въ 32,25 м., и изъ ряда каменныхъ пологихъ віадуковъ. Возвышеніе низа фермъ надъ высокимъ судоходнымъ горизонтомъ 9,1 м. Ложе р. Рейна состоитъ въ этомъ мѣстѣ, на глубину до 15 м., изъ песку, перемѣшаннаго съ крупной галькой. Быки и устои основаны на бетонномъ основаніи въ шпунтовомъ огражденіи изъ металлическихъ свай. Тѣло быка симметрично относительно вертикальной оси; бетонное же основаніе быка уширено въ сторону малыхъ пролетовъ соотвѣтственно расположенію кривой давленія при невыгодномъ расположеніи нагрузки, при чемъ наибольшее давленіе при неравномѣрной нагрузкѣ не превышаетъ 5,7 $\frac{\text{кил.}}{\text{см.}^2}$, при глубинѣ заложенія около 2 м. ниже дна; металлическіе шпунты опущены глубже основанія на 4 м. Бетонное основаніе среднихъ быковъ представляетъ въ планѣ прямоугольникъ съ треугольной приставкой съ верховой стороны, такъ что въ окончательномъ видѣ получается пятиугольникъ. Размѣры прямоугольника 13,75 м. $\times$ 25,15 м.; длина треугольнаго выступа 6,75 м.; толщина бетоннаго основанія 5 м. Надъ фундаментомъ возвышается тѣло быка съ двумя симметричными головами, ограниченными двумя пересѣкающимися кривыми линіями; наибольшіе размѣры тѣла быка въ уровнѣ обрѣза: 10,6 м. $\times$ 24,00 м., а на высотѣ 9,83 м., въ уровнѣ пятъ арки: 8,6 м. $\times$ 24,94 м., такъ что уклонъ граней около $\frac{1}{10}$. Выше уровня пятъ сдѣланъ переходъ отъ остроконечныхъ головъ къ полукруглымъ; этотъ переходъ выгнутаго очертанія занимаетъ высоту: 2,40 м.; выше сего горизонта тѣло быка выведено съ вертикальными боковыми гранями при однообразной толщинѣ 6,30 м., на высоту 10,25 м., отвѣчающей отмѣткѣ верхняго пояса арки. Надъ обѣими головами быка возвышаются высокія цилиндрическія башни, соединяющіяся вверху каменной аркой, при чемъ въ башняхъ противъ тротуаровъ сдѣланы проходы, также перекрытые сводами; кромѣ сквознаго прохода, устроены еще на консоляхъ наружные тротуары. Внутри тѣла быка вдѣлана вертикальная чугунная труба діаметромъ 45 сант., для отвода дождевой воды стекающей съ полотна. Опоры выведены изъ базальта съ употребленіемъ раствора въ составѣ 1 ц. : 3 п. для частей опоры до уровня пять; выше сего уровня употребленъ для кладки сложный растворъ въ составѣ: 1 ц. : 1 пзв. : 6 песку. Подъ чугунными подпятными плитами по направленію кривой давленія располагается рядъ штучныхъ гранитныхъ камней размѣрами: 1,195 м. $\times$ $\times$ 2,40 $\times$ 0,70 м. съ цѣлью передать давленіе отъ пятъ на большую площадь, при уменьшеніи напряженія 50 $\frac{\text{кил.}}{\text{см.}^2}$ до 10 $\frac{\text{кил.}}{\text{см.}^2}$. Облицовочные камни подлиты на растворѣ: 1 ц. : 1 п., а въ головахъ они соединены кромѣ того пропами и скобами.

Такъ какъ оба берега были застроены, и направленіе оси моста было задано двумя точками на двухъ поперечныхъ улицахъ, приблизительно параллельныхъ берегу, то положеніе оси моста на берегу было опредѣлено тригонометрически. Для сего былъ нанесенъ на мѣстѣ и на чертежѣ многоугольникъ, двѣ стороны коего были направлены одна вдоль берега, а другая по улицѣ параллельной берегу. Намѣтивъ на чертежѣ положеніе оси на сторонѣ многоугольника вдоль улицы, точка пересѣченія ея съ стороной многоугольника по берегу была опредѣлена вычисленіемъ и затѣмъ нанесена на мѣсто. Точное положеніе продольной оси быковъ было намѣчено на особомъ помостѣ на сваяхъ, забитыхъ въ разстояніи 30 м. отъ моста; для огражденія сего помоста и шпунтоваго огражденія отъ навалки судовъ и проч. по линіи продольнаго ряда шпунтовъ вверхъ по теченію были забиты связанныя схватками сваи съ двумя замыкающимися подъ угломъ сторонами.

Въ виду относительно неглубокаго заложенія основанія, послѣднее выведено въ перемычкахъ (фиг. *F*, таб. 24″); внутренній шпунтовой рядъ былъ металлическій, а наружный, отставленный на 4 м.,—деревянный брусчатый (20 см. × 20 см.). Металлическія сваи были взяты въ виду гравелистаго ложа и необходимости забить первый рядъ довольно глубоко. Для нихъ было употреблено двутавровое желѣзо двухъ типовъ, высотою 300 мм. и 175 мм. (№№ 32 и 16 по нормальному Германскому сортаменту); менѣе высокое двутавровое желѣзо располагалось нормально къ периметру быка и составляло рядъ какъ бы направляющихъ свай, между полками котораго располагались желѣзо высотою 300 м. съ полками шириною 175 мм., обращенными къ стѣнкамъ двухъ смежныхъ направляющихъ свай (фиг. *G*, таб. 24″). Металлическія сваи длиною 16 м. были забиты на глубину 9 м. и легко разбивали встрѣчавшіеся въ грунтѣ камни. Обыкновенно однимъ ударомъ забивались попарно легкая и тяжелая профиль; вѣсъ бабы измѣнялся отъ 200 до 1.200 кил., а высота поднятія составляла всего 0,50 м. Сваи забивались не сразу до конца, а поочередно ступенями отъ 0,40 м. до 0,60 м. Для сего были употреблены два копра съ легкой и тяжелой бабой; первымъ, болѣе легкимъ копромъ сваи забивались на глубину 4—5 м,; болѣе тяжелымъ копромъ онѣ добивались до требуемой глубины. При глубинѣ забивки въ 9 м.—ежедневно забивалось 1,8 пог. метра стѣнки. Послѣ сего былъ забитъ наружный деревянный рядъ (20 см. × 20 см.), который несмотря на металлическіе башмаки не удалось забить глубже 3 м. Внутренній рядъ былъ обжатъ вверху схватками, затѣмъ оба ряда соединены металлическими тяжами, росперты въ горизонтальномъ направленіи раскосами, и промежутокъ между ними заполненъ глиной не на полную высоту, а примѣрно на половину. Ранѣе окончательнаго замыканія шпунтовой стѣнки была введена въ огражденное шпунтами пространство землечерпательная машина, которою вычерпанъ грунтъ въ средней части на глубину 3,5 м. ниже дна; около стѣнокъ грунтъ былъ временно оставленъ изъ опасенія искривленія внутренняго шпунта. Затѣмъ вдоль оси быка забитъ рядъ свай, перекрытый насадкой; между этой насадкой и верхними схватками внутренняго ряда помѣщены горизонтальныя распорки и затѣмъ приступлено къ выемкѣ оставшейся земли около шпунтовой стѣнки. Для сего на обѣихъ продольныхъ стѣнкахъ шпунтовъ были уложены поперечные брусья съ настиломъ, а на нихъ уложенъ рельсовый путь, по которому перемѣщалась мостовая телѣжка, съ поставленными на ней на рельсовомъ пути двумя паровыми ковшами (фиг. *I*, таб. 24″). Передвигая телѣжку и вынимая поочередно горизонтальныя распорки, достигали того, что грунтъ былъ вычерпанъ по всему периметру около стѣнокъ; всего въ день вынималось около 65 куб. метр., или примѣрно около 6 куб. саж. По выравненіи дна приступлено было къ бетонированію; такъ какъ грунтъ ложа рѣки пропускалъ воду очень легко, то нельзя было надѣяться на успѣшное откачиваніе воды и поэтому рѣшено было забетонировать основаніе погруженіемъ бетона въ воду. Для сего употреблены были двѣ металлическія цилиндрическія воронки длиною до 12 м., діаметромъ 60 см. Эти воронки были подвѣшены на роликахъ къ мостовой телѣжкѣ (фиг. *H*, таб. 24″), по которой онѣ могли перемѣщаться при помощи установленныхъ на телѣжкѣ воротовъ; телѣжка въ свою очередь могла передвигаться по рельсовому пути, устроенному вдоль шпунтовыхъ стѣнокъ. Каждая воронка перемѣщалась въ поперечномъ направленіи лишь на половину ширины бетоннаго основанія. Верхняя часть воронки состояла изъ 6 съемныхъ звеньевъ по 0,83 м. Снимая постепенно верхнія звенья, можно было поднимать низъ воронки до высоты каждаго изъ 6 слоевъ бетоннаго основанія. Бетонированіе началось съ того, что воронка, снабженная внизу клапаномъ, была заполнена бетономъ до верху, затѣмъ, открывъ клапанъ, начали обѣ воронки перемѣщать на телѣжкѣ по поперечному направленію; пройдя половину огражденнаго пространства, передвигали телѣжку на 30 сант., и вновь перемѣщали воронку на телѣжкѣ и т. д., строго наблюдая, чтобы бетонъ непрерывно ссыпался въ воронку, такъ чтобы воронка все время оставалась наполненной. Работа производилась днемъ и ночью; при неизбѣжныхъ остановкахъ—во время измѣненія направленія движеній или при съемкѣ звеньевъ—воронки опоражнивались и вновь заполнялись свѣжимъ бетономъ изъ опасенія, чтобы при остановкѣ движенія не началось схватываніе цемента; при перемѣщеніи воронки горизонтальныя связи поочередно вынимались и вновь вставлялись на свое мѣсто. Бетонъ приготовляли на особомъ помостѣ, установленномъ на двухъ баркахъ; все устройство на помостѣ состояло изъ локомобиля, барабана для приготовленія бетона, норьи для подъема щебня изъ барокъ, ворота для подъема бочекъ съ цементомъ и поворотнаго крана; на фиг. *F*, таб. 24″ показано относительное расположеніе всѣхъ частей. Около

низовой части продольнаго шпунта установлены были двѣ барки, поддерживавшія помостъ; съ боку одной барки располагалась барка съ цементомъ, а съ низовой стороны стояла барка со щебнемъ, который поднимался порьей. Помостъ имѣлъ три этажа. Въ нижнемъ этажѣ на одной изъ барокъ былъ установленъ 8-сильный локомобиль, а на другой баркѣ уложенъ рельсовый путь, по которому передвигались вагончики съ готовымъ бетономъ, поднимавшіеся краномъ и устанавливавшіеся имъ на рельсовый путь, по которому они передвигались далѣе къ воронкѣ. На второмъ этажѣ помоста были уложены два рельсовыхъ пути для перемѣщенія вагончиковъ со щебнемъ, пескомъ и цементомъ, подававшимися къ барабану для приготовленія бетона. Въ эти вагончики насыпался въ опредѣленномъ объемѣ щебень изъ ковшей порьи, а также песокъ и цементъ изъ вагончиковъ, перемѣщавшихся по третьему этажу. Вся эта сухая смѣсь подавалась къ барабану, куда направлялась мелкими струйками вода въ необходимомъ количествѣ. Бетонъ изъ барабана, по горизонтальной трубѣ (фиг. *H*, таб. 24″) высыпался въ вагончики, поставленные на первомъ этажѣ полотна, откуда они поднимались краномъ для установки на спеціальный рельсовый путь, устроенный надъ шпунтовой стѣнкой въ уровнѣ верхняго отверстія воронки. Пути эти, окружавшіе быкъ съ трехъ сторонъ, имѣли два постоянныхъ поворотныхъ круга около поперечной шпунтовой стѣнки и два передвижныхъ поворотныхъ круга, такъ какъ телѣжка съ воронкой занимала послѣдовательно различныя положенія. Ковши порьи, поднятые до верху, помощью рукоятки опрокидывались въ одинъ или въ другой опрокидывающійся вагончикъ, которые перевозились, какъ сказано, по особо устроенному рельсовому пути. Въ углы огражденнаго пространства бетонъ погружался помощью створнаго ковша. Послѣ погруженія шестью слоями бетона, всего на высоту 5 мет., вслѣдствіе чего металлическіе шпунты получали уже достаточную устойчивость—пространство между обѣими стѣнками было заполнено до верху глиной, и затѣмъ приступали къ отливанію воды и къ кладкѣ тѣла быка. Каменный матеріалъ для раствора подвозился на баркахъ и поднимался кранами, приводимыми въ движеніе электричествомъ. Перемѣщеніе матеріала вдоль быка производилось помощью особаго мостового крана, на которомъ была установлена лебедка, приводимая въ движеніе электричествомъ и съ подъемной силой въ 2 тонны. Растворъ приготовлялся машиннымъ путемъ. Въ средней части опоры облицовка была циклопская. Чтобы облегчить каменщикамъ работу по подбору камней, на выровненномъ мягкомъ мѣстѣ очерчено было наружное очертаніе поверхности, на которой надлежало сдѣлать циклопскую облицовку, камни околоты съ лица въ формѣ неправильныхъ многоугольниковъ, плотно пригнаны безъ просвѣтовъ и уложены на выровненномъ мѣстѣ; затѣмъ всѣ камни перенумерованы и со всей фигуры сдѣланъ фотографическій снимокъ; рабочіе, имѣя въ рукахъ этотъ снимокъ, легко находили по нумерамъ камни для кладки облицовки. По окончаніи кладки необходимо было разобрать перемычку. Для удаленія верхней части металлическихъ шпунтовъ былъ примѣненъ оригинальный пріемъ. Помощью электрическаго двигателя и гибкой оси вращенія, на уровнѣ предполагаемаго излома мостовыхъ шпунтовъ былъ просверленъ въ нихъ рядъ отверстій діаметромъ 19 мм.; въ день тремя сверлильными аппаратами проходили не болѣе 0,60 м. Затѣмъ привязывали поочередно къ каждому двутавровому шпунту проволочный канатъ, другой конецъ котораго былъ прикрѣпленъ къ небольшому пароходу. Пароходъ, приведенный въ движеніе, выгибалъ металлическій шпунтъ, послѣ чего его выпрямляли и снова отгибали, повторяя это до тѣхъ поръ, пока не получался изломъ; обыкновенно изломъ наступалъ послѣ второго выгиба. Работа эта оказалась настолько дорогой, что при сооруженіи устоевъ — внутренняя металлическая стѣнка оставлена была на мѣстѣ. Сломавъ верхнюю часть стѣнки, начали вынимать черпаками глину между стѣнками и въ заключеніе были выдернуты сван брусчатаго ряда.

4) *Опоры Троицкаго моста въ Петербургѣ.* Всѣ опоры, за исключеніемъ двухъ устоевъ и одного быка, ближайшаго къ Петербургской сторонѣ, основаны на кессонахъ, на глубинѣ около 23 м. ниже ординара. Остальныя опоры—на свайномъ основаніи. Около каждой опоры на кессономъ основаніи были устроены подмости, внутрь которыхъ вводился на плаву кессонъ, доставленный къ мѣсту работъ на буксирѣ. По введеніи кессона замыкалась четвертая сторона подмостей. Кессоны, за исключеніемъ круглаго кессона, собирались на неглубокомъ мѣстѣ рѣки (Кронверкскій проливъ) на помостѣ, будучи въ то же время подвѣшенными къ солиднымъ трубчатымъ металлическимъ балкамъ, опиравшимся на насадки высокихъ стоекъ подмостей. По изготовленіи кессона помостъ убирался, и кессонъ спускался медленно на винтовыхъ тяжахъ и становился на плаву. Тотъ же пріемъ сборки

и спуска кессона былъ примѣненъ и для круглаго быка поворотной части, съ тѣмъ отличіемъ, что подмости для сборки и спуска кессона устроены были на мѣстѣ опусканія.

Для сборки и опусканія кессона круглаго быка (фиг. *A* и *B*, таб. 24‴) и находящагося противъ него быка-ледорѣза, были устроены подмости, служившія одновременно для склада матеріала и для устройства путей, по которымъ подвозились матеріалы и отвозилась земля. Какъ показываетъ чертежъ, внутри круга діаметромъ 25 м., соотвѣтствующаго положенію кессона, были забиты два ряда свай, которыя находились на взаимномъ разстояніи 8 м. по одному направленію и 3,5 м.—по другому направленію; вершины свай были стянуты парными схватками, на которыя опирались прогоны—по три прогона по длинѣ; другой конецъ двухъ крайнихъ рядовъ прогоновъ опирался на схватки свай, забитыхъ по направленію сторонъ квадрата, объемлющаго круговое очертаніе кессона. На упомянутыхъ прогонахъ былъ устроенъ помостъ, на которомъ собирался кессонъ; передъ опусканіемъ кессона помостъ былъ разобранъ и сваи внутри круга выдернуты. По сторонамъ перваго объемлющаго квадрата было забито по шести свай въ сторонѣ; во второмъ объемлющемъ квадратѣ на разстояніи 4 м. было забито по восьми свай въ сторонѣ; затѣмъ по направленію двухъ сторонъ былъ забитъ еще третій рядъ свай, отстоящій отъ второго ряда на 4 и 5 м.; въ одномъ ряду (крайнемъ съ низовой стороны) было шесть свай, а въ другомъ—семь свай. Внутри угловъ перваго объемлющаго квадрата въ каждомъ изъ угловъ были забиты еще по двѣ парныя сваи, предназначенныя для поддержанія четырехъ трубчатыхъ металлическихъ балокъ, къ которымъ былъ подвѣшенъ кессонъ во время опусканія его на воду. Какъ эти парныя сваи, такъ и сваи сторонъ двухъ объемлющихъ квадратовъ были нарощены и вверху стянуты схватками. На восемь парныхъ свай опирались трубчатыя балки. На остальномъ протяженіи было забито нѣсколько рядовъ свай, по пяти въ ряду. Средняя группа этихъ свай служила для устройства помоста подъ складъ матеріаловъ и проч., а крайняя группа для устройства подмостей, для сборки и опусканія кессона быка-ледорѣза. Ниже горизонта ординара сваи были стянуты парными наклонными металлическими вантами толщиною каждый въ 25 мм. Послѣ того, какъ кессонъ круглаго быка былъ собранъ, его подвѣсили къ трубчатымъ металлическимъ балкамъ, разобрали помостъ, удалили сваи, забитыя внутри круга діаметромъ 25 м. и начали медленно опускать кессонъ на винтахъ. Когда онъ сталъ на плаву—верхняя надстройка была разобрана, металлическія трубчатыя балки опущены до уровня нижняго помоста и на нихъ вновь устроенъ помостъ для склада матеріала, укладки рельсовыхъ путей и проч. Подмости около опоръ служили также для склада каменнаго матеріала; на нихъ были уложены рельсовые продольные и поперечные пути съ поворотными кругами въ мѣстахъ пересѣченія; рельсовые пути служили, какъ для подвозки въ вагонеткахъ бетона, раствора, такъ и для отвозки въ шаланды грунта, подаваемаго изъ рабочей камеры.

Приготовленіе машиннымъ путемъ раствора и бетона для праваго устоя и четырехъ прилегающихъ быковъ производилось на правомъ берегу, а для остальныхъ опоръ — на лѣвомъ берегу. Для сего былъ установленъ (рис. 492) локомобиль (*a*) и подъ особымъ шатромъ съ высоко поднятымъ поломъ — барабанъ (*b*) для приготовленія раствора и другой барабанъ (бетоньерка) (*c*) для приготовленія бетона. Рабочіе подвозили въ тачкахъ по наклонному пути (*d*) внутрь шатра песокъ, который въ опредѣленной пропорціи перемѣшивался насухо съ цементомъ и затѣмъ сбрасывался внутрь барабана для приготовленія раствора. Барабанъ состоялъ изъ желѣзнаго вертикальнаго цилиндра высотою около 0,66 саж. и діаметромъ около 0,40 саж., открытаго только сверху и снабженнаго внизу, на цилиндрической поверхности—выдвигаемой вверхъ дверцей, щиткомъ (*e*), отверстіемъ 0,15 саж. × 0,15 саж. По направленію оси цилиндра была укрѣплена ось съ насаженными на ней лопатками, приводившаяся въ движеніе локомобилемъ. Необходимая для образованія раствора вода доставлялась изъ резервуара, куда она накачивалась насосомъ, приводимымъ въ движеніе тѣмъ же локомобилемъ. Вращая кранъ, можно было прекратить или регулировать притокъ воды. Послѣ того, какъ растворъ былъ достаточно перемѣшанъ, приподнимали дверцу (*e*) и растворъ, выдавливаемый лопатками вращающейся оси, вываливался. Если растворъ предназначался для кладки, то для сего отодвигали задвижку, прикрывавшую отверстіе (*g*) въ полу, находившееся непосредственно около дверецъ цилиндра,—и растворъ падалъ въ вагонетку (*h*), установленную на рельсовомъ пути (*m*) надъ поломъ, которая передвигалась далѣе къ мѣсту работъ. Если же растворъ надлежало употребить для приготовленія бетона, то, задвинувъ предварительно задвижку въ полу, растворъ перекидывали лопатами въ мѣрку, а затѣмъ въ находившуюся рядомъ

бетоньерку (*c*). Она состояла изъ желѣзной чашки съ круглымъ дномъ діаметромъ около 0,80 с., и съ бортами высотою около 0,30 с.; дно бетоньерки имѣло въ одномъ мѣстѣ горизонтальный выдвижной на винтахъ щитокъ (*i*), приходившійся надъ рельсовымъ путемъ. Къ оси бетоньерки было прикрѣплено по направленію радіусовъ шесть *) массивныхъ пальцевъ квадратнаго сѣченія, длиною около 0,35 с., съ насаженными на нихъ кулаками; на трехъ пальцахъ было по два кулака, а на остальныхъ трехъ по одному, приходившемуся въ промежуткѣ между двумя кулаками смежныхъ пальцевъ. Надъ бетоньеркой расположена была металлическая трубка (*k*) кольцевого очертанія съ мелкими отверстіями, имѣвшая сообщеніе съ резервуаромъ съ водой (*f*). Необходимый для приготовленія бетона щебень подвозился по рельсовому пути (*l*), въ вагонеткахъ съ отверстіями въ

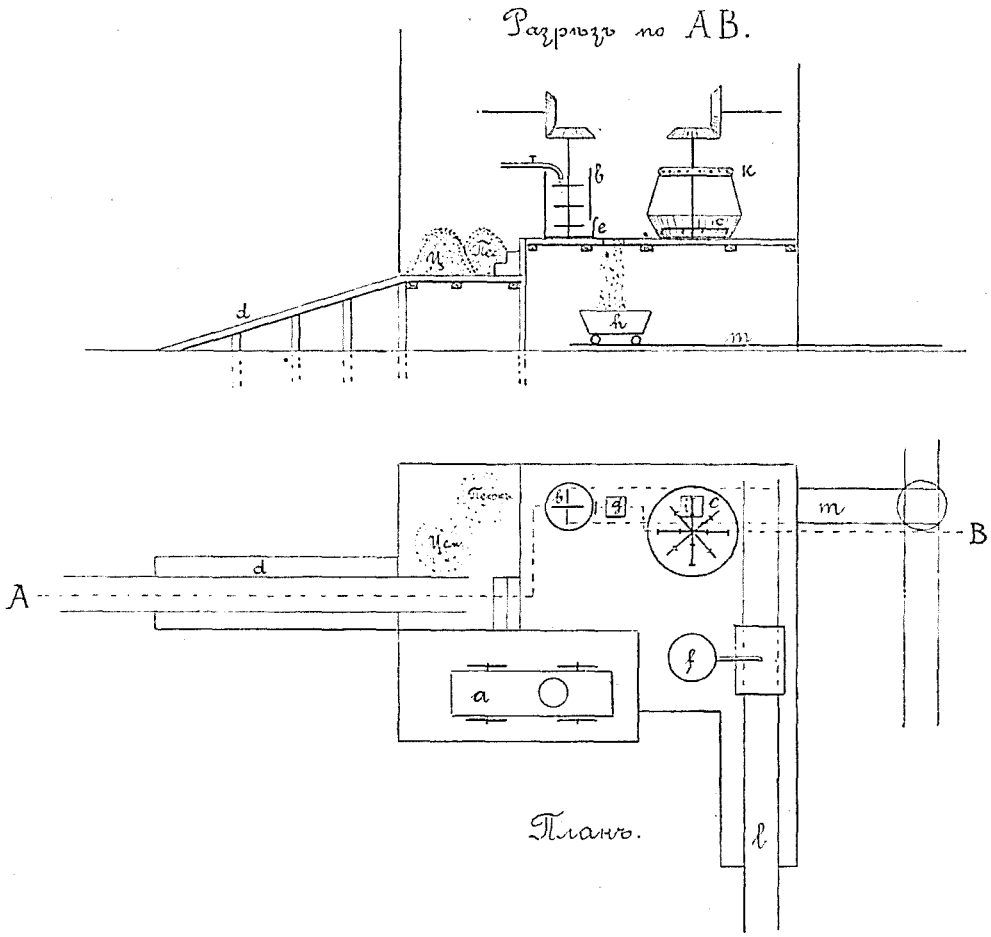


Рис. 492.

кузовѣ. Вкатанная на помостъ вагонетка со щебнемъ устанавливалась предварительно подъ кранъ (*f*) съ сильной струей воды и обливалась водой до тѣхъ поръ, пока стекавшая изъ вагонетки вода не становилась свѣтлой. Послѣ сего щебень изъ вагонетки сбрасывался въ бетоньерку одновременно съ растворомъ въ пропорціи: 55% щебня и 45% раствора; вертикальная ось бетоньерки приводилась во вращеніе, и смѣсь смачивалась слегка брызгами воды изъ кольцевой трубки (*k*). Когда бетонъ оказывался достаточно перемѣшаннымъ, рабочій выдвигалъ щитокъ (*i*) въ днѣ бетоньерки, и бетонъ падалъ въ вагонетку, поставленную подъ поломъ на рельсовомъ пути и немедленно отвозился къ мѣсту работы.

Какъ упомянуто выше,—часть опоръ была выведена на кессонномъ основаніи, а другая—на сваяхъ. Въ первомъ типѣ опоръ кладка на высоту 3 м. выше потолка кессона состояла изъ бетона, который сбрасывался сверху въ деревянныя трубы, установленныя въ нѣсколькихъ мѣ-

*) На рисункѣ ошибочно показано восемь.

стахъ, и затѣмъ рабочіе разравнивали бетонъ и тщательно трамбовали. Не смотря на значительную высоту паденія, около 6 саж., бетонъ оказался вполнѣ удовлетворительнымъ; такое заключеніе вытекало изъ разсмотрѣнія сѣченія распилennаго бетоннаго кубика около $1^1/_2$ ф. въ сторонѣ, который получился путемъ сбрасываній бетона съ высоты 6 саж. въ заранѣе приготовленную деревянную форму; кубикъ былъ распиленъ послѣ того, какъ онъ пролежалъ на открытомъ воздухѣ въ формѣ около года. Выше уровня 3 м. надъ потолкомъ, кладка велась подъ лопатку, при чемъ, начиная съ глубины 4,5 ниже ординара, кладка велась наклонными рядами, нормальными къ кривой давленія, сначала изъ плиты, а затѣмъ съ глубины 3 м. ниже ординара изъ гранитныхъ камней. Быкъ № 6 и оба устоя имѣютъ свайное основаніе. Быкъ № 6 окруженъ двойнымъ брусчатымъ шпунтовымъ рядомъ, внутри котораго вычерпанъ былъ предварительно грунтъ, затѣмъ забиты грунтовыя сваи, перекрытыя бетонной шапкой, при чемъ бетонъ погружался въ воду помощью металлическихъ ящиковъ, снимавшихся съ вагонетокъ и опускавшихся въ воду помощью двухъ постоянныхъ вращающихся кранovъ. Толщина бетоннаго покрытія около 3 м., и верхняя поверхность его на 2 метр. ниже ординара. Бетонированіе было произведено поздней осенью; затѣмъ, спустя два мѣсяца послѣ устройства барака вода была откачена, и начата бутовая кладка. Въ правомъ устоѣ, на неглубокомъ мѣстѣ, забитъ былъ только одинъ рядъ брусчатыхъ шпунтовыхъ свай, не оправдавшій однако возлагавшихся на него надеждъ. Когда, послѣ окончанія бетонированія подъ водой, приступлено было къ откачиванію воды, послѣднее не удалось, благодаря щелямъ между шпунтами. Чтобы прекратить доступъ воды, установлена была на бетонномъ массивѣ внутри огражденнаго промежутка вторая внутренняя стѣнка изъ щитовъ, на разстояніи около 0,5 м. и промежутокъ заполненъ бетономъ; но мѣра эта оказалась недѣйствительной; затѣмъ все пространство между шпунтами, поверхъ бетоннаго массива, было раздѣлено подобными же бетонными перегородками между щитами на нѣсколько отдѣленій, что также не принесло пользы; оказалось необходимымъ забить второй наружный брусчатый рядъ и заполнить промежутокъ глиной, послѣ чего хотя и удалось откачать воду, но не надолго, такъ какъ вода пробивалась довольно сильно чрезъ щели шпунтовъ. Объясняется это тѣмъ, что когда забитъ былъ только одиночный рядъ и обнаружились значительные подмывы съ верховой стороны, то сдѣлано было впереди шпунтовъ отсыпь изъ крупныхъ камней, которые затрудняли бойку второго шпунтового ряда; сдѣланное во время откачки изслѣдованія бетона показало, что съ верховой стороны онъ не непредставлялъ плотной однородной массы, благодаря одиночному ряду шпунтовъ проточная вода проходила вѣроятно сквозь щели и происходило вымываніе раствора во время погружанія бетона. Въ виду чего предположено забить съ верховой стороны два продольныхъ ряда, промежутокъ между ними заполнить глиной и попытаться снова откачать воду, а если это не удастся, то помощью съемныхъ кессоновъ разобрать неудовлетворительную кладку бетона и вывести затѣмъ дальнѣйшую кладку. (Въ приведенномъ выше описаніи работъ по сооруженію опоръ моста черезъ р. Рейнъ въ Боннѣ указано, что внутренніе щиты, вставленные въ свѣжій, неокрѣпшій еще бетонъ съ примѣненіемъ просмоленной парусины, позволили однако ограничиться однимъ рядомъ металлическихъ шпунтовыхъ брусьевъ). Облицовочные, ледорѣзные и подферменные штучные камни, для наклонныхъ рядовъ, подвозились на баркахъ, поднимались вращающимся краномъ и передвигались вдоль опоры помощью мостового крана. Объемъ отдѣльныхъ ледорѣзныхъ камней доходилъ до $\frac{1}{10}$ куб. саж.

5) *Опоры Николаевскаго моста чрезъ р. Неву въ Петербургѣ.* Мостъ (рис. 52 и 445) состоитъ изъ восьми пролетовъ, изъ которыхъ семь перекрываются арочными чугунными фермами, при величинѣ пролетовъ въ свѣту въ 101 ф., 125 ф., 143 ф. и 156 ф., а восьмой—поворотнымъ мостомъ при величинѣ чистаго отверстія въ 70 ф. Общая длина моста по верху 165 с., ширина—9,4 с. (65,75 ф.). Крайне неблагопріятныя условія грунта р. Невы, состоявшаго изъ слоя наноснаго ила толщиною 7,5 с., значительная глубина рѣки, доходившая до 5 саж., неизвѣстность въ то время (1842—1850) примѣненія сжатаго воздуха для устройства основаній — все это заставило изобрѣтать при производствѣ работъ разные пріемы, которые обезпечивали бы успѣхъ и качество работы. Добытый съ различной глубины грунтъ показалъ, что онъ сжимается не иначе, какъ раздаваясь въ стороны, но заключенный въ огражденное пространство—онъ вовсе не сжимается. Это дало основаніе предположить, что если достаточно глубоко забитымъ шпунтовымъ огражденіемъ

уединить часть грунта отъ остальной части, то при забивкѣ грунтовыхъ свай на глубину меньшую, чѣмъ шпунтовое огражденіе, грунтъ долженъ уплотняться, не раздаваясь въ стороны. Въ виду сего около каждой изъ опоръ рѣшено было забить два шпунтовыхъ ряда (рис. 493) (около толстаго быка забито три шпунтовыхъ ряда (рис. 445′)) на глубину 4,5 с. ниже дна, промежутокъ между ними заполнить бетономъ, сдѣлать снаружи отсыпь и забить затѣмъ грунтовыя сваи, срѣзать ихъ на одномъ уровнѣ и на нихъ начать кладку, помощью понтонныхъ ящиковъ. Не расчитывая на успѣшность работы съ понтоннымъ ящикомъ, опущеннымъ на глубину большую, чѣмъ 2 саж. отъ уровня воды, между тѣмъ какъ глубина рѣки доходила мѣстами до 5 с., необходимо было верхъ свайнаго основанія поднять на 3 саж. выше дна. Для уничтоженія же бокового выпучиванія длинныхъ выступающихъ частей свай, промежутки между сваями были залиты бетономъ. Такъ какъ въ данномъ случаѣ удовлетворительная забивка шпунтовыхъ свай имѣла существенное значеніе, то для достиженія сего необходимо было расположить направляющія схватки не только выше уровня, но и на различныхъ глубинахъ, что потребовало въ свою очередь опусканія на дно рѣки остова бездоннаго ящика, высота коего измѣнялась сообразно заранѣе измѣренной въ соотвѣтствующихъ мѣстахъ глубинѣ рѣки.

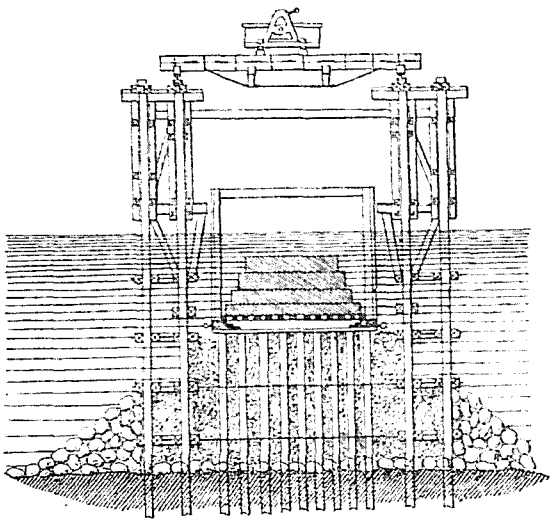


Рис. 493.

Во всю ширину рѣки въ предѣлахъ моста сдѣлана отсыпь изъ булыжнаго камня слоемъ въ 0,50 с., съ огражденіемъ шпунтовыми стѣнками. Между правымъ устоемъ и первымъ (толстымъ) быкомъ, на который опираются фермы поворотнаго моста, на глубинѣ 3 саж. ниже уровня низкихъ водъ устроенъ обратный сводъ (рис. 445′) на уплотненномъ сваями грунтѣ.

Въ виду наименьшаго стѣсненія живого сѣченія промежуточнымъ опорамъ приданы минимальные размѣры (2,20 с. въ основаніи, 1-й рядъ (фиг. 186, табл. 23) и въ 1,10 с. въ уровнѣ пять арокъ, 9-й рядъ). Вслѣдствіе сего опоры выведены почти во всю высоту изъ штучныхъ камней, съ приданіемъ имъ въ планѣ такой формы (фиг. 186, табл. 23), чтобы они взаимно удерживались; въ нѣкоторыхъ рядахъ тычки проходятъ во всю толщину быка; для лучшей связи между послѣдовательными рядами поставлены гранитные вертикальные тычки (параллелопипеды), скобы, пироны и проч.

6) *Изготовленіе фашинныхъ тюфяковъ, погружаемыхъ для защиты основаній мостовыхъ опоръ.* Фашинные тюфяки употребляются какъ для укрѣпленія части ложа рѣки около мостовыхъ опоръ, такъ и для укрѣпленія русла между опорами моста и на 20 с. — 50 с. вверхъ и внизъ по теченію, во всю ширину отверстія моста или въ предѣлахъ одного или нѣсколькихъ пролетовъ.

Приведемъ описаніе устройства и погруженія фашинныхъ тюфяковъ для укрѣпленія русла р. Клязьмы у Галицкаго моста Московско-Нижегородской ж. д. и для укрѣпленія русла р. Днѣпра подъ цѣпнымъ мостомъ въ Кіевѣ. (Извлечено изъ пояснительныхъ записокъ инженеровъ Рерберга и Костепецкаго).

Въ 1866 г. ложе одного изъ пролетовъ моста черезъ р. Клязьму было укрѣплено фашинными тюфяками. Размѣры каждаго тюфяка, состоявшаго изъ нижней сѣтки, двухъ рядовъ фашинъ и изъ верхней сѣтки были: 10 с. $\times$ 10 с. Нижняя сѣтка вязалась изъ прутяныхъ канатовъ діаметромъ: $4^1/_2$ д. (0,054 с.), образовавшихъ клѣтки по 0,40 с. въ сторонѣ, которыя перевязывались вицами (связками) черезъ каждыя 0,13 с. Поверхъ нижней сѣтки былъ расположенъ плотный рядъ фашинъ длиною 1,30 с., діаметромъ 0,14 с. и при томъ такъ, чтобы одинъ рядъ заходилъ за другой на половину длины фашины; фашинная кладка выступала изъ-за очертанія сѣтки на 0,14 с.; по укладкѣ фашины, она развязывалась. Уложивши нижній рядъ фа-

шпиъ, перевязали нижнюю сѣтку смолеными веревками, во всѣхъ наружныхъ перекрестахъ и черезъ одинъ—во внутреннихъ перекрестахъ; длина веревокъ, діаметромъ въ $^1/_2$ д., была около 1 саж.; свободный конецъ ихъ оставлялся для связки съ верхнею сѣткою и закрѣплялся на верхнемъ концѣ временно забитыхъ кольевъ. Послѣ сего приступлено было къ укладкѣ второго ряда фашинъ, расположенныхъ по направленію, перпендикулярному къ предыдущему. Поверхъ второго ряда уложена вторая сѣтка, такого же устройства, какъ и нижняя; оставленными концами веревокъ она была крѣпко притянута къ нижней сѣткѣ, при чемъ тюфякъ получался толщиною около 0,28 с. Для удержанія камня устроенъ былъ на верхней поверхности тюфяка плетень высотою 0,17 с., клѣтками въ сторонѣ по 1,60 с.—1,20 с.; длина кольевъ плетня составляла около 0,43 с. Для возможности прикрѣпленія къ тюфяку канатовъ, во время его опусканія, заблаговременно прикрѣплены были къ нему такъ называемыя уши, составленныя изъ прутянаго каната длиною 10 с., сложеннаго дважды кольцеобразно и обмотаннаго смоленою веревкою. Эти кольца діаметромъ около 1,50 с. кладутся при вязкѣ тюфяка, между первымъ и вторымъ рядомъ хвороста, прибиваются къ тюфяку кольями или связываются съ сѣтками веревками. Взаимное разстояніе между ушами около 3 саж. Тюфякъ былъ собранъ на берегу на покатомъ мѣстѣ, на каткахъ, для удобства спусканія его въ воду. Для опусканія тюфяка на мѣсто были забиты свай сообразно контуру тюфяка на взаимномъ разстояніи около 10 с., и впереди ихъ установлены причаленные къ нимъ четыре плота длиною и шириной 6 саж., на которыхъ былъ сложенъ камень и установлены воротки съ канатами, одинъ конецъ которыхъ былъ привязанъ къ ушамъ тюфяка. Камня было заготовлено около 0,12 куб. саж. на каждую квадр. саж. тюфяка, при чемъ собственно для погруженія расходовалось отъ 30% до 50% этого количества, а остальная часть разсыпалась равномѣрно по тюфяку послѣ его погруженія. Размѣры камня были не менѣе $^1/_2$ куб. ф. Тюфякъ былъ такъ расположенъ, чтобы канаты нижней сѣтки приходились поперекъ теченія, во избѣжаніе того, чтобы струя, направляясь вдоль канатовъ, не могла бы размывать дно. Установивъ положеніе тюфяка притягиваніемъ его канатомъ въ ту или другую сторону, а также измѣривъ глубину шестами, приступили къ загрузкѣ тюфяка камнемъ по всей площади, загружая нѣсколько болѣе по четыремъ угламъ и верховую часть, чтобы предупредить перевертываніе тюфяка дѣйствіемъ теченія. Послѣ нагрузки около 0,03 куб. саж. камня на кв. саж., тюфякъ началъ погружаться; продолжая бросать камень, по командѣ сразу отпустили боковые канаты, а канаты съ верхнихъ плотовъ были отпущены лишь на столько, чтобы тюфякъ погрузился на дно; тюфякъ оставался привязаннымъ къ верхнимъ плотамъ около сутокъ, пока не была закончена грузка камнемъ, такъ какъ иначе онъ могъ быть снесенъ теченіемъ. По опусканіи на дно, плоты съ камнемъ были надвинуты надъ тюфякомъ, и продолжалась отсыпка остального количества камня. Окончательная же отсыпка камня была сдѣлана послѣ того, какъ всѣ фашины были погружены. При опусканіи тюфяка по угламъ его были прикрѣплены вѣхи, которыя указывали положеніе, принятое тюфякомъ на днѣ, что необходимо было знать для правильнаго опусканія слѣдующаго тюфяка, который накладывался на предыдущій рядъ такъ, чтобы не оставалось промежутковъ между тюфяками.

При опусканіи тюфяковъ въ пролетахъ Кіевскаго цѣпного моста, порядокъ работъ былъ въ сущности тотъ же самый. Въ виду сильнаго теченія, плоты были замѣнены барками, причаленными къ кустамъ свай. Опусканіе тюфяка производилось лѣтомъ и зимою. При зимней работѣ—болѣе дешевой — вязка тюфяка производилась на льду на мѣстѣ опусканія, ворота съ канатами укрѣплялись также на льду, на которомъ располагался и камень; для опусканія тюфяка кругомъ его и по направленію канатовъ, идущихъ отъ воротовъ, были прорублены во льду канавы. Инженеръ Костенецкій наблюдалъ, что зимнее опусканіе тюфяка помимо дешевизны имѣетъ еще то преимущество, что ледъ, опустившійся вмѣстѣ съ тюфякомъ, замѣняется во время таянія пескомъ. т. е. подъ тюфякомъ происходитъ какъ бы паростаніе дна; онъ объясняетъ это тѣмъ, что при таяніи льда въ немъ образуются поздреватыя ячейки, которыя постепенно заносятся пескомъ. Размѣры тюфяковъ измѣнялись въ зависимости отъ скорости теченія; при постоянной длинѣ въ 10 с., ширина измѣнялась отъ 5 с. до 10 с. при скоростяхъ отъ 8 ф. до 3 ф. въ 1 сек. Квадр. саж. тюфяка съ погрузкою, со всѣми приспособленіями обходилась около 5,75 руб., не считая камня стоимостью около 40 руб. за куб. саж. Цѣна хвороста составляла около 4,50 р. за куб. саж.; веревокъ около 4 руб. за пудъ, а цѣна рабочаго около 33 коп. въ сутки.

Среднія единичныя цѣны по устройству каменныхъ опоръ. Среднія цѣны работъ на Самаро-Уфимской желѣзной дорогѣ.

Стоимость матеріала:

Куб. саж. бутоваго камня	30 руб.
» » колотаго булыжнаго камня	40 »
» » штучнаго гранитнаго камня грубой тески	300 »
» » » » » средней »	800 »
» » » » » чистой »	1.000 »
» » тверд. известк. породы грубой тески	200 »
» » » » » средней »	400 »
» » » » » чистой »	600 »
Кирпича 1.000 шт.	18 »
Известь негашеная за 1 пудъ	20 коп.
» » за куб. саж. (500 пудъ)	100 руб.
Портландскій цементъ, за бочку (вѣсъ 10 пуд.)	5—6 »
Известковый растворъ, за куб. саж.	40 »
Цементный растворъ (1 ц. : 4 п.), за куб. саж.	125 »
» » (1 ц. : 3 п.), » » »	160 »
» » (1 ц. : 2 п.), » » »	225 »

Стоимость работъ, включая и матеріалъ:

Шпунтовые ряды, толщ. 2 верш., глубина забивки 1,5 с., за пог. саж.	50 руб.
» » » 2 » » » 2 саж., » » »	60 »
» » » 2 » » » 3 » » » »	75 »
» » » 2 » » » 4 » » » »	85 »
» » » 3 » » » 1,5 с., » » »	80 »
» » » 3 » » » 2,5 » » » »	95 »
» » » 4 » » » 3,0 » » » »	110 »
» » » 5 » » » 3 саж., » » »	115 »
» » » 5 » » » 4 » » » »	125 »
Круглыя сваи, толщиною 6 верш., при глубинѣ забивки въ 3 с.—4 с.	16—20 »
Вырытіе котлована, безъ водоотлива, за куб. саж.	3 »
» » съ водоотливомъ, » » »	15 »

Каменная кладка:

Кирпичная на известковомъ растворѣ, за 1 куб. саж.	85 »
» » цементномъ » 1 ц. : 3 п., за 1 куб. саж.	160 »
Бетонная, за 1 куб. саж.	225 »
Бутовая кладка на растворѣ 1 ц. : 1 п., за 1 куб. саж.	260 »
» » » » 1 ц. : 3 п., » 1 » »	165 »
» » » сложномъ растворѣ, » 1 » »	140 »
» » » известк. растворѣ, » 1 » »	100 »
Кладка угловъ, карнизовъ и сводовъ, за 1 куб. саж.	450—650 »
Подферменные камни, за 1 куб. футъ	3,5 »
Облицовка тесовымъ камнемъ, чистая, за 1 куб. саж.	1.200 »
» » » получистая за 1 куб. саж.	650 »
» » » чистая, за 1 кв. саж.	60 »
Средняя полная стоимость куб. саж. опоры при естественномъ основаніи	220 »
» » » » » » на свайномъ основаніи	320 »
» » » » » » на кессонномъ основаніи	500—550 »
Средняя стоимость куб. саж. части опоры ниже межени на кессонномъ основаніи	1.000—1.200 »

Укрѣпленіе конусовъ и лотковъ:

Булыжная мостовая, одиночная, за кв. саж.	4 руб.
» » двойная, » » »	7 »
» » въ плетневыхъ ящикахъ, за кв. саж.	8 »
Ряжи, за кв. саж. стѣнъ	9 »
Дерновка	0,40 »

Среднія цѣны работъ на Самаро-Уфимской желѣзной дорогѣ (въ рубляхъ).

Названіе работъ.	Въ трубахъ.	Въ опорахъ мостовъ. Отверст. до 1 с.	Отверст. до 10 с.	Отверст. до 30 с.	Въ опорахъ мостовъ чрезъ рѣку Бѣлую.
Бутовая кладка на цем. растворѣ . . за кб. с.	165	164	166	170	235
Бутовая кладка на сложн. растворѣ . „ „ „	142	147	143	149	195
Кладка сводовъ и обратныхъ сводовъ (изъ отборнаго бута) . . . . . за кб. с.	240	225	230	—	478 (Тесовая).
Бетонъ . . . . . „ „ „	225	201	215	238	—
Облицовка въ ленту угловъ, карнизовъ и подфермен. кампей . . . . . за кб. с.	455	450	455	450	—
Облицовка въ приколку . . . . . за кв. с.	21	21,5	21,6	—	—
Чистая облицовка устоевъ и быковъ, карнизовъ и подфермен. кампей . . за куб. с.	—	—	—	—	580
Чистая облицовка ледорѣзовъ . . . „ „ „	—	—	—	—	1400
Общая стоимость кладки безъ основанія и укрѣпленія . . . . . за кб. с.	190	190	185	213	321
Стоимость основанія (земл. раб., и въ нѣкоторыхъ случаяхъ шпунт. ряды и сваи). за кб. с.	17	14,8	55,4	63,2	—
Укрѣпленіе . . . . . за кв. с.	11	8	9	22,2	—
Поставка желѣза и изготовленіе кессоновъ за пудъ	—	—	—	—	3,20
Сборка, склепка и опусканіе кессона на глубину до 8 саж ниже межени, по объему кладки ниже межени	—	—	—	—	287
Полная стоимость . . . . . за кб. с.	203	210	236	316	505

VIII.

Опредѣленіе поперечныхъ размѣровъ каменныхъ опоръ.

Общія соображенія.—Выводъ формулъ, выражающихъ давленіе земли на подпорную стѣнку, поддерживающую насыпь. — Стѣнка поддерживаетъ насыпь, ограниченную отъ кордона горизонтальною плоскостью.—Стѣнка поддерживаетъ насыпь, имѣющую кавальеръ съ горизонтальною кроною.—Стѣнка поддерживаетъ насыпь, ограниченную отъ кордона неограниченною наклонною плоскостью. — Стѣнка поддерживаетъ насыпь, понижающуюся отъ кордона.—Давленіе земли на стѣнку съ внутреннимъ откосомъ.—Давленіе на парныя подпорныя стѣнки.

Общія соображенія. Для опредѣленія поперечныхъ размѣровъ устоевъ можно употребить два пріема:

1) Задаться поперечными размѣрами устоя по эмпирическимъ правиламъ, опредѣлить наибольшій распоръ со стороны земли или со стороны фермы и затѣмъ провѣрить достаточность размѣровъ, вычисливъ напряженіе грунта подъ подошвой основанія, устойчивость опоры относительно вращенія около нижняго

ребра и относительно скольженія въ плоскости основанія съ коэффиціентомъ тренія въ предѣлахъ: $f = 0{,}3$ и $f = 0{,}65$, а также вычислить напряженіе матеріала и устойчивость въ промежуточныхъ сѣченіяхъ относительно соотвѣтственнаго распора; при провѣркѣ въ промежуточныхъ сѣченіяхъ на вращеніе можно взять въ расчетъ кромѣ момента сопротивленія вѣса еще моментъ сопротивленія сцѣпленія кладки; при провѣркѣ же въ тѣхъ же сѣченіяхъ на скольженіе слѣдуетъ взять въ расчетъ треніе, а въ подлежащихъ случаяхъ—сцѣпленіе, сопротивленіе срѣзыванію камня или раствора.

2) По второму пріему надлежитъ опредѣлить по данному распору необходимую толщину прямоугольнаго, трапецоидальнаго или иного очертанія сплошного устоя и этотъ послѣдній, сообразно мѣстнымъ требованіямъ, преобразовать въ другой типъ устоя, равнозначащій прежнему по сопротивленію.

Нѣкоторыми инженерами, какъ, напримѣръ, Résal'емъ *), оспаривается, и не безъ основанія, положеніе, что опора удовлетворяетъ требованіямъ безопасности, если она удовлетворяетъ только извѣстному коэффиціенту устойчивости.

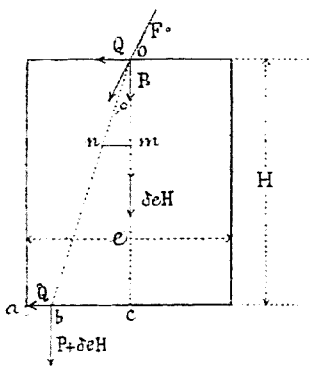


Рис. 494.

Слѣдующія соображенія и примѣры подтверждаютъ, что одному и тому же коэффиціенту устойчивости могутъ удовлетворять неодинаковыя по прочности опоры, и обратно. Пусть, напримѣръ, (рис. 494) на опору высотою H, однообразной толщины e и шириною 1 дѣйствуетъ наклонная сила F, приложенная къ серединѣ верхней площадки. Если P и Q—вертикальная и горизонтальная составляющія силы F, δ—вѣсъ кубической единицы кладки, то опрокидывающій моментъ относительно наружнаго ребра a есть $Q \cdot H$, а сопротивляющійся моментъ: $\frac{P \cdot e}{2} + \frac{\delta H e^2}{2}$. Слѣдовательно, при коэффиціентѣ устойчивости k, имѣемъ:

$$k = \frac{(P + \delta H e)\, e}{2QH}, \text{ откуда: } e = -\frac{P}{2\delta H} + \sqrt{\frac{P^2}{4\delta^2 H^2} + \frac{2kQ}{\delta}}.$$

Равнодѣйствующая силъ F и вѣса опоры δeH встрѣтитъ нижнее основаніе въ точкѣ b, разстояніе которой отъ середины опоры найдется изъ подобія треугольниковъ Onm и Obc:

$$\frac{nm}{Om} = \frac{Q}{P + \delta eH} = \frac{bc}{H}.$$

Слѣдовательно:

$$bc = \frac{Q \cdot H}{P + \delta eH}; \quad ab = \frac{e}{2} - \frac{Q \cdot H}{P + \delta eH} = \frac{e}{2} - bc.$$

Напряженіе въ ребрѣ a, если $bc < \frac{e}{6}$:

$$R = \frac{P + \delta eH}{\omega} + \frac{(P + \delta eH) \cdot bc \cdot 6}{e^2} = \frac{P + \delta eH}{e} + \frac{6 \cdot Q \cdot H}{e^2} \text{ **)}.$$

*) Resal. Emplacements, débouchés, . . . 1896 г.

**) Тамъ же, на стр. 278, взята формула: $R = 2\frac{(P + \delta He)}{e}$, отвѣчающая тому случаю, когда $bc = \frac{e}{6}$, что не всегда можетъ имѣть мѣсто.

Если $bc > \frac{e}{6}$: $R = 2\frac{(P + \delta eH)}{3ab}$.

Если $\delta = 4$, $P = 10.000$ пуд.; $Q = 5.000$ пуд.; а въ другомъ случаѣ: $P = 5.000$ пуд., $Q = 10.000$ пуд., $k = 1{,}5$, то для различныхъ H имѣемъ:

H въ футахъ.	$P = 10.000$ пуд.; $Q = 5.000$ пуд.			$P = 5.000$ пуд.; $Q = 10.000$ пуд.		
	e въ фут.	bc въ фут.	R въ пуд. на кв. футъ.	e въ фут.	bc въ фут.	R въ пуд. на кв. футъ.
$H = 10'$	14,2	$4{,}7 > \frac{e}{6}$	3063	44,3	$14{,}8 > \frac{e}{6}$	614
$H = 30'$	32,4	$10{,}8 > \frac{e}{6}$	1715	68,2	$22{,}7 > \frac{e}{6}$	771
$H = 60'$	43,9	$14{,}6 > \frac{e}{6}$	1867	76,8	$25{,}6 > \frac{e}{6}$	1220

Такимъ образомъ, при одномъ и томъ же коэффиціентѣ устойчивости $k = 1{,}5$ получились весьма разнообразныя напряженія; слѣд. недостаточно еще одного указанія относительно устойчивости для яснаго представленія о напряженіи матеріала и грунта подъ основаніемъ.

Résal полагаетъ, что провѣрка размѣровъ устоевъ относительно работы матеріала есть единственная, правильная и достаточная оцѣнка размѣровъ. Leygue *), признавая большое значеніе за провѣркой на прочность, не считаетъ однако достаточнымъ ею ограничиться и требуетъ одновременной провѣрки па устойчивость. Къ такому выводу приводитъ его соображеніе, что при измѣненіи коэффиціента устойчивости отъ $\mu = 1$ до $\mu > 1$, напряженіе въ наиболѣе сжатомъ ребрѣ быстро падаетъ съ $R = \infty$ до R—допускаемаго, при чемъ для сего не всегда необходимо, чтобы толщина опоры значительно увеличивалась. Такъ, напримѣръ, для двухъ слѣдующихъ примѣровъ (рис. 495) при увеличеніи толщины опоры съ $1^1/_3$ ф. до 2 фут. — коэффиціентъ устойчивости увеличивается съ $\frac{300 \times \frac{2}{3}}{66{,}7 \times 3} = 1$ до $\frac{300 \times 1}{66{,}7 \times 3} = 1{,}5$, между тѣмъ, какъ напряженіе падаетъ съ $R = \infty$ до

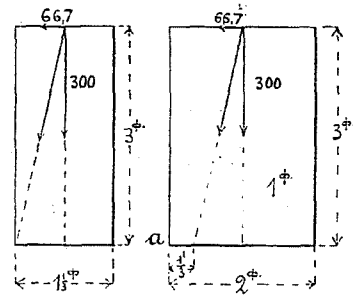


Рис. 495.

$$R = \frac{2 \times 300}{3 \times \frac{1}{3} \times 1} = 600 \frac{\text{пуд.}}{\text{фут.}^2},$$

или $4{,}16 \frac{\text{пуд.}}{\text{дм.}^2}$.

Если далѣе въ примѣрѣ, гдѣ опора имѣетъ толщину 2 ф., горизонтальная сила увеличится отъ случайныхъ причинъ только на 25 %, т. е. будетъ 83 пуд., то разстояніе точки встрѣчи равнодѣйствующей и основанія отъ наружнаго ребра $a = 1$ ф. $- \frac{83 \times 3}{300} = 0{,}17$ ф. и напряженіе: $R = \frac{2 \times 300}{3 \times 0{,}17} = 1176 \frac{\text{пуд.}}{\text{фут.}^2}$ или: $R = 8{,}2 \frac{\text{пуд.}}{\text{дм.}^2}$ т. е. напряженіе увеличится почти на 100 %.

Поэтому слѣдуетъ согласиться съ Leygue, что размѣры опоръ должно повѣрять на *устойчивость* и *прочность*, какъ это всегда и дѣлается.

*) Leygue. Poussée des terres. Annales des ponts et chansseés Стран. 920 и 927. 1885 г.

Такъ какъ при дальнѣйшихъ выкладкахъ понадобятся аналитическія выраженія распора земли и разстоянія точки приложенія этого распора отъ верхней или нижней грани стѣнки, то приведемъ выраженія этихъ величинъ при разныхъ условіяхъ.

Выводъ формулъ для опредѣленія давленія земли на подпорную стѣнку, поддерживающую насыпь *). При выводѣ формулъ давленія земли на подпорныя стѣнки, поддерживающія насыпи, принимаемъ, что:

1) поверхность обрушенія земли есть плоскость;

2) не существуетъ сцѣпленія между частицами земли;

3) Q—давленіе земли на внутреннюю *вертикальную* грань подпорной стѣнки имѣетъ горизонтальное направленіе;

4) треніе между насыпью и внутренней гранью подпорной стѣнки равно нулю.

Параллельно приведемъ (по Ott'y) формулы, выражающія нормальныя давленія на *наклонную* внутреннюю грань стѣнки, въ предположеніи, что полное давленіе составляетъ съ нормалью къ стѣнкѣ уголъ, равный углу естественнаго откоса.

Пусть (рис. 496) ABD—подпорная стѣнка съ внутренней вертикальной гранью, поддерживающая насыпь, ограниченную любою кривою AFK; BF—плоскость обрушенія; ABF—призма обрушенія; φ—уголъ естественнаго откоса, или уголъ трепія; f—коэффиціентъ трепія, равный $tang\,\varphi$; α—перемѣнный уголъ обрушенія ABF.

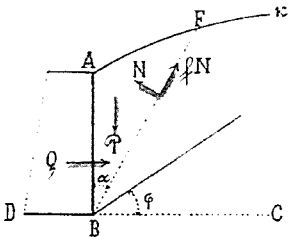


Рис. 496.

На призму обрушенія ABF дѣйствуютъ слѣдующія силы:

1) P—вѣсъ призмы;

2) Q—противодѣйствіе подпорной стѣнки AB, равное и противоположное давленію земли;

3) N—нормальное къ плоскости BF противодѣйствіе массы земли, расположенной справа отъ этой плоскости;

4) fN—треніе по плоскости BF.

Уравненія равновѣсія силъ: P, Q, N и fN относительно двухъ взаимноперпендикулярныхъ осей—AB и BC—будутъ:

$$P = N\sin\alpha + fN\cos\alpha = N\,(\sin\alpha + f\cos\alpha); \quad \ldots\ldots (125)$$

$$Q = N\cos\alpha - fN\sin\alpha = N\,(\cos\alpha - f\sin\alpha) \quad \ldots\ldots (126)$$

Изъ уравненія (125) $N = \dfrac{P}{\sin\alpha + f\cos\alpha}$; подставляя это значеніе N въ уравненіе (126), получимъ:

$$Q = P\,\frac{\cos\alpha - f\sin\alpha}{\sin\alpha + f\cos\alpha},$$ по такъ какъ:

$$f = \frac{\sin\varphi}{\cos\varphi},$$ то:

$$Q = P\,\frac{\cos\alpha\,.\,\cos\varphi - \sin\alpha\,.\,\sin\varphi}{\sin\alpha\,.\,\cos\varphi + \sin\varphi\,.\,\cos\alpha} = P\,\frac{\cos\,(\alpha+\varphi)}{\sin\,(\alpha+\varphi)},$$

*) Извлечено частью изъ пояснительной записки, составленной въ Управленіи Самаро-Уфимской жел. дороги, и частью изъ Baumechanik Ott'a.

то есть:
$$Q = \frac{P}{tang\ (\alpha + \varphi)} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (127)$$

Въ уравненіи (127) вѣсъ призмы P есть функція угла α; для полученія maximum Q нужно опредѣлить α изъ условія $\frac{dQ}{d\alpha} = 0$ и подставить полученное для α значеніе въ уравненіе (127).

Для полученія разстоянія точки приложенія силы Q—давленія земли отъ верхняго, а затѣмъ и отъ нижняго ребра стѣнки, можно примѣнить общепринятый пріемъ:
$$\xi = \frac{\int_0^H dQ.x}{Q}, \quad q = H - \xi$$

или же можно спроектировать на AB центръ тяжести призмы наибольшаго обрушенія ABF по направленію параллельному плоскости BF.

Разберемъ нѣсколько частныхъ случаевъ.

А. *Стѣнка съ вертикальной внутренней гранью поддерживаетъ насыпь, ограниченную отъ кордона горизонтальною плоскостью*, (рис. 497).

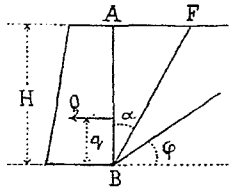


Рис. 497.

1) Въ этомъ случаѣ:
$$P = \frac{dH^2}{2} tang\, \alpha,$$

гдѣ d—вѣсъ кубической единицы земли; H—высота стѣнки.

Подставляя въ уравненіе (127) вмѣсто P его значеніе, получимъ:
$$Q = \frac{dH^2}{2} \cdot \frac{tan\, \alpha}{tang\ (\alpha + \varphi)};$$

$$\frac{dQ}{d\alpha} = \frac{tang\ (\alpha + \varphi) \frac{1}{cos^2 \alpha} - tang\, \alpha \frac{1}{cos^2\ (\alpha + \varphi)}}{tang^2\ (\alpha + \varphi)} = 0;$$

такъ какъ $\alpha + \varphi$ всегда > 0 и, кромѣ того, α. всегда меньше $90° - \varphi$, то $\frac{dQ}{d\alpha} = 0$, когда числитель
$$tang\, (\alpha + \varphi) \cdot \frac{1}{cos^2\, \alpha} - tang\, \alpha \cdot \frac{1}{cos^2\ (\alpha + \varphi)} = 0,$$

откуда: $$sin\ (\alpha + \varphi) \cdot cos\ (\alpha + \varphi) = sin\, \alpha \cdot cos\, \alpha,$$

или: $$sin\ (2\alpha + 2\varphi) = sin\, 2\alpha;$$

слѣдовательно: $$2\alpha + 2\varphi = 180° - 2\alpha,$$

или:
$$\alpha = \frac{90° - \varphi}{2} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (128).$$

Слѣдовательно, Q будетъ maximum,—когда BF дѣлитъ пополамъ уголъ между внутренней гранью стѣнки и естественнымъ откосомъ насыпи:
$$Q_{max.} = \frac{P}{tang\ (\alpha + \varphi)} = \frac{dH^2}{2} \cdot \frac{tang\ (\alpha)}{tang\ (\alpha + \varphi)} = \frac{dH^2}{2} \cdot \frac{tang\left(\frac{90° - \varphi}{2}\right)}{tang\left(\frac{90° + \varphi}{2}\right)},$$

но $$tang\left(\frac{90^\circ + \varphi}{2}\right) = cotang\left(\frac{90^\circ - \varphi}{2}\right),$$

поэтому давленіе: $$Q_{max.} = \frac{dH^2}{2} \times tang^2\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (129).$$

Плечо q напора будетъ, очевидно, равно $\frac{1}{3} H$, такъ какъ:

$$\xi = \frac{\int_0^H dQ . x}{Q} = \frac{d}{2} \frac{tg^2\left(45 - \frac{\varphi}{2}\right) \int_0^H 2x^2 dx}{Q} = \frac{2H^3}{3H^2} = \frac{2}{3} H;\ q = \frac{H}{3}.$$

По Boussinesq'y и Ott'y *) распоръ—R на заднюю вертикальную грань направленъ подъ угломъ φ къ горизонту, при чемъ горизонтальная составляющая распора:

$$Q = R . cos\,\varphi;$$

По Boussinesq'y:

$$R = \frac{dH^2}{2} . tang^2\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right) \frac{cos\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right)}{cos_2\left(\frac{3\varphi}{2} - 45^\circ\right)}.$$

По Ott'y (Baumech. стр. 41), если задняя грань составляетъ съ горизонталью уголъ ψ. то давленіе нормальное къ стѣпкѣ:

$$Q = \frac{dH^2 sin(\psi - \varphi) cos\,\varphi}{2 sin^2\psi\, sin\,2\varphi\, [\sqrt{cotg(\psi - \varphi)} + cotg\,2\varphi + 1\, cotg(\psi - \varphi) - cotg\,\psi]^2} \quad . \quad . \quad (129')$$

$$q = \frac{2}{3} H.$$

Если задняя стѣпка вертикальна, т. е. $\psi = 90^\circ$:

$$Q = \frac{dH^2 cos^2\varphi}{2 sin\,2\varphi\left[\sqrt{tg\,\varphi + \frac{1}{tg\,2\varphi}} + \sqrt{tg\,\varphi}\right]^2} = \frac{dH^2 cos^2\varphi\, 2\,tg\,\varphi}{2 sin\,2\varphi\sqrt{2tg^2\varphi + 1 - tg^2\varphi + tg\varphi\sqrt{2}}]^2} =$$

$$= \frac{dH^2 cos^2\varphi\, tg\,\varphi}{2\, sin\,\varphi\, cos\,\varphi\left(\frac{1}{cos\,\varphi} + \frac{sin\,\varphi}{cos\,\varphi}\sqrt{2}\right)^2} = \frac{dH^2 cos^2\varphi}{2(1 + \sqrt{2}\, sin\,\varphi)^2} \quad . \quad . \quad (129'')$$

2) Если насыпь будетъ равномѣрно нагружена нагрузкою p на единицу длины, то вѣсъ призмы обрушенія и приходящейся на нее равномѣрной нагрузки (рис. 498):

$$P = \frac{dH^2}{2} . tang\,\alpha + pH\, tang\,\alpha = \left(\frac{dH^2}{2} + pH\right) . tang\,\alpha,$$

а давленіе: $$Q = \left(\frac{dH^2}{2} + pH\right) \cdot \frac{tang\,\alpha}{tang(\alpha + \varphi)};$$

такъ какъ $\frac{dH^2}{2} + pH$ для даннаго H есть величина постоянная, то Q_{max}. оче-

*) Annales des ponts et chanssées—1882 и 1883 г. Ott. Baumechanik.

видно, будетъ, подобно предыдущему, при $\alpha = \frac{90° - \varphi}{2}$;

$$Q_{max.} = \left(\frac{dH^2}{2} + pH\right) . tang^2 \left(45° - \frac{\varphi}{2}\right), \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (130)$$

а такъ какъ p можно замѣнить насыпью, высота которой опредѣлится изъ условія $p = dh_0$, то:

$$Q_{max.} = \left(\frac{dH^2}{2} + \frac{2dh_0 H}{2}\right) . tang^2 \left(45° - \frac{\varphi}{2}\right),$$

или:
$$Q_{max.} = \frac{d}{2} . tang^2 \left(45° - \frac{\varphi}{2}\right) . H\ (H + 2h_0). \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (131)$$

Для опредѣленія плеча q напора составимъ уравненіе моментовъ силъ Q и P относительно точки B.

Моментъ силы P равенъ:

$$\frac{dH^2}{2} tang\,\alpha \left(\frac{H . tang\,\alpha}{3} + dh_0 . H\,tang\,\alpha\right) \times \frac{H\,tang\,\alpha}{2} =$$

$$= \frac{dH^3}{6} \cdot tang^2\,\alpha + dh_0 \frac{H^2 . tang^2\,\alpha}{2} .$$

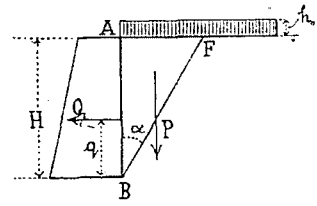


Рис. 498.

Моментъ силы Q равенъ:

$$q \frac{dH^2}{2} . tang^2\,\alpha + q . dh_0 H\,tang^2\,\alpha;$$

приравнявъ моментъ силы P моменту силы Q, получимъ:

$$\frac{dH^3}{6} tang^2\,\alpha + \frac{dh_0}{2} H^2\,tang^2\,\alpha = \frac{dH^2\,tang^2\,\alpha}{2} q + 2q \frac{dh_0}{2} H\,tang^2\,\alpha,$$

откуда:
$$q = \frac{H}{3} \times \frac{H + 3h_0}{H + 2h_0} . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (132)$$

Къ тому же результату придемъ. проектируя параллельно BF общій центръ тяжести призмы обрушенія ABF и нагрузки *) на грань AB **).

3) а) Если нагрузка p (на единицу длины) будетъ покрывать только часть насыпи (рис. 499), то уголъ обрушенія α, $Q_{max.}$ и q опредѣлятся слѣдующимъ образомъ:

Пусть временная нагрузка p, начинаясь въ разстояніи a отъ грани AB, покрываетъ насыпь на длину b; высота c нагрузки опредѣлена изъ условія: $p = cd$, гдѣ d—вѣсъ кубической единицы матеріала насыпи. Предполагая, что обрушеніе произойдетъ по плоскости BF, будемъ имѣть:

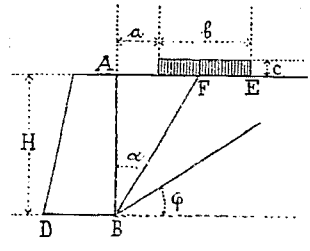


Рис. 499.

$$P = \frac{dH^2}{2} tang\,\alpha + d\,(H\,tang\,\alpha - a)\,c = \frac{dH}{2}\,(H + 2c)\,tang\,\alpha - acd;$$

---

*) Центръ тяжести нагрузки находится на линіи AF въ разстояніи $\frac{AF}{2}$ отъ точки A.

**) См. формулы (138), (139) и (140).

$$Q = \frac{P}{tang\,(\alpha + \varphi)} = \frac{\frac{dH}{2} \cdot (H + 2c)\, tang\,\alpha - acd}{tang\,(\alpha + \varphi)} \quad . \quad . \quad . \quad (133)$$

Изъ уравненія $\frac{dQ}{d\alpha} = 0$. получимъ:

$$tang\,\alpha = -tang\,\varphi + \sqrt{(1 + tang^2\,\varphi) \cdot \left[1 + \frac{2ac}{H\,(H + 2c)\,tang\,\varphi}\right]}^{*} \quad . \quad . \quad (134)$$

Зная α, изъ уравненія (133) опредѣлимъ max. Q.

Формулы (133) и (134) примѣнимы до тѣхъ поръ, пока плоскость обрушенія BF не выходитъ за границу временной нагрузки — за точку E.

б) Если плоскость обрушенія BE выходитъ за точку E (рис. 500), то для опредѣленія maxim. Q и α должно пользоваться нижеслѣдующими формулами:

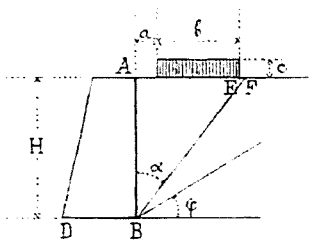


Рис. 500.

$$P = \frac{dH^2}{2} tang\,\alpha + dbc;$$

$$Q = \frac{P}{tang\,(\alpha + \varphi)} = \frac{\frac{dH^2}{2} tang\,\alpha + dbc}{tang\,(\alpha + \varphi)} \quad . \quad . \quad (135)$$

Подобно предыдущему, изъ условія: $\frac{dQ}{d\alpha} = 0$ найдемъ, что Q будетъ maximum при:

$$tang\,\alpha = -tang\,\varphi + \sqrt{(1 + tang^2\,\varphi) \cdot \left[1 - \frac{2bc}{H^2\,tang\,\varphi}\right]} \quad . \quad . \quad (136)$$

Присоединяя къ формулѣ (134) условіе: $tang\,\alpha = \frac{b + a}{H}$, можемъ опредѣлить высоту H_0, при которой плоскость обрушенія только что не выходитъ заграницу (E) временной нагрузки. Изъ формулы (136) и условія $tang\,\alpha = \frac{b + a}{H}$ опредѣлимъ высоту H_1, при которой плоскость обрушенія только что не доходитъ до границы (E) временной нагрузки. Полученныя такимъ образомъ высоты H_0 и H_1 будутъ служить предѣлами примѣнимости формулъ (134) и (136); при этомъ нужно замѣтить, что $H_0 < H_1$ и для высоты $H_n > H_0$, но $< H_1$, значеніе α, обращающее $Q = \frac{P}{tang(\alpha + \varphi)}$ въ maximum, опредѣлится изъ формулы:

$$tang\,\alpha = \frac{a + b}{H_n} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (137)$$

До $H = H_0$ (рис. 501):

$$tang\,\alpha = -tang\,\varphi + \sqrt{(1 + tang^2\,\varphi) \cdot \left[1 + \frac{2ac}{H\,(H + 2c)\,tang\,\varphi}\right]};$$

$$\left.\begin{array}{l}\text{отъ } H = H_0 \\ \text{до } H = H_1\end{array}\right\} \; tang\,\alpha = \frac{a + b}{H_n};$$

*) Передъ корнемъ взятъ знакъ (+), такъ какъ $\frac{d^2Q}{d\alpha^2} < 0$ при:

$$tang\,\alpha = -tang\,\varphi + \sqrt{(1 + tang^2\,\varphi) \cdot \left[1 + \frac{2ac}{H\,(H + 2c)\,tang\,\varphi}\right]}.$$

отъ $H = H_1$:

$$tang\,\alpha = -tang\,\varphi + \sqrt{(1 + tang^2\varphi)\cdot\left[1 - \frac{2bc}{H^2 . tang\,\varphi}\right]}.$$

Для опредѣленія плеча q напора найдемъ общій центръ тяжести временной нагрузки и призмы обрушенія земли и спроектируемъ его на грань стѣнки AB по направленію параллельному плоскости обрушенія BF.

По рис. 502 центръ тяжести нагрузки будетъ на линіи Ax въ разстояніи $\left(a + \frac{b}{2}\right)$ отъ точки A; центръ тяжести $\Delta\,ABF$ будетъ въ разстояніи:

$\frac{H}{3}$ ..... отъ оси X-въ и $\frac{a + l}{3}$ ..... отъ оси Y-въ.

Полагая:

$$dlc = P_1;\ d\,\frac{(a + l)\,H}{2} = P_2$$

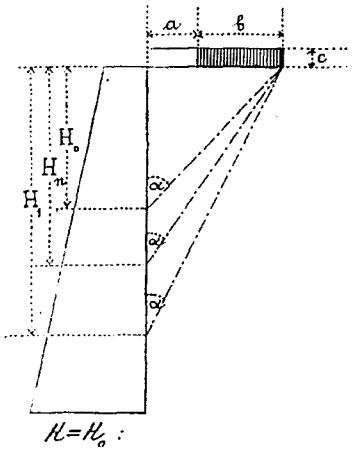


Рис. 501.

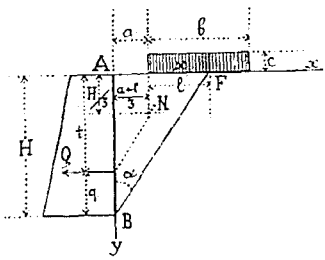


Рис. 502.

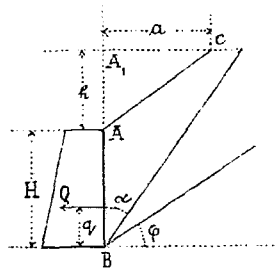


Рис. 503.

напишемъ уравненія:

$$P_1\left(a + \frac{l}{2}\right) + P_2\left(\frac{a + l}{3}\right) = (P_1 + P_2)\,x_0.$$

откуда:
$$x_0 = \frac{2\,(3P_1 + P_2)\,a + (3P_1 + 2P_2)\,l}{6\,(P_1 + P_2)} \quad \ldots\ldots\ (138);$$

далѣе:
$$P_1 \times O + P_2\,\frac{H}{3} = (P_1 + P_2)\,y_0,$$

откуда:
$$y_0 = \frac{H}{3} \times \frac{P_2}{P_1 + P_2} \quad \ldots\ldots\ (139)$$

x_0 и y_0 будутъ координатами точки N — общаго центра тяжести треугольника ABF и временной нагрузки dlc; проектируя точку N на AB параллельно BF, получимъ:

$$t = y_0 + \frac{x_0}{tang\,\alpha}$$

и
$$q = H - t = H - y_0 - \frac{x_0}{tang\,\alpha} \quad \ldots\ldots\ (140)$$

Въ уравненіи (140) $tang\,\alpha$ опредѣляется по одной изъ формулъ: (134), (136) и (137), смотря по тому, будетъ ли высота $H < H_0$, $H > H_1$ и $H \gtrless H_0$.
$< H_1$

В. Стѣнка съ вертикальною внутреннею гранью поддерживаетъ насыпь, имѣющую кавальеръ съ горизонтальною кроною (рис. 503).

1) Для этого случая въ формулѣ:

$$Q = \frac{P}{tang\,(\alpha + \varphi)}$$

$$P = d\,(A_1BF - A_1AC) = d\,\frac{(H+h)^2}{2}\,tang\,\alpha - d\,\frac{ah}{2};$$

слѣдовательно:

$$Q = \frac{d\,\frac{(H+h)^2}{2}\,.\,tang\,\alpha - \frac{adh}{2}}{tang\,(\alpha + \varphi)}$$

или:

$$Q = \frac{d\,(H+h)^2\,.\,tang\,\alpha - adh}{2\,tang\,(\alpha + \varphi)} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (141)$$

Изъ условія $\frac{dQ}{d\alpha} = 0$ найдемъ, что Q будетъ maximum при:

$$tang\,\alpha = -\,tang\,\varphi + \sqrt{(1 + tang^2\varphi)\cdot\left[1 + \frac{ah}{(H+h)^2\,.\,tang\,\varphi}\right]} \quad . \quad (142)$$

При полуторномъ откосѣ кавальера, т. е. при $a = \frac{3}{2}h$:

$$tang\,\alpha = -\,tang\,\varphi + \sqrt{(1 + tang^2\varphi)\cdot\left|1 + \frac{3h^2}{2(H+h)^2\,.\,tang\,\varphi}\right|} \quad . \quad (143)$$

Плечо q напора опредѣлится подобно указанному выше.

По Ott'y (Baumechanik. Стр. 46), если $\frac{h}{a} = tang\,\varphi$, то при внутренней наклонной грани, составляющей съ горизонталью уголъ ψ, и при естественномъ уклонѣ кавальера, давленіе нормальное къ стѣнкѣ:

$$max.\,Q = \frac{d\,(H+h)^2}{2}\,\frac{sin\,\varphi\,\cos\varphi}{sin\,\sigma}\,(\sqrt{cotg\,\varphi - cotg\,\sigma} - \sqrt{k - cotg\,\sigma})^2 \quad . \quad . \quad . \quad (143')$$

гдѣ:

$$\sigma = \psi + 2\varphi,\quad k = cotg\,\psi + \left(\frac{h}{H+h}\right)^2 (cotg\,\varphi - cotg\,\psi).$$

Если $\psi = 90$, то:

$$max.\,Q = \frac{d\,(H+h)^2}{2}\,\frac{sin\,\varphi\,.\,\cos\varphi}{\cos 2\varphi} \times$$

$$\times\left[\sqrt{cotang\,\varphi + tg\,2\varphi} - \sqrt{\left(\frac{h}{H+h}\right)^2 cotang\,\varphi + tg\,2\varphi}\right]^2 \quad . \quad . \quad . \quad (143'')$$

2) Если кавальеръ будетъ нагруженъ (нагрузкою p на единицу длины), причемъ нагрузка будетъ покрывать только часть кроны кавальера, (рис. 504), то въ формулѣ:

$$Q = \frac{P}{tang\,(\alpha + \varphi)}$$

$$P = \frac{d\,(H+h)^2}{2}\,tang\,\alpha + [(H+h)\,.\,tang\,\alpha - (a+k)]\,dc - \frac{ah}{2}\,d =$$

$$= d\left[\frac{(H+h)^2}{2} + (H+h)\,c\right].\,tang\,\alpha - d\left(ac + kc + \frac{ah}{2}\right);$$

и слѣдовательно:

$$Q = \frac{d\,(H + h)\left[\frac{H + h}{2} + c\right] . tang\,\alpha - d\left(ac + kc + \frac{ah}{2}\right)}{tang\,(\alpha + \varphi)} \quad . \quad (144)$$

или:

$$Q = \frac{d\left[(H + h) . (H + h + 2c) . tang\,\alpha - 2\left(ac + kc + \frac{ah}{2}\right)\right]}{2\,tang\,(\alpha + \varphi)} \quad . \quad (145)$$

Полагая въ формулѣ (144):

$$(H + h) \cdot \left[\frac{H + h}{2} + c\right] = A;$$

$$\left(ac + \frac{ah}{2} + kc\right) = B,$$

получимъ:

$$Q = \frac{A\,tang\,\alpha - B}{tang\,(\alpha + \varphi)} \cdot d$$

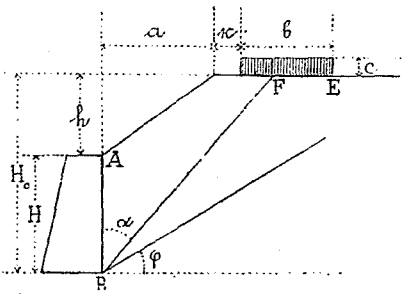


Рис. 504.

и по предыдущему найдемъ, что Q будетъ maximum при:

$$tang\,\alpha = -\,tang\,\varphi + \sqrt{1 + tang^2\varphi + \frac{2B}{A\,sin\,2\varphi}},$$

или:

$$tang\,\alpha = -\,tang\,\varphi + \sqrt{1 + tang^2\varphi + \frac{2\left(ac + kc + \frac{ah}{2}\right)}{(H + h)\left[\frac{H + h}{2} + c\right] sin\,2\varphi}},$$

или, дѣлая: $H_0 = H + h;\ sin\,2\varphi = \frac{2\,tang\,\varphi}{(1 + tang^2\varphi)}$,

$$tang\,\alpha = -\,tang\,\varphi + \sqrt{(1 + tang^2\varphi) \cdot \left[1 + \frac{2\left\{\frac{ah}{2} + c\,(a + k)\right\}}{H_0\,(H_0 + 2c)\,tang\,\varphi}\right]} \quad . \quad (146)$$

При полуторномъ откосѣ кавальера, т. е. при $a = \frac{3}{2}\,h$:

$$tang\,\alpha = -\,tang\,\varphi + \sqrt{(1 + tang^2\varphi) \cdot \left[1 + \frac{3\,(h + 2c)\,h + 4k\,.\,c}{2H_0\,(H_0 + 2c)\,tang\,\varphi}\right]} \quad . \quad (147)$$

Плечо напора опредѣляется подобно предыдущему.

Формулы (145), (146) и (147) примѣнимы до тѣхъ поръ, пока плоскость обрушенія BF не выходитъ за границу (E) нагрузки; высота H_1, соотвѣтствующая предѣльному положенію плоскости BF, опредѣлится изъ формулы (146) [либо (147)] и изъ условія:

$$tang\,\alpha = \frac{a + k + b}{H + h}.$$

3) Если плоскость обрушенія (BF) выходитъ за границу (E) нагрузки (рис. 505).

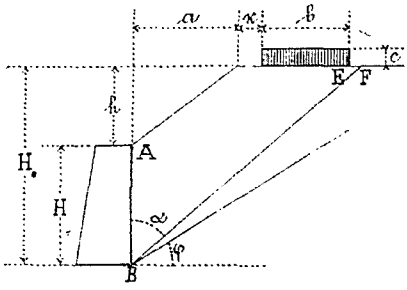


Рис. 505.

то въ формулѣ:

$$Q = \frac{P}{tang\,(\alpha + \varphi)}$$

$$P = \frac{d\,(H+h)^2}{2} \cdot tang\,\alpha + bc - \frac{ah}{2};$$

называя:

$$\frac{(H+h)^2}{2} = A;\ bc - \frac{ah}{2} = B,$$

получимъ:

$$Q = d\,\frac{A\,tang\,\alpha + B}{tang\,(\alpha+\varphi)} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (148)$$

и слѣдовательно, подобно предыдущему, maximum Q будетъ при:

$$tang\,\alpha = -\,tang\,\varphi + \sqrt{1 + tang^2\varphi - \frac{2B}{A\,sin\,2\varphi}} = -\,tang\,\varphi +$$

$$+ \sqrt{(1 + tang^2\varphi)\cdot\left[1 - \frac{2\left(bc - \frac{ah}{2}\right)}{(H+h)^2\cdot tang\,\varphi}\right]};$$

называя: $H_0 = H + h$,

$$tang\,\alpha = -\,tang\,\varphi + \sqrt{(1 + tang^2\varphi)\cdot\left[1 - \frac{2\left(bc - \frac{ah}{2}\right)}{H_0^2\,.\,tang\,\varphi}\right]} \quad . \quad . \quad (149)$$

При полуторномъ откосѣ кавальера, т. е. при $a = \frac{3}{2}h$:

$$tang\,\alpha = -\,tang\,\varphi + \sqrt{(1 + tang^2\varphi)\cdot\left[1 - \frac{2bc - \frac{3}{2}h^2}{H_0^2\,.\,tang\,\varphi}\right]} \quad . \quad . \quad (150)$$

Подобно вышеизложенному, найдемъ изъ формулы (149) или (150) и изъ условія: $tang\,\alpha = \frac{a+b+k}{H+h}$ высоту H_1, соотвѣтствующую предѣльному положенію плоскости обрушенія BF.

Для высоты $H_n > H_1$ значеніе угла α, обращающее выраженіе для Q въ maximum, опредѣляется изъ формулы:

$$tang\,\alpha = \frac{a+b+k}{H+h} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (151$$

Плечо напора опредѣлится подобно вышеизложенному.

C. Стѣнка съ вертикальной внутренней гранью поддерживаетъ насыпь, ограниченную отъ кордона неограниченною наклонною плоскостью (рис. 506). Для этого случая въ формулѣ:

$$Q = \frac{P}{tang\,(\alpha+\varphi)}$$

$$P = dH \times \frac{MF}{2} = d\cdot\frac{H}{2}\cdot AF\cdot cos\,\omega,$$

но: $$\frac{AF}{H} = \frac{\sin\alpha}{\cos(\alpha + \omega)},$$

ибо: $$< AFB = 90^0 - \alpha - \omega;\ AF = H \cdot \frac{\sin\alpha}{\cos(\alpha + \omega)},$$

поэтому: $$P = d\,\frac{H^2}{2}\cos\omega \cdot \frac{\sin\alpha}{\cos(\alpha + \omega)},$$

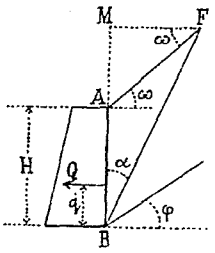


Рис. 506.

а напоръ: $$Q = d\,\frac{H^2}{2}\cos\omega \cdot \frac{\sin\alpha}{\cos(\alpha + \omega).tang(\alpha + \varphi)} \quad . \quad . \quad . \quad (152)$$

Изъ условія: $\frac{dQ}{d\alpha} = 0$ найдемъ, что Q будетъ maximum при:

$$tang\,\alpha = \frac{-tang\,\varphi + \sqrt{sec^2\varphi - \frac{2\,tang\,\omega}{sin\,2\varphi}}}{1 - \frac{2\,tang\,\omega}{sin\,2\varphi}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (153)$$

Если $\omega = \varphi$, то изъ формулы (153):

$$tang\,\alpha = \frac{-tang\,\varphi + \sqrt{sec^2\varphi - \frac{2\sin\varphi}{\cos\varphi\,.\,sin\,2\varphi}}}{1 - \frac{2\sin\varphi}{\cos\varphi\,.\,sin\,2\varphi}} =$$

$$= \frac{-tang\,\varphi + \sqrt{sec^2\varphi - sec^2\varphi}}{1 - sec^2\varphi};$$

$$tang\,\alpha = \frac{1}{tang\,\varphi} = cotang\,\varphi, \text{ т. е.: } \alpha = 90^\circ - \varphi \quad . \quad . \quad . \quad (154)$$

Слѣдов. $$max.\ Q = \frac{dH^2}{2}\cos^2\varphi.$$

Плечо q напора будетъ равно $\frac{1}{3}H$.

По Ott'у если задняя стѣнка составляетъ съ горизонталью уголъ ψ, то давленіе нормальное къ стѣнкѣ:

$$max.\,Q = \frac{dH^2\sin(\psi - \varphi)\cos\varphi}{2\sin^2\psi\sin2\varphi\left[\sqrt{cotg(\psi - \varphi) + cotg\,2\varphi} + \sqrt{cotg(\psi - \varphi) - cotg(\psi - \omega)}\right]^2} \quad . \quad (154')$$

Если $\omega = \varphi$:

$$max.\,Q = \frac{dH^2\sin^2(\psi - \varphi)\cos\varphi}{2\sin^2\psi\sin(\psi + \varphi)} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (154'')$$

Если сверхъ того $\psi = 90^\circ$:

$$max.\,Q = \frac{dH^2\cos^2\varphi}{2} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (154''')$$

Если насыпь безконечно большой высоты, то также имѣетъ мѣсто (154″).

D. Стѣнка съ вертикальной внутренней гранью поддерживаетъ насыпь, понижающуюся отъ кордона (рис. 507).

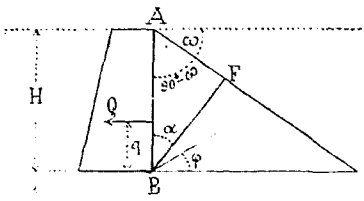


Рис. 507.

Для этого случая въ формулѣ:

$$Q = \frac{P}{tang\,(\alpha + \varphi)}$$

$$P = d \times \Delta ABF$$

$$\Delta ABF = \frac{AB \times BF}{2} \cdot sin\alpha:$$

но:
$$\frac{AB}{BF} = \frac{sin\,(F)}{sin\,(90^\circ - \omega)} = \frac{sin\,(F)}{cos\,\omega} = \frac{sin\,(180^\circ - \alpha - 90^\circ + \omega)}{cos\,\omega} =$$

$$= \frac{sin\,[90^\circ - (\alpha - \omega)]}{cos\,\omega} = \frac{cos\,(\alpha - \omega)}{cos\,\omega},$$

откуда:
$$BF = \frac{H \cdot cos\,\omega}{cos\,(\alpha - \omega)},$$

а
$$\Delta ABF = \frac{H^2 \cdot sin\,\alpha \cdot cos\,\omega}{2\,cos\,(\alpha - \omega)};$$

поэтому:
$$P = \frac{dH^2}{2} \times cos\,\omega \cdot \frac{sin\,\alpha}{cos\,(\alpha - \omega)};$$

$$Q = \frac{dH^2}{2} \times cos\,\omega \cdot \frac{sin\,\alpha}{cos\,(\alpha - \omega) \cdot tang\,(\alpha + \varphi)} \quad . \quad . \quad . \quad (155)^*)$$

Для отысканія угла α, соотвѣтствующаго призмѣ наибольшаго обрушенія, въ формулу (153) нужно ввести ω со знакомъ (—), тогда:

$$tang\,\alpha = \frac{-\,tang\,\varphi + \sqrt{sec^2\,\varphi + \frac{2\,tang\,\omega}{sin\,2\varphi}}}{1 + \frac{2\,tang\,\omega}{sin\,2\varphi}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (156)$$

Если $\omega = \varphi$, то изъ формулы (156):

$$tang\,\alpha = \frac{-\,tang\,\varphi + \sqrt{2\,(1 + tang^2\,\varphi)}}{2 + tang^2\,\varphi} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (157)$$

Слѣд.
$$max.\,Q = \frac{dH^2}{2} \frac{cos\,\varphi\,sin\,\alpha}{cos\,(\alpha - \varphi)\,tg\,(\alpha + \varphi)} = \frac{dH^2}{2} cos\,\varphi \cdot A.$$

Но
$$A = \frac{sin\,\alpha}{cos\,(\alpha - \varphi)\,tg\,(\alpha + \varphi)} = \frac{sin\,\alpha\,(1 - tg\,\alpha \cdot tg\,\varphi)}{(cos\,\alpha \cdot cos\,\varphi + sin\,\alpha\,sin\,\varphi)\,(tg\,\alpha + tg\,\varphi)} =$$

$$= \frac{1 - tg\,\alpha\,tg\,\varphi}{(cotg\,\alpha\,cos\,\varphi + sin\,\varphi)\,(tg\,\alpha + tg\varphi)} =$$

---

*) Формула (155), очевидно, можетъ быть получена изъ формулы (152), если перемѣнить знакъ передъ ω.

$$= \frac{(2 + tg^2\varphi + tg^2\varphi - sec\varphi\, tg\varphi\sqrt{2})\,(-tg\varphi + \sqrt{2}\,sec\varphi)}{[(2 + tg^2\varphi)\,cos\varphi - tg\varphi\,sin\varphi + \sqrt{2}\,sec\varphi\,sin\varphi]\;(tg\varphi + tg^3\varphi + \sqrt{2}sec\varphi)} =$$

$$= \frac{(2\,sec^2\varphi - \sqrt{2}\,sec\varphi\,tg\varphi)\,(-tg\varphi + \sqrt{2}\,sec\varphi)}{(2\,cos\varphi + \sqrt{2}\,sec\varphi\,sin\varphi)\,(sec^2\varphi\,tg\varphi + \sqrt{2}\,sec\varphi}.$$

Умножая числителя и знаменателя на $cos^3\varphi$, получимъ:

$$A = \frac{(2 - \sqrt{2}\,sin\varphi)\,(\sqrt{2} - sin\varphi)}{(2\,cos^2\varphi + \sqrt{2}\,sin\varphi)\,(\sqrt{2}cos\varphi + tg\varphi)} = \frac{cos\varphi\,(\sqrt{2} - sin\varphi)^2}{(\sqrt{2}\,cos^2\varphi + sin\varphi)^2} =$$

$$= \frac{cos\varphi\,(\sqrt{2} - sin\varphi)^2}{(\sqrt{2} - \sqrt{2}\,sin^2\varphi + sin\varphi)^2} = \frac{cos\varphi}{(1 + \sqrt{2}\,sin\varphi)^2}.$$

Слѣд. $$max.\ Q = \frac{dH^2}{2}\,\frac{cos\varphi}{(1 + \sqrt{2}\,sin\varphi)^2} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (157')$$

Плечо q равно $\frac{1}{3}H$.

По Ott'y если насыпь понижается отъ кордона подъ угломъ ω, то давленіе, нормальное къ стѣнкѣ, составляющей съ горизонталью уголъ ψ:

$$max.\ Q = \frac{dH^2\,sin(\psi - \varphi)\,cos\varphi}{2\,sin^2\psi\,sin\,2\varphi\,[\sqrt{cotg(\psi - \varphi)} + cotg\,2\varphi + \sqrt{cotg(\psi - \varphi) + cotg(\psi + \omega)}]^2} \quad . \quad . \quad (157'')$$

Если $\psi = 90°$, то:

$$max.\ Q = \frac{dH^2\,cos\varphi}{4\,sin\varphi\,[\sqrt{tg\varphi} + cotg\,2\varphi + \sqrt{tg\varphi + tg\omega}]^2} \quad . \quad . \quad . \quad (157''')$$

Если кромѣ того $\omega = \varphi$, то:

$$max.\ Q = \frac{dH^2\,cos\varphi}{4\,sin\varphi\,[\sqrt{tg\varphi} + cotg\,2\varphi + \sqrt{2\,tg\varphi}]^2} = \frac{dH^2}{4tg\varphi\,[\sqrt{tg\varphi} + cotg2\varphi + \sqrt{2}\;tg\,\varphi]^2} =$$

$$= \frac{dH^2}{2\,[\sqrt{2\,tg^2\varphi} + 2tg\varphi\,cotg\,2\varphi + 2tg\varphi]^2} = \frac{dH^2}{2\,[\sqrt{2tg^2\varphi} + 1 - tg^2\varphi + 2\,tg\varphi]^2} =$$

$$= \frac{dH^2}{2\,(sec\varphi + 2\,tg\varphi)^2} = \frac{dH^2\,cos^2\varphi}{2\,(1 + 2\,sin\varphi)^2} \quad . \quad . \quad . \quad (157^{IV}).$$ (Сравнить съ $157'$)

Е. Давленіе земли на стѣнку съ внутреннимъ откосомъ.

Если насыпь поддерживается стѣнкой съ внутреннимъ откосомъ (рис. 508), составляющимъ уголъ θ влѣво отъ вертикали, проходящей чрезъ ребро B, то для опредѣленія давленія земли на грань AB проводятъ вертикаль BV и принимая BV за грань стѣнки, опредѣляютъ, согласно вышеизложенному, давленіе Q на BV, а равно вѣсъ (P) фигуры ABV; равнодѣйствующая R силъ: Q — горизонтальной и P — вертикальной — будетъ давленіе земли на грань стѣнки AB *); зная

*) Вышеизложенное не вполнѣ справедливо, такъ какъ основано на томъ, что треніе и сцѣпленіе по плоскости BV равно нулю; но для практическихъ выводовъ приведенный способъ опредѣленія R вполнѣ достаточенъ.

плечи q и p, не трудно опредѣлить плечо равнодѣйствующей R относительно точки D.

Если стѣпка имѣетъ наклонную внутреннюю грань AB (рис. 509), то давленіе земли Q_s на эту грань будетъ равно:

$$Q_s = Q\,(1 - tang\,\theta \,.\, tg\,\varphi), \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (158)$$

гдѣ Q — давленіе на вертикальный параметръ AV; θ — уголъ наклоненія грани AB къ вертикали.

Выводъ формулы (158) основанъ на слѣдующемъ:

Вообразимъ стѣнку (рис. 510) съ уступами: bk, at и такъ далѣе; проведемъ черезъ точки a, b и т. д. прямыя, параллельныя естественному откосу; давленіе слоевъ

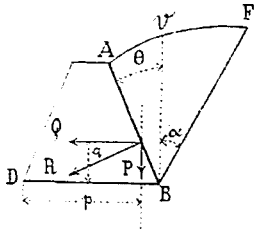


Рис. 508.

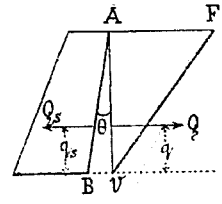


Рис. 509.

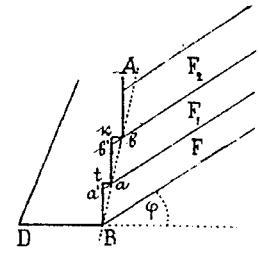


Рис. 510.

F, F' и т. д. будутъ испытывать только части; $a'B$, ab' и т. д., части же: $a't$, $b'k$ и т. д. не будутъ прпдавлены; такимъ образомъ, называя давленіе па вертикальную грань Bt черезъ Q^0, а давленіе на Ba' черезъ Q_s^0, можемъ принять, что:

$$Q_s^0 = Q^0 \frac{a'B}{B.t};$$

но $$a't = at \,.\, tg\,\varphi = Bt \,.\, tang\,\theta \,.\, tg\,\varphi;$$

поэтому: $$a'B = Bt - Bt \,.\, tang\,\theta \,.\, tg\,\varphi = Bt\,(1 - tang\,\theta \,.\, tg\,\varphi),$$

а $$Q^0{}_s = Q^0\,(1 - tang\,\theta \,.\, tg\,\varphi).$$

Увеличивая число уступовъ до безконечности и примѣняя къ нимъ тѣ же разсужденія, получимъ въ предѣлѣ, что давленіе на наклонный параметръ AB будетъ выражаться формулою (158). Принимается, что давленіе Q_s имѣетъ горизонтальное направленіе и плечо его *) q_s равно плечу давленія Q.

Въ данномъ случаѣ могутъ также служить общія формулы (129′), 143′) (154′) и (157″).

$$max.\,Q = \frac{dH^2}{2} \,\frac{cos^2\varphi}{(1 + 1{,}414\,sin\,\varphi)^2}.$$

F. Давленіе земли на парныя **) *подпорныя стѣнки.*

Существуетъ нѣсколько пріемовъ расчета парныхъ стѣнокъ; двѣ симметричныя стѣнки иногда расчитываются относительно 2-хъ равныхъ одновременно дѣйствующихъ наибольшихъ призмъ обрушенія. Хотя этотъ пріемъ расчета имѣетъ нѣкоторое основаніе, по онъ не предусматриваетъ возможности несимметричнаго распредѣленія давленія — болѣе невыгоднаго.

*) Въ нѣкоторыхъ случаяхъ плечо $q_s < q$.

**) То есть подпирающія откосы земляной призмы, заключенной *между* ними.

Инженеръ Audé произвелъ рядъ опытовъ, съ цѣлью выяснить вопросъ о давленіи земли на парныя стѣнки; онъ опредѣлялъ величину горизонтальнаго давленія земли на стѣнку и величину опрокидывающаго момента.

Для расчета Audé предлагаетъ исходить изъ предположенія, что призма обрушенія (рис. 511), производящая горизонтальное давленіе на одну изъ стѣнокъ AB и CD, напримѣръ на AB, имѣетъ поперечное сѣченіе ABC. Въ этомъ предположеніи легко вывести для давленія, нормальнаго къ стѣнкѣ, формулу:

$$P = \frac{G \cos(\varphi + \delta) \cdot \cos\varphi'}{\sin(\delta - E + \varphi + \varphi')} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (159)$$

гдѣ φ и φ' суть углы естественнаго откоса и тренія земли о кладку, а G—вѣсъ призмы обрушенія.

Опытныя данныя Audé дали результаты бо́льшіе, нежели вычисленные по этой формулѣ.

Инженеръ Domergue полагаетъ, что каждую изъ 2-хъ парныхъ вертикальныхъ стѣнокъ (рис. 512), вышиною h, при разстояніи l, вообще нужно расчитывать отно-

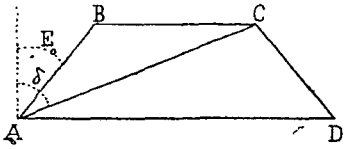


Рис. 511.

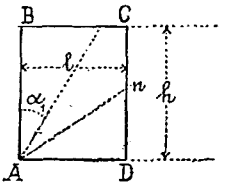


Рис. 512.

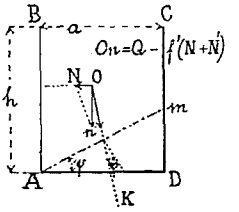


Рис. 513.

сительно наибольшей возможной призмы обрушенія. Если при расчетѣ окажется, что уголъ плоскости обрушенія α_1 таковъ, что $l > h\ tg\,\alpha_1$, тогда наибольшая призма обрушенія и будетъ отвѣчать углу α_1. Если же $l < h\,.\,tang\,\alpha_1$, то призма обрушенія отдѣлится по нѣкоторой плоскости An, а не по діагонали AC, уголъ которой съ вертикалью мéньше, чѣмъ α_1.

Исходя изъ этого положенія, Domergue даетъ слѣдующій выводъ.

Пусть (рис. 513): Am—плоскость обрушенія, Q—вѣсъ призмы обрушенія $ABCm$, N и N' — давленія на стѣнки AB и DC; f' — коэффиціентъ тренія объ эти стѣнки.

Разлагая $On = Q - f'(N + N')$ по нормали къ стѣнкѣ BA и по линіи ok, составляющей съ нормалью къ плоскости обрушенія уголъ тренія φ, найдемъ изъ прямоугольнаго треугольника:

$$N = [Q - f'(N + N')]\,.\,tang\,(\Psi - \varphi),$$

откуда:

$$N = \frac{Q\,.\,tang\,(\Psi - \varphi) - f'N'\,.\,tang\,(\Psi - \varphi)}{1 + f'\,.\,tang\,(\Psi - \varphi)} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (160)$$

Результаты, вычисленные по этой формулѣ, также мéньше, чѣмъ опытныя данныя Audé, но ближе, чѣмъ вычисленные по предыдущей формулѣ Audé.

Исходя изъ вышеприведенной формулы (160), можно было бы аналитическимъ путемъ найти значеніе Ψ, соотвѣтствующее шах. N, еслибы извѣстна была зависимость между N и N'. Пренебрегая же треніемъ по задней стѣнкѣ, можно рѣ-

шить предыдущую задачу, не зная этой зависимости; дѣйствительно, въ такомъ случаѣ изъ (160) получаемъ:

$$N = \frac{Q\, tang\,(\Psi - \varphi)}{1 + f'\, tang\,(\Psi - \varphi)} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (161)$$

Замѣняя въ этой формулѣ Q его значеніемъ $\frac{pa}{2}\left\{2h - a\, tang\,\Psi\right\}$, гдѣ a — разстояніе между стѣнками AB и CD, h — высота призмы обрушенія у стѣнки AB, p — вѣсъ кубической единицы земли, — и отыскивая по правиламъ дифференціальнаго исчисленія maximum N въ зависимости отъ $tang\,\Psi$, получимъ:

$$\max. N = \frac{pa\,.\,cos\,\varphi\,.\,cos\,\varphi'}{2\,sin\,\beta}\left[2h + a\, tang\,\varphi + \right.$$

$$\left. + \frac{2a}{tang\,\beta}\left(1 - \sqrt{\frac{(1 + tang\,\beta\,.\,tang\,\varphi)\,(a + 2h\,.\,tang\,\beta)}{a}}\right)\right] \quad . \quad (162)\ ^{*})$$

при:

$$tang\,\Psi = -\frac{1}{tang\,\beta} +$$

$$+ \sqrt{\frac{1}{tang^2\,\beta} + \frac{2h\,(1 + tang\,\varphi\,.\,tang\,\beta) + a\,.\,tang\,\varphi}{a\,.\,tang\,\beta}} \quad . \quad . \quad (163),$$

гдѣ φ' — уголъ тренія о стѣнку AB (т. е. $tang\,\varphi' = f'$) и $\beta = \varphi + \varphi'$.

Зная же N и Ψ, можно вычислить и N' и опрокидывающіе моменты для обѣихъ стѣнокъ.

Сравнивая результаты, доставляемые этими формулами, съ опытными данными Audé и данными Domergue, находимъ большое сходство; неполное совпаденіе результатовъ легко объясняется не вполнѣ точной обстановкой опытовъ Audé.

Шеффлеръ и Хагенъ устанавливаютъ положеніе, что давленіе, испытываемое каждой стѣнкой, не зависитъ отъ присутствія второй стѣнки, но Винклеръ указываетъ, что такое положеніе имѣетъ мѣсто лишь при полномъ отсутствіи сдвиженія стѣнокъ.

Такимъ образомъ, сравнивая изложенные 4 пріема расчета, необходимо придти къ заключенію, что преимущество будетъ на сторонѣ способа инженера Domergue, результаты коего ближе всего согласуются съ опытами, тогда какъ всѣ прочіе пріемы расчета даютъ величины, меньшія дѣйствительныхъ. Сообразно этому и формула, приведенная у Недзялковскаго по Audé, должна бы быть замѣнена формулою Domergue, или формулою для N_{max} (фор. 162).

Устои фермъ безъ горизонтальнаго распора. — Провѣрка заданныхъ размѣровъ и опредѣленіе размѣровъ изъ условій устойчивости. — Провѣрка заданныхъ размѣровъ и опредѣленіе размѣровъ изъ условій прочности. — Значеніе контрфорсовъ.

Провѣрка заданныхъ размѣровъ устоевъ и опредѣленіе размѣровъ изъ условій устойчивости. Въ томъ и другомъ случаѣ необходимо знать величину распора земли на устой и положеніе точки приложенія дѣйствія распора. Аналитическія выраженія обѣихъ данностей для различныхъ случаевъ приведены въ предыдущемъ параграфѣ.

---

*) См. мою брошюру „Къ вопросу о давленіи земли, заключенной между двумя подпорными стѣнками". Стр. 14—16.

По *первому* пріему заданные размѣры устоевъ должны быть провѣреиы на устойчивость и прочность. Размѣры задаются сообразно эмпирическимъ правиламъ, указанымъ въ Гл. VII («Типы каменныхъ опоръ»). Слѣдовательно, остается только написать условія устойчивости и прочности, опредѣлить изъ этихъ условій коэффиціенты устойчивости и напряженіе матеріала, и сравнить результаты расчета съ допускаемыми нормами.

Изложимъ порядокъ провѣрки въ примѣненіи къ опредѣленнымъ случаямъ.

а) Пусть поверхъ земли, сзади устоя, находится временная нагрузка, расположенная на земляной призмѣ, производящей давленіе. Опредѣлимъ величину распора въ этомъ случаѣ: если h — высота земли за устоемъ; γ — вѣсъ кубической единицы земли; φ — уголъ тренія земли; θ — уголъ, составленный задней стѣнкой съ вертикалью; v — временная нагрузка на квадратную единицу верхней площади призмы, при чемъ: $v = \gamma h'$ *), тогда наибольшій горизонтальный распоръ на погонную единицу, принимая заднюю стѣнку вертикальною **):

$$E = \gamma\psi\,(h^2 + 2hh'),$$

гдѣ:

$$\psi = \frac{1}{2}\,tang^2\left(45° - \frac{\varphi}{2}\right);\quad E = \psi\,(\gamma h^2 + 2hv). \quad . \quad . \quad . \quad (164)$$

*) При проектированіи устоевъ для желѣзнодорожныхъ мостовъ необходимо брать въ расчетъ временную нагрузку отъ паровоза, если высота насыпи невелика, не болѣе 4—5 саж. При болѣе высокихъ насыпяхъ добавочная нагрузка отъ паровоза незначительна въ сравненіи съ вѣсомъ земляной призмы.

При опредѣленіи временной нагрузки, эквивалентной вѣсу паровоза, слѣдуетъ предположить, что вѣсъ паровоза распредѣляется равномѣрно на четыреугольникъ, стороны коего равняются длинѣ шпалъ: 1,25 с. и разстоянію между крайними осями паровоза: 3,9 м. = 1,83 с., при чемъ оба размѣра должны быть увеличены на $2 \times 0{,}22$ с. $= 0{,}44$, допуская, что въ предѣлахъ балластнаго слоя давленіе передается подъ угломъ въ 45°. При такихъ условіяхъ, высота земляного столба, эквивалентная вѣсу 4-хъ-оснаго паровоза въ 60 тоннъ:

$$h' = \frac{60 \times 61}{1{,}69 \times 2{,}27 \times 1.000} = 0{,}9 \text{ с.}$$

Если допустить, что въ предѣлахъ балласта давленіе передается подъ угломъ, *tang.* котораго равняется $^1/_2$, то:

$$h' = \frac{60 \times 61}{1{,}47 \times 2{,}05 \times 1.000} = 1{,}20 \text{ с.}$$

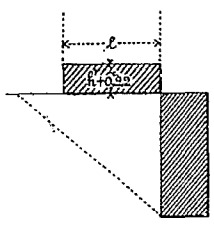


Рис. 514.

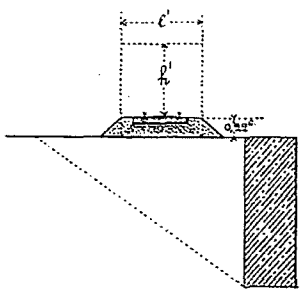


Рис. 515.

Если (рис. 514) ось пути расположена нормально относительно стѣнки, то подвижная нагрузка высотою $h' + 0{,}22$ с. $= 0{,}9$ с. $+ 0{,}22$ с., занимаетъ длину l, равную 2,27 с. или подвижная нагрузка высотою: $h' + 0{,}22$ с. $= 1{,}20$ с. $+ 0{,}22$ с. занимаетъ длину: $l = 2{,}05$ с. Затѣмъ слѣдовало бы оставить промежутокъ, отвѣчающій разстоянію между передними осями двухъ паровозовъ и далѣе расположить на длину l таковую же нагрузку высотою $h' + 0{,}22$ с., но обыкновенно для простоты и для запаса предполагаютъ, что подвижная нагрузка $h' + 0{,}22$ с. покрываетъ всю призму обрушенія.

Если ось пути расположена параллельно стѣнѣ (рис. 515), напримѣръ, въ набережныхъ, при подпорныхъ стѣнкахъ и проч., то подвижная нагрузка высотою $h' + 0{,}22$ с. занимаетъ ширину:

$$l' = 1{,}69 \text{ с., при } h' + 0{,}22 \text{ с.} = 0{,}90 \text{ с.} + 0{,}22 \text{ с.,}$$

или:

$$l' = 1{,}47 \text{ с., при } h' + 0{,}22 \text{ с.} = 1{,}20 \text{ с.} + 0{,}22 \text{ с.}$$

Разстояніе ея отъ стѣнки опредѣляется въ зависимости отъ разстоянія оси пути отъ стѣнки.

**) При задней наклонной грани распоръ будетъ дѣйствовать по направленію, нормальному къ задней грани, но не горизонтально, какъ мы предполагаемъ. Это послѣднее предположеніе, очевидно, въ пользу прочности.

[см. формулу (131), а также выраженіе наибольшаго распора, приведеннаго на стр. 188].

Плечо давленія земли, т. е. разстояніе точки приложенія распора отъ основанія стѣны, опредѣлится въ данномъ случаѣ по формулѣ (132). Найдемъ то же выраженіе другимъ путемъ, опредѣливъ предварительно разстояніе точки приложенія распора отъ верхняго ребра стѣнки.

Чтобы найти e' — разстояніе точки приложенія отъ верхняго ребра, замѣчаемъ, что:

$$dE = \psi\,(2\gamma h + 2v)\,dh,$$

слѣдовательно:

$$E\,.\,e' = \psi \int_0^h (2\gamma h^2 + 2vh)\,.\,dh = \psi\left(\frac{2\gamma h^3}{3} + \frac{2vh^2}{2}\right).$$

Слѣдовательно:

$$e' = \frac{2\gamma h^2 + 3vh}{3\gamma h + 6v}.$$

А разстояніе отъ нижняго ребра:

$$e = h - e' = \frac{\gamma h^2 + 3vh}{3\gamma h + 6v} = \frac{h}{3}\cdot\frac{\gamma h + 3v}{\gamma h + 2v} = \frac{h}{3}\cdot\frac{h + 3h'}{h + 2h'}. \quad . \quad . \quad (165)$$

[см. формулу (132)].

Формула (165) показываетъ, между прочимъ, что, если $h' = 0$, то $e = \frac{h}{3}$. Если $h' = \infty$, то, написавъ (165) подъ видомъ:

$$e = \frac{h}{3}\cdot\frac{\frac{h}{h'} + 3}{\frac{h}{h'} + 2};$$

и полагая $h' = \infty$:

$$e = \frac{h}{3}\cdot\frac{3}{2} = \frac{h}{2},$$

т. е. точка приложенія распора измѣняетъ свое положеніе въ предѣлахъ отъ $\frac{h}{3}$ до $\frac{h}{2}$ въ то время, какъ h' измѣнится отъ 0 до ∞.

Имѣя выраженія распора E и плеча e, можно уже написать условія устойчивости. Такимъ образомъ *по первому пріему* (рис. 516), если моментъ вѣса устоя на погонную единицу относительно наружнаго ребра $P\,.\,p$, то должно быть: $P\,.\,p > E\,.\,e$ и $Pf > E$, гдѣ f — коэффиціентъ трепія, равный 0,65 для сухихъ грунтовъ и 0,3 для сырыхъ грунтовъ; P — вѣсъ всего устоя, при чемъ довольствуются коэффиціентомъ устойчивости въ 1,5 — 2,0. Кромѣ того, необходимо провѣрить устоіічивость отиосительно скольженія и вращенія въ нѣсколькихъ промежуточныхъ сѣченіяхъ. Если, напримѣръ, взять сѣченіе на разстояніи h_x отъ верхняго ребра, то, подобно предыдущему, можно найти значенія E_x и e_x. Если P_x—вѣсъ кладки, отвѣчающей высотѣ h_x, то при кладкѣ горизонтальными рядами, если f' — коэффиціентъ трепія камня по камню:

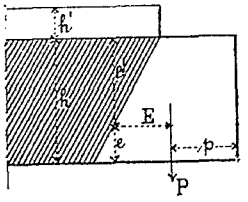


Рис. 516.

$$E_x < P_x\,.\,f'.$$

Если взять въ расчетъ сопротивленіе сцѣпленія раствора съ камнемъ и обозна-

чить черезъ ξ прочное сопротивленіе срѣзыванію кладки въ плоскости соприкасанія раствора съ камнемъ и черезъ F_x — площадь сѣченія, то должно быть:

$$E_x < F_x \cdot \xi.$$

Съ другой стороны, если R'' — сопротивленіе срѣзыванію камня, а R''' — сопротивленіе срѣзыванію раствора, то должно быть, кромѣ того:

$$E_x < F_x \cdot R'' \quad \text{и} \quad E_x < F_x \cdot R'''.$$

Затѣмъ, если p_x — разстояніе равнодѣйствующей вѣса отъ наружнаго ребра, d_x — толщина устоя, ξ' — прочное сопротивленіе кладки разрыву, то:

$$E_x \cdot e_x < P_x \cdot p_x \quad \text{или} \quad E_x \cdot e_x < P_x \cdot p_x + \xi' \cdot \frac{d_x^2}{3},$$

если допустить, что сопротивленіе кладки разрыву будетъ измѣняться по закону треугольника (рис. 516′), т. е. что у внутренняго ребра (со стороны давленія земли) кладка сопротивляется разрыву по всей ширинѣ устоя, а у наружнаго ребра сопротивленіе разрыву обращается въ нуль; такимъ образомъ на единицу ширины устоя площадь его поперечнаго сѣченія, сопротивляющаяся разрыву, выразится площадью △-ка, т. е. равна:

$$\frac{1}{2} \cdot d_x \cdot 1 = \frac{d_x}{2};$$

моментъ же сопротивленія кладки разрыву (относительно наружнаго ребра):

$$\xi' \cdot \frac{d_x}{2} \cdot \frac{2}{3} d_x = \xi' \frac{d_x^2}{3}.$$

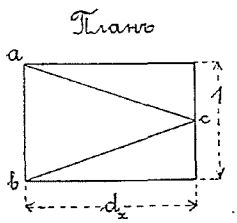


Рис. 516′.

Въ типѣ устоевъ въ видѣ сплошныхъ столбовъ — провѣрка распространяется на всю массу устоя.

Въ устояхъ съ обратными стѣнками по приведеннымъ формуламъ слѣдуетъ провѣрить переднюю стѣнку, или, что тоже, толщину обратной стѣнки въ плоскости сопряженія ея съ переднею гранью. (Въ устояхъ для подкосныхъ или арочныхъ мостовъ, очевидно, толщины передней стѣнки и обратной въ плоскости напряженія могутъ быть и не одинаковы). Всѣ остальныя сѣченія боковой стѣнки будутъ подвергаться сверхъ того дѣйствію распора конуса; поэтому для этихъ сѣченій моментъ $E \cdot e$ потребуется уменьшить на величину момента распора конуса $E_1 \cdot e_1$, руководствуясь формулой (155). Если разстояніе между обратными стѣнками не велико, отъ 0,75 с. до 1,00 с., то, въ виду того, что онѣ связаны съ передней стѣнкой, можно для этой послѣдней, при абсолютно-твердомъ основаніи, уменьшить коэффиціентъ устойчивости до 1,4—1,5, или же, считая обратныя стѣнки и переднюю стѣнку какъ одно цѣлое, сохранить коэффиціентъ устойчивости отъ 1,7 до 2,00. Если же разстояніе между стѣнками болѣе указанныхъ предѣловъ, то коэффиціенту отъ 1,7—2,00 должна удовлетворять одна передняя стѣнка.

Въ устояхъ съ откосными крыльями по этой формулѣ повѣряютъ переднюю стѣнку устоя и крыло въ сѣченіи сопряженія со стѣнкой. Остальная часть крыла подвергнута только давленію откоса насыпи, и размѣры выходятъ незначительными; наименьшій размѣръ въ концѣ и вверху для возможности помѣщенія парапета 0,35 с. — 0,40 с. Для опредѣленія наибольшаго распора на погонную единицу

откосныхъ крыльевъ профессоромъ Гезелеромъ *) предложена формула:

$$Q = \gamma \frac{h^2}{2} \cdot \frac{\sqrt{1 + tang^2 \varphi}}{\left(\sqrt{1 + tang^2 \varphi} + \sqrt{2\, tang\, \varphi\, (tang\, \varphi + tang\, \alpha)}\right)^2}, \quad . \quad (166)$$

гдѣ:

$$tang\, \alpha = tang\, E \frac{sin\, 2\, (E - \varphi)}{2\, cos^2 \alpha}; \quad tang\, E = \frac{1}{sin\, \varphi} \sqrt{\frac{1}{1 - sin\, \varphi - cotang\, \varphi}};$$

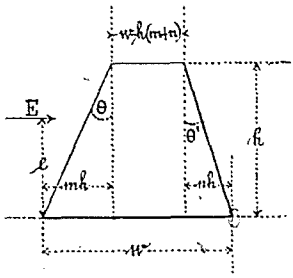


Рис. 517

h — высота крыла; φ — уголъ естественнаго откоса; γ — вѣсъ кубической единицы земли.

Согласно *второму пріему*—елѣдуетъ расчитать необходимую толщину по̀ низу стѣнки сплошного трапецоидальнаго устоя (рис. 517). Если: $m = tang\, 0$; $n = tang\, 0'$; δ — вѣсъ кубической единицы кладки, то, назвавъ толщину нижняго основанія чрезъ w, а верхняго—чрезъ: $w - mh - nh$, разбивъ затѣмъ трапецію на прямоугольникъ и треугольники и взявъ моментъ относительно передняго ребра, получимъ для мгновеннаго равновѣсія:

$$E \,.\, e = \delta \left\{ \frac{nh^2}{2} \cdot \frac{2}{3} nh + [w - h\,(m + n)]\, h \left[nh + \frac{w - h\,(m + n)}{2} \right] + \right.$$

$$\left. + \frac{mh^2}{2} \left(w - \frac{2mh}{3} \right) \right\} = \delta \left(- \frac{n^2 h^3}{6} + \frac{w^2 h}{2} - \frac{wmh^2}{2} + \frac{h^3 m^2}{6} \right),$$

откуда:

$$w^2 - wmh = \frac{E \,.\, e \,.\, 2}{\delta h} + \frac{n^2 h^2}{3} - \frac{h^2 m^2}{3};$$

$$w = \frac{mh}{2} \pm \sqrt{\frac{m^2 h^2}{4} + \frac{E \,.\, e \,.\, 2}{\delta h} + \frac{n^2 h^2}{3} - \frac{m^2 h^2}{3}} = \frac{mh}{2} +$$

$$+ h \sqrt{\frac{E \,.\, e \,.\, 2}{\delta h^3} + \frac{n^2}{3} - \frac{m^2}{12}}. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (167)$$

Если подвижной нагрузки не имѣется, то:

$$E \,.\, e = \gamma \,.\, tang^2 \left(45° - \frac{\varphi}{2} \right) \frac{h^2}{2} \cdot \frac{h}{3} = \frac{\gamma h^3}{6} \,.\, tang^2 \left(45° - \frac{\varphi}{2} \right)$$

и

$$w = \frac{mh}{2} + h \sqrt{\frac{\gamma \,.\, tang^2 \left(45° - \frac{\varphi}{2} \right)}{3\delta} + \frac{n^2}{3} - \frac{m^2}{12}} \quad . \quad . \quad . \quad (168)$$

Если на насыпи имѣется еще подвижная нагрузка высотою: $h' = \frac{v}{\gamma}$, то вмѣсто:

$$E \,.\, e = \frac{\gamma h^3}{6} \,.\, tang^2 \left(45° - \frac{\varphi}{2} \right)$$

*) Civilingenieur 1878 г. Heft. 4, 5.

слѣдуетъ поставить:

$$E\,.\,e = \frac{1}{2}\,tang^2\left(45° - \frac{\varphi}{2}\right).(\gamma h^2 + 2hv)\,.\,\frac{(\gamma h^2 + 3vh)}{3\gamma h + 6v} =$$

$$= tang^2\left(45° - \frac{\varphi}{2}\right)\cdot\frac{h^2}{6}\,(\gamma h + 3v)\ *).$$

Выводъ формулъ понятенъ изъ предыдущаго, если толщина по̀ верху зарапѣе задана.

Если лицевая грань вертикальна (рис. 518), т. е.: $n = 0$, то:

$$w = \frac{mh}{2} + h\sqrt{\frac{2E\,.\,e}{\delta h^3} - \frac{m^2}{12}} \quad . \quad . \quad (169)$$

Если задняя грань, со стороны напора земли, вертикальна (рис. 519), то: $m = 0$ и

$$w = h\sqrt{\frac{2E\,.\,e}{\delta h^3} + \frac{n^2}{3}} \quad . \quad . \quad . \quad (170)$$

Если обѣ грани вертикальны (рис. 520), т. е.: $m = 0$ и $n = 0$, то:

$$w = h\sqrt{\frac{2E\,.\,e}{\delta h^3}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (171)$$

Если, наконецъ, задняя грань устоя, обращенная къ напору, имѣетъ уклонъ противоположнаго знака (рис. 521), т. е. m — величина отрицательная, то:

$$w = -\frac{mh}{2} + h\sqrt{\frac{2E\,.\,e}{\delta h^3} + \frac{n^2}{3} - \frac{m^2}{12}} \quad . \quad . \quad . \quad (172)$$

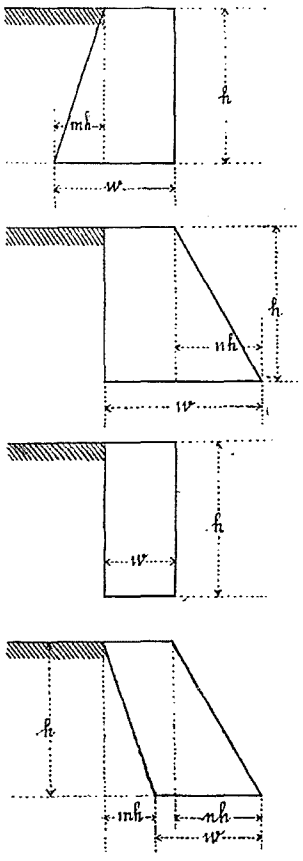


Рис. 518—521.

Какъ здѣсь, такъ и въ елѣдующихъ случаяхъ, *вмѣсто* $E\,.\,e$ *слѣдуетъ взять* $\alpha\,E\,.\,e$, гдѣ α — коэффиціентъ устойчивости: 1,7 — 2,00; кромѣ того вездѣ $E\,.\,e$ имѣетъ различное значеніе.

б) Разсмотримъ еще случай, когда передняя грань вертикальна, осиованіе устоя углублено въ грунтъ на h'', насыпь возвышается надъ верхнимъ ребромъ и временной нагрузки не имѣется (рис. 522).

Если: h — полная высота отъ основанія устоя; h_1 — высота насыпи надъ верхиимъ ребромъ устоя; h_{II} — углубленіе въ грунтѣ, то:

$$E = \gamma_1\psi\,(h^2 - h_1{}^2); \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (173)$$

$$dE = \gamma\psi\,.\,2\,hdh; \quad E\,.\,e' = \gamma\psi\int_{h_1}^{h} 2h^2\,.\,dh = \gamma\psi\,\frac{2}{3}\,(h^3 - h_1{}^3);$$

*) У Dubosque. Murs de soutenement. Стран.: 9, 15 и 16, повидимому ошибочно показано: $E\,.\,e = M_0 = \frac{h^2}{6}\,tang^2\left(45° - \frac{\varphi}{2}\right).(\gamma h + 2v)$, а именно: плечо опрокидывающаго момента принято: $e = \frac{h}{3}$, а должно быть: $e = \frac{\gamma h^2 + 3vh}{3\gamma h + 6v}$.

$$c' = \frac{2(h^3 - h_1^3)}{3(h^2 - h_1^2)}; \quad e = h - e' = \frac{h^3 - 3hh_1^2 + 2h_1^3}{3(h^2 - h_1^2)}; \quad . \quad . \quad (174)$$

$$E_1 = \gamma\psi h_{II}^2; \quad c_1 = \frac{h_{II}}{3}.$$

Устой, размѣры коего назначены на основаніи эмпирическихъ данныхъ (первый пріемъ), долженъ быть провѣренъ относительно опрокидывающаго момента:

$$M = E \,.\, e - E_1 \,.\, e_1.$$

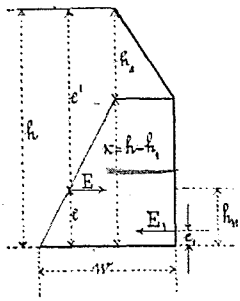


Рис. 522.

По второму пріему, желая опредѣлить расчетомъ толщину по-низу w, имѣемъ:

$$\delta \,.\, \frac{(w - mk)^2}{2} k + \frac{\delta m k^2}{2}\left(w - \frac{2}{3}mk\right) = E \,.\, e - E_1 \,.\, e_1,$$

откуда:

$$w = \frac{mk}{2} + \sqrt{\frac{2}{\delta k}(E \,.\, e - E_1 \,.\, e_1) - \frac{m^2 \,.\, k^2}{12}}; \quad . \quad . \quad (175)$$

при $m = 0$:

$$w = \sqrt{\frac{2}{\delta k}(E \,.\, e - E_1 \,.\, e_1)}. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (176)$$

Если имѣется еще временная нагрузка, то согласно изложенному ранѣе, значеніе $E \,.\, e$ должно быть измѣнено.

Въ вышеприведенныхъ формулахъ (175) и (176) вмѣсто

$$E_1 = \gamma\psi h_{II}^2 = \frac{\gamma}{2} tg^2\left(45 - \frac{\varphi}{2}\right) h_{II}^2,$$

правильнѣе взять (Ott. Baumech. стр. 93) значеніе E_1 отвѣчающее не *max.*, а *min.* отпора. Въ этомъ случаѣ (см. стр. 189 наст. курса):

$$\psi = \frac{1}{2} tg^2\left(45 + \frac{\varphi}{2}\right) = \frac{\sqrt{1 + f^2} + f}{2}.$$

Равнымъ образомъ когда въ данномъ же случаѣ повѣряется устойчивость опоры относительно скольженія въ плоскости основанія, то $E > Pf + E_1$, гдѣ P—вѣсъ опоры, E — наибольшій распоръ:

$$E = \frac{\gamma}{2} tg^2\left(45 - \frac{\varphi}{2}\right)(h^2 - h_1^2);$$

E_1—наименьшій распоръ:

$$E_1 = \frac{\gamma}{2} tg^2\left(45 + \frac{\varphi}{2}\right) h_0^2 = \frac{\gamma}{2}(\sqrt{1 + f^2} + f) h_{II}^2.$$

При сырыхъ грунтахъ $f = 0{,}3$; при плотныхъ сухихъ $f = 0{,}65$. Если напр. задаться коэффиціентомъ устойчивости 2, то для равновѣсія должно быть:

$$2E = Pf + E_1 = Pf + \frac{\gamma}{2} h_{II}^2 (\sqrt{1 + f^2} + f). \quad . \quad . \quad . \quad (176')$$

Изъ послѣдней формулы можетъ быть найдена необходимая глубина заложенія h_{II} устоя, удовлетворяющая условію устойчивости относительно скольженія.

Если верхняя засыпка возвышается надъ кордономъ подъ угломъ 33° къ горизонту, то для трапецоидальной профили съ задней вертикальной гранью и

съ передней подъ уклономъ $\frac{1}{10}$, Ott *) даетъ слѣдующую таблицу значеній толщины b стѣнки въ основаніи, и углубленія $h_{//}$ въ грунтъ въ функціи, высоты опоры $k = h - h_1$ для различныхъ $\frac{h_1}{k}$, при $f = 0{,}3$, $f = 0{,}4$, $f = 0{,}5$ и $f = 0{,}6$.

$\frac{h_1}{k}$	$\frac{b}{k}$	$\frac{h_0}{k}$ для			
		$f = 0{,}3$	$f = 0{,}4$	$f = 0{,}5$	$f = 0{,}6$
0,0 —	0,272 —	0,297 —	0,170		
0,1 —	0,313 —	0,340 —	0,196		
0,3 —	0,377 —	0,420 —	0,260		
0,5 —	0,431 —	0,490 —	0,320 —	0,133	
0,7 —	0,462 —	0,538 —	0,393 —	0,214	
0,9 —	0,493 —	0,588 —	0,423 —	0,275	
1,0 —	0,501 —	0,585 —	0,442 —	0,286 —	0,079
2 —	0,564 —	0,684 —	0,520 —	0,353 —	0,136
3 —	0,589 —	0,773 —	0,605 —	0,443 —	0,252
4 —	0,601 —	0,797 —	0,626 —	0,463 —	0,285
5 —	0,610 —	0,822 —	0,649 —	0,485 —	0,307
∞ —	0,643 —	0,911 —	0,745 —	0,549 —	0,460

в) Если стѣнка ограничена сзади кривой или ломанной поверхностью, то для каждаго участка опредѣляется соотвѣтственный распоръ и затѣмъ берется равнодѣйствующая. Такъ, напр. если верхняя часть стѣнки на высотѣ h вертикальна, а нижняя высотою h' имѣетъ уклонъ, составляя съ горизонталью внѣшній острый уголъ, то давленіе на верхнюю стѣнку опредѣлится по формуламъ, относящимся къ случаямъ съ задней вертикальной стѣнкой: (129) или (129″) и т. д., полагая $H = h$. Давленіе на нижнюю часть стѣнки опредѣляется по формуламъ (158) или по болѣе точнымъ формуламъ: (129′), (143′), (154′) и т. д., полагая $H = h + h$, и $H = h$ и вычитая одинъ результатъ изъ другого.

Пусть высота устоя 7 с., при чемъ верхняя часть на высоту $h = 4$ с. вертикальна, а нижняя — высотою $h' = 3$ составляетъ съ горизонтомъ уголъ $\psi = 45°$. Кромѣ того предположимъ, что на насыпи высотою равною высотѣ стѣнки имѣется равномѣрная нагрузка, отвѣчающая слою земли, высотою $h_0 = 0{,}9$ с.

Тогда на основаніи формулы (131), давленіе на вертикальную часть стѣнки высотою $h = 4$ с.:

$$max.\ Q = \frac{d}{2} tg^2 \left(45 - \frac{\varphi}{2}\right) h (h + 2h_0).$$

Слѣдов., если $d = 1000$ пуд.; $\varphi = 30°$, то:

$$max.\ Q = \frac{1000}{2} \times \overline{0{,}577}^2\ 4\ (4 + 2 \times 0{,}9) = 3867 \text{ пуд.}$$

На основаніи форм. (132):

$$q = \frac{h}{3} \cdot \frac{h + 3h_0}{h + 2h_0} = \frac{4}{3} \times \frac{4 + 3 \times 0{,}9}{4 + 2 \times 0{,}9} = 1{,}54 \text{ с.}$$

Давленіе на нижнюю часть стѣнки, на основаніи формулы (158):

$$Q_s = Q\,[1 - tg\,Q \,.\, tg\,\varphi] = Q\,[1 - tg\,(90 - 75)\ tg\ 30] = Q\,(1 - tg\,15° \times tg\,30) =$$
$$= Q\,(1 - 0{,}268 \times 0{,}577) = 0{,}845\ Q.$$

*) Ott. Baumechanik. Стр. 96.

На основаніи (173):

$$Q = \frac{1000}{2} tg^2\left(45 - \frac{\varphi}{2}\right)[(h' + h + h_0)^2 - (h + h_0)^2] =$$

$$= \frac{1000}{2} \times 0{,}333\,(62{,}41 - 24{,}01) = 6401 \text{ пуд.}$$

Слѣдов. $$Q_s = 0{,}845 \times 6401 = 5408 \text{ пуд.}$$

На основаніи (174):

$$q = \frac{\overline{7{,}9}^3 - 3 \times 7{,}9 \times \overline{4{,}9}^2 + 3 \times \overline{4{,}9}^3}{3\,(\overline{7{,}9}^2 - \overline{4{,}9}^2)} = 1{,}38 \text{ с.}$$

Слѣдовательно, общій распоръ:

$$[Q] = 3867 + 5408 = 9275 \text{ пуд.}$$

Опрокидывающій моментъ:

$$M = 3867\,(1{,}54 + 3) + 5408 \times 1{,}38 = 25019 \text{ п. с.}$$

Плечо общаго распора:

$$q = \frac{25.019}{9275} = 2{,}69 \text{ с.}$$

Рѣшая ту же задачу, пользуясь формулою Ott'a, т. е. принимая въ расчетъ треніе о заднюю стѣнку и предполагая, что слой земли $h_0 = 0{,}9$ с., представляющей нагрузку, срѣзанъ выше карниза подъ угломъ естественнаго откоса, получимъ для нормальнаго давленія въ верхней части стѣнки—на основаніи формулы (143″):

$$max.\ Q = \frac{d\,(h + h_0)^2}{2} \frac{\sin\varphi\cos\varphi}{\cos 2\varphi}\left[\sqrt{cotg\,\varphi + tg\,2\varphi} - \sqrt{\left(\frac{h_0}{h + h_0}\right)^2 cotg\,\varphi + tg\,2\varphi}\right]^2 =$$

$$= \frac{1000 \times \overline{4{,}9}^2}{2} \times \frac{0{,}50 \times 0{,}866}{0{,}50}\left[\sqrt{1{,}73 + 1{,}73} - \sqrt{\left(\frac{0{,}9}{4{,}9}\right)^2 1{,}93 + 1{,}73}\right]^2 =$$

$$= 10392 \times \overline{0{,}52}^2 = 2806 \text{ пуд.}$$

Если не принимать въ расчетъ трения, то нормальное давленіе, равное полному давленію:

$$max.\ Q = \frac{2806}{\cos\varphi} = \frac{2806}{0{,}866} = 3356 \text{ пуд.,}$$

что должно отвѣчать формулѣ (141), въ которой на основаніи (142):

$$tg\,\alpha = -\,tg\,30° + \sqrt{(1 + tg^2 30°)\left(1 + \frac{h_0^2}{(h + h_0)^2\,tg^2\,\varphi}\right)} =$$

$$= -\,tg\,30° + sec\,30°\sqrt{1 + \left(\frac{0{,}9}{4{,}9}\right)^2 \frac{1}{tg^2 30°}} =$$

$$= -\,0{,}577 + \frac{1}{0{,}866}\sqrt{1 + \frac{0{,}033}{0{,}333}} = 0{,}635;$$

$$\alpha = 32°\,21'.$$

Слѣдов.

$$max.\ Q = \frac{d\,(h + h_0)^2\,tg\,\alpha - \dfrac{h_0^2 d}{tg\,\varphi}}{2\,tg\,(\alpha + \varphi)} =$$

$$= \frac{1000 \times \overline{4{,}9}^2 \times 0{,}635 - \dfrac{0{,}81 \times 1000}{0{,}577}}{2 \times 1{,}91} = 3623 \text{ пуд.}$$

Давленіе на нижнюю часть стѣнки найдется по Ott'y на основаніи формулы (143'):

$$max.\ Q = \frac{d}{2}\,\frac{(h' + h + h_0)^2\ sin\varphi\ cos\varphi}{sin\,\sigma}\left[\sqrt{cotg\,\varphi - cotg\,\sigma} - \sqrt{k - cotg\,\sigma}\right]^2,$$

гдѣ $$\sigma = \psi + 2\varphi = 75° + 60° = 135°;$$

$$k = cotg\,75° + \left(\frac{4{,}9}{7{,}9}\right)^2 (cotg\,30 - cotg\,75°) = 0{,}268 + 0{,}38\,(1{,}73 - 0{,}268) = 0{,}823.$$

Слѣдовательно

$$max.\ Q = \frac{1000}{2} \times \frac{0{,}5 \times 0{,}866}{0{,}707}\ 62{,}41\ \left[\sqrt{1{,}73 + 1} - \sqrt{0{,}823 + 1}\right]^2 =$$

$$= 306 \times 62{,}41 \times 0{,}31 = 5921\ \text{пуд.}$$

Если не принимать въ расчетъ тренія, то нормальное давленіе, равное полному давленію:

$$max.\ Q = \frac{5921}{cos\,\varphi} = \frac{5921}{0{,}866} = 6837\ \text{пуд.}$$

Во всѣхъ вышеприведенныхъ случаяхъ предполагалось, что устой не имѣетъ подводной части. Въ послѣднемъ случаѣ вѣсъ устоя уменьшится на величину, равную вѣсу вытѣсненной воды, а потому сопротивляющійся моментъ устоя будетъ менѣе, чѣмъ въ томъ случаѣ, еслибы ие было подводной части. Въ виду этого, необходимо вводить въ расчетъ указанное вліяніе воды. Такъ, напримѣръ, въ послѣднемъ примѣрѣ, если U — давленіе воды на подошву основанія, u — разстояніе этого давленія отъ передней части грани, то:

$$\delta k\left(\frac{w - mk}{2}\right)^2 + \frac{\delta m k^2}{2}\left(w - \frac{2}{3}\,mk\right) = E\,.\,e - E_1\,.\,e + U\,.\,u;$$

$$w = \frac{mk}{2} + \sqrt{\frac{2}{\delta k}\,(E\,.\,e - E_1\,.\,e_1 + U\,.\,u) - \frac{m^2k^2}{12}}$$

и т. д.

Выведенныя выше формулы: (167), (169), (170), (171), (172), (175), (176) и т. д. дадутъ значеніе толщины по-низу при заданныхъ m и n, удовлетворяющее коэффиціенту устойчивости 1 или α, смотря по тому, возьмемъ ли мы подъ радикаломъ $E\,.\,e$ или $\alpha E\,.\,e$. Необходимо еще убѣдиться, насколько эти размѣры удовлетворяютъ условіямъ прочности основанія.

Провѣрка заданныхъ или опредѣленныхъ расчетомъ размѣровъ устоевъ балочныхъ фермъ относительно условій прочности. Опредѣленная эмпирически вышеуказаннымъ пріемомъ толщина основанія устоевъ должна быть во всякомъ случаѣ такова, чтобы равнодѣйствующая давленія земли, вѣса устоя и половины вѣса постоянной и временной нагрузки пролетной части проходила въ средней трети основанія устоя и чтобы наибольшее давленіе на квадратную единицу основанія, вслѣдствіе неравномѣрности ежатія, не превосходило допускаемаго напряженія.

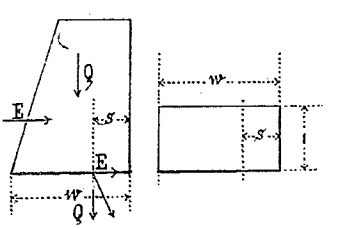


Рис. 523.

Если (рис. 523) разстояніе точки приложенія равиодѣйствующей отъ передняго ребра — s, толщина устоя въ основаніи — w, ширина—1, вертикальная составляющая нагрузки—Q, то при $s \geqslant \frac{w}{3}$ наиболь-

шее напряженіе на квадратную единицу основанія при прямоугольномъ сѣченіи:

$$p = \frac{Q}{w} + Q\left(\frac{w}{2} - s\right)\cdot\frac{6}{w^2} = \frac{4Q}{w}\left(1 - \frac{3}{2}\cdot\frac{s}{w}\right); \quad . \quad . \quad . \quad (177)$$

при $s \leqslant \frac{w}{3}$:

$$p = \frac{Q}{3s} + Q\,\frac{s}{2}\cdot\frac{6}{9s^2} = \frac{2Q}{3s} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (178)$$

Отсюда вытекаетъ, что, если желаемъ, чтобы вся нижняя площадь опоры принимала участіе въ передачѣ давленія на грунтъ и чтобы въ промежуточныхъ сѣченіяхъ матеріалъ нигдѣ не работалъ на растяженіе, то профиль устоя слѣдуетъ такъ проектировать, чтобы кривая давленія никогда не выходила изъ средней трети. Ограничиваясь этимъ условіемъ относительно основанія, замѣчаемъ, что, въ крайнемъ случаѣ, если: $s = \frac{w}{3}$, то $p = \frac{2Q}{w}$ — вдвое болѣе напряженія при равномѣрномъ сжатіи, а при $s < \frac{w}{3}$, $p = \frac{2Q}{3s}$, т. е. часть площади $(w - 3s)$ 1 не участвуетъ въ передачѣ давленія, при чемъ p можетъ оказаться или болѣе, или менѣе допускаемаго напряженія R.

Вмѣсто того, чтобы опредѣлять размѣры изъ условій устойчивости и затѣмъ повѣрять прочность, можно поступить обратно, т. е. найти профиль, удовлетворяющую тому условію, чтобы наибольшее давленіе на грунтъ не превосходило извѣстнаго напряженія, и затѣмъ опредѣлять коэффиціентъ устойчивости.

Leygue *) предлагаетъ средній пріемъ — опредѣлять профиль изъ условія, чтобы равнодѣйствующая пересѣкала основаніе на разстояніи: $s = \frac{w}{3}$, при чемъ утилизируется вся площадь основанія и достигается напряженіе, значительно отличающееся отъ временнаго сопротивленія при достаточномъ коэффиціентѣ устойчивости. Сравнивъ при этихъ условіяхъ нѣсколько типовъ подпорныхъ стѣнокъ, Leygue пришелъ къ выводу, что, если въ трапецоидальномъ сѣченіи (рис. 524) α и β — углы, составляемые задней и передней гранями съ вертикалью, ω — уголъ, составленный вертикалью съ діагональю, проведенной отъ нижней наружной грани къ верхней — задней грани, и при условіи, что центръ давленія приходится на разстояніи $\frac{1}{3}$ отъ наружнаго ребра, то значенія различныхъ коэффиціентовъ въ 11-ти нижеслѣдующихъ типахъ представляется въ такомъ видѣ: (См. табл. на стр. 669).

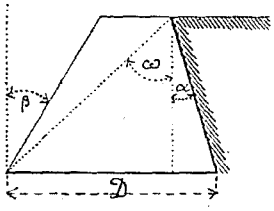
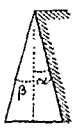
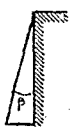
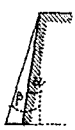
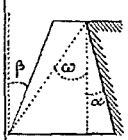
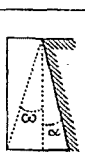
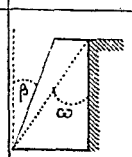
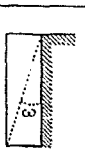
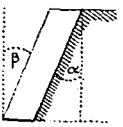
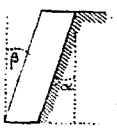


Рис. 524.

Изъ разсмотрѣнія этой таблицы слѣдуетъ, что, въ зависимости отъ типовъ, условію: $s = \frac{w}{3}$ соотвѣтствуетъ коэффиціентъ устойчивости отъ 1,142 до 3,573 (что, между прочимъ, указываетъ на недостаточность довольствоваться одной повѣркой на прочность). Для типовъ 4, 6 и 7 отношеніе e толщины по низу D къ высотѣ h при уклонѣ засыпки, равномъ нулю, измѣняется отъ 0,434, 0,288 до 0,312 при коэффиціентахъ устойчивости: 2,483, 1,903 и 2,514, въ среднемъ $e = 0{,}345$ при коэффиціентѣ устойчивости: 2,3. Не рѣдко: $e = \frac{D}{h} = 0{,}33$, чему слѣдовательно отвѣчаетъ коэффиціентъ устойчивости 2,3. Если довольствоваться коэффиціентами устойчивости между 2 и 3, то типы №№ 4—7 въ отношеніи эко-

*) Leygue. Pousseé des terres. Annales des ponts et chaussées. 1885 г. P. 906.

№№ по порядку.	ТИПЫ.	Уклонъ задней грани *tang* α.	Уклонъ засыпки.	*tang* ω.	Уклонъ передн. грани *tang* β.	Значенія коэффиціентовъ, входящихъ въ составъ формулъ, указанныхъ въ примѣчаніи. Отношеніе *e* толщины по низу къ высотѣ.	Отношеніе *k* боковой поверхности къ квадрату высоты.	Коэффиціентъ устойчивости.	Напряженіе относительно скольженія *r'*.	Напряженіе наиболѣе сжатаго ребра *r*.	Примѣчанія.
1		$\frac{1}{5}$	0	0,234	*tang* β = = *tang* ω	0,434	0,217	2,352	0,829	1,326	Толщина по низу: $D = e.h.$
			$\frac{2}{3}$	0,329	„	0,529	0,264	2,142	0,716	1,544	Боковая поверхность на 1 пог. мет.: $S = k.h^2.$
2		0	0	0,312	*tang* β = = *tang* ω	0,312	0,156	1,838	0,759	1,237	Сопротивл. скольженію на кв. ед. основанія: $R' = r'.f.\delta.h,$
			$\frac{2}{3}$	0,431	„	0,431	0,215	1,799	0,661	1,338	
3.		$\frac{1}{5}$	0	0,402	*tang* β = = *tang* ω	0,202	0,101	1,449	0,669	1,177	гдѣ f — коэффиціентъ треніе; δ — вѣсъ куб. ед.
			$\frac{2}{3}$	0,506	„	0,306	0,153	1,500	0,601	1,215	
3. bis		$\frac{1}{3}$	0	0,472	*tang* β = = *tang* ω	0,141	0,071	1,286	0,588	1,136	Напряженіе наиболѣе сжат. ребра: $R = r.\delta.h.$
			$\frac{2}{3}$	0,572	„	0,239	0,119	1,368	0,569	1,144	
4.		$\frac{1}{5}$	0	0,234	*tang* β < < *tang* ω, причемъ: *tang* β = $= \frac{1}{5}$	0,434	0,234	2,483	0,633	1,413	Въ своихъ разсчетахъ Leygue принималъ треніе между засыпкой и кладкой устоя, оцѣнивая коэффиціентъ треніе равнымъ tang угла наклоненія естественнаго откоса.
			$\frac{2}{3}$	0,329		0,529	0,329	2,318	0,767	1,788	
5.		$\frac{1}{5}$	0	0,294	*tang* β = 0	0,494	0,394	3,573	0,469	1,864	
			$\frac{2}{3}$	0,380	„	0,580	0,480	2,954	0,615	2,151	
6.		0	0	0,288	*tang* β < < *tang* ω, причемъ: *tang* β = $= \frac{1}{5}$	0,288	0,188	1,903	0,521	1,565	
			$\frac{2}{3}$	0,396		0,396	0,296	1,937	0,565	1,864	
7.		0	0	0,312	*tang* β = 0	0,312	0,312	2,514	1,435	2,237	
			$\frac{2}{3}$	0,431	„	0,431	0,431	2,397	1,230	2,338	

№№ по порядку.	ТИПЫ.	Уклонъ задней грани $tang\ \alpha$.	Уклонъ засыпки.	$tang\ \omega$.	Уклонъ передн. грани $tang\ \beta$.	Значенія коэффиціентовъ, входящихъ въ составъ формулъ, указанныхъ въ примѣчаніи. Отношеніе l толщины по низу къ высотѣ.	Отношеніе s боковой поверхности къ квадрату высоты.	Коэффиціентъ устойчивости.	Напряженіе относительно скольженія r'.	Напряженіе наиболѣе сжатаго ребра r.	Примѣчанія.
8		$\frac{1}{5}$	0	0,321	$tang\ \beta = tang\ \omega$	0,121	0,121	1,331	0,727	2,297	
			$\frac{2}{3}$	0,108	„	0,208	0,208	1,460	0,706	2,317	
8 bis		$\frac{1}{3}$	0	0,399	$tang\ \beta = tang\ \omega$	0,066	0,066	1,142	0,561	2,291	
			$\frac{2}{3}$	0,462	„	0,129	0,129	1,234	0,665	2,267	

номіи матеріала (сравнивая значенія k) располагаются въ такомъ порядкѣ: № 6, № 4, № 7 и № 5. Типы №№ 8 и 8 bis — наиболѣе выгодные, но коэффиціентъ устойчивости не великъ; этотъ послѣдній можетъ быть однако повышенъ, если сдѣлать внутреннюю грань не параллельною наружной, а болѣе крутой. Сравненіе типовъ № 5 и № 7 показываетъ, что уклонъ задней стѣнки въ сторону напора увеличиваетъ боковую площадь, не уменьшая значительно напряженія. Слѣдовательно, типы эти наиболѣе невыгодные. Типъ № 4 — занимаетъ середину между типами № 5 и № 6 *). Для того, чтобы можно было примѣнять типы № 8 и

*) Замѣтимъ здѣсь, что къ тому же выводу приводятъ и выведенныя ранѣе формулы: (167), (169), (170), (171) и (172), выражающія толщину по низу при *одинаковомъ* коэффиціентѣ устойчивости. Дѣйствительно, если коэффиціентъ устойчивости α, то объемъ устоя для типа формулы (167), отвѣчающаго № 4 по таблицѣ Leygue:

$$v = \left(h \cdot \sqrt{\frac{2\alpha E \cdot e}{\delta h^3} + \frac{n^2}{3} - \frac{m^2}{12}} - \frac{nh}{2}\right) h.$$

Для типа форм. (169), соотвѣтствующаго № 5:

$$v = \left(h \cdot \sqrt{\frac{2\alpha E \cdot e}{\delta h^3} - \frac{m^2}{12}}\right) h.$$

Для типа форм. (170), соотвѣтствующаго № 6:

$$v = \left(h \cdot \sqrt{\frac{2\alpha E \cdot e}{\delta h^3} + \frac{n^2}{3}} - \frac{nh}{2}\right) h.$$

Для типа форм. (171), соотвѣтствующаго № 7:

$$v = \left(h \cdot \sqrt{\frac{2\alpha E \cdot e}{\delta h^3}} \cdot h\right).$$

Для типа форм. (172), соотвѣтствующаго № 8:

$$v = \left(h \cdot \sqrt{\frac{2\alpha E \cdot e}{\delta h^3} + \frac{n^2}{3} - \frac{m^2}{12}} - \frac{nh}{2}\right) h.$$

При сравненіи этихъ выраженій съ данными таблицы Leygue слѣдуетъ имѣть въ виду, что въ каждомъ изъ этихъ выраженій $E.e$ имѣетъ различныя значенія, за исключеніемъ фор.

№ 8 bis, необходимо устраивать ихъ съ внутренними контрфорсами, которые во время производства работъ удерживали бы стѣнку въ равновѣсіи.

По Ott'у, если уклонъ наклонныхъ граней принять вездѣ однообразнымъ и равнымъ $\frac{1}{10}$, то различные типы относительно выгодности располагаются въ слѣдующемъ порядкѣ: (8), (6), (4), (7) и (5); если выразить единицей площадь сѣченія профиля (8) — то величины площадей различныхъ типовъ будутъ: 1,000; 1,162; 1,243; 1,546 и 1,675.

Къ сожалѣнію наружной грани не всегда возможно придавать значительный уклонъ—обыкновенно довольствуются уклономъ $\frac{1}{20} - \frac{1}{40}$. Поэтому ниже поверхности земли, т. е. фундаментъ слѣдуетъ распространять въ наружную сторону съ уклономъ около $\frac{3}{4}$: 1 (рис. 526) (см. стр. 568), сдѣлавъ заднюю грань вертикальною или наклоненною внутрь, если недостаточный уклонъ передней грани требуетъ добавочнаго увеличенія толщины стѣнки по мѣрѣ удаленія отъ кордона.

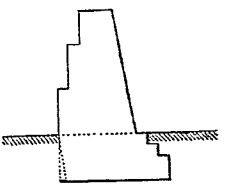


Рис. 526.

При опредѣленіи размѣровъ устоевъ арочныхъ мостовъ, будетъ указанъ пріемъ опредѣленія размѣровъ устоя равнаго сопротивленія, — пріемъ, который легко примѣнить и къ данному случаю.

Въ виду того, что въ устояхъ балочныхъ мостовъ основаніе надъ передней частью устоя наиболѣе напряжено, забивку свай подъ основаніе слѣдуетъ начинать отъ передней стѣнки шпунтоваго ряда. Въ устояхъ арочныхъ и подкосныхъ мостовъ обратно—основаніе подъ заднею частью устоя можетъ быть болѣе напряжено, если, напримѣръ, распоръ арки значительно болѣе распора земли. Въ виду того, что въ этихъ устояхъ одновременно существуетъ распоръ земли и распоръ фермы или арки, — здѣсь равнодѣйствующая всѣхъ силъ, дѣйствующихъ на устой, вообще пройдетъ невдалекѣ отъ центра тяжести площади основанія устоя.

Относительно давленія на основаніе, опредѣляемаго въ зависимости отъ распора земли, вѣса устоя, вмѣстѣ съ постоянной и временной нагрузкой пролетной

---

(170) и (171), гдѣ $E.e$ — имѣетъ одно и то же значеніе. Наибо́льшее кажущееся разногласіе представляютъ формулы (167) и (172) по сравненію съ данными для №№ 4 и 8 по Leygue, а именно: что типъ № 8 требуетъ, по сравненію съ типомъ № 4, одинаковой затраты матеріала; это противорѣчіе отчасти объясняется тѣмъ, что въ таблицѣ Leygue'а—типы №№ 8 и 4 имѣютъ неодинаковые коэффиціенты устойчивости, а главнымъ образомъ тѣмъ, что въ формулѣ (172) предполагается тотъ же распоръ, какъ и въ формулѣ (167). Но это, очевидно, невѣрно, такъ какъ, если въ типѣ (172) внутренней грани придать уклонъ, равный естественному уклону, то распора не будетъ, что́ подтверждается и формулой (158). Слѣдовательно въ типѣ (172) распо́ръ иной и его слѣдовало бы вычислять по формулѣ (158).

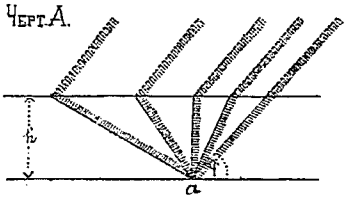


Рис. 525.

Leygue, отдавая преимущество типу (172) или № 8, походитъ, между прочимъ, изъ того соображенія, что распоръ (рис. 525) увеличивается отъ нуля по мѣрѣ того, какъ стѣнка измѣняетъ уголъ наклоненія къ горизонту отъ естественнаго откоса φ до 180°. Разсужденія, справедливыя по отношенію опрокидывающаго момента на тонкую стѣнку, когда при $\varphi = > 90°$, вѣсъ земли содѣйствуетъ увеличенію опрокидывающаго момента — едва ли примѣнимы къ типу стѣнокъ, у которыхъ только задняя грань имѣетъ указанное направленіе уклона, причемъ въ зависимости отъ толщины стѣнки по́-низу вѣсъ земли, давящій на заднюю грань, уменьшаетъ значеніе опрокидывающаго момента.

части, слѣдуетъ замѣтить, что въ дѣйствительности это давленіе уменьшается отъ двухъ причинъ:

1) отъ трепія боковыхъ частей устоя о грунтъ и

2) отъ уменьшенія вѣса на величину, равную вѣсу вытѣсненной воды, если только устой имѣетъ подводную часть.

Что касается первой причины, то она въ извѣстныхъ случаяхъ оказываетъ такое значительное вліяніе, какъ, напримѣръ, при погруженіи кессоновъ, что не смотря на значительное подрываніе подъ ножемъ кессона и не смотря на выпускъ всего сжатаго воздуха, кессонъ не опускается болѣе и, слѣдовательно, удерживается въ равновѣсіи однимъ трепіемъ. Величину этого сопротивляющагося трепія въ песчаныхъ грунтахъ принимаютъ около 10—13 пуд. на квадратный футъ боковой поверхности. Въ виду того, что величина бокового трепія со временемъ можетъ значительно уменьшиться и что въ случаѣ глинистыхъ прослойковъ, не пропускающихъ воду, вліяніе воды на уменьшеніе вѣса сдѣлается ничтожнымъ,—обыкновенно пренебрегаютъ этими причинами, дѣйствуя, очевидно, въ пользу прочности.

При опредѣленіи же степени устойчивости устоя, вліяніе воды на подводную часть устоя дѣйствуетъ, какъ сказано выше, не въ пользу устойчивости; равнымъ образомъ это вліяніе увеличиваетъ иногда и напряженіе грунта, а потому въ обоихъ этихъ случаяхъ не слѣдуетъ пренебрегать этимъ вліяніемъ.

Значеніе контрфорсовъ. Если (рис. 527) w—толщина прямоугольной стѣны, то ее можно замѣнить тонкой стѣнкой съ контрфорсами. Такъ, если b—толщина такой стѣнки, e и a — разстояніе между утолщеніями и ихъ ширина, если: $\frac{a+e}{a} = \alpha$, то длина утолщенія z (контрфорса) получится изъ уравненія:

$$(a+e)\frac{w^2}{2} = (a+e)\frac{b^2}{2} + az\left(b + \frac{z}{2}\right) = (a+e)\frac{b^2}{2} + azb + \frac{az^2}{2},$$

откуда:

$$z^2 + 2zb + \frac{(a+e)}{a}b^2 = \frac{a+e}{a}w^2:$$

$$z = -b + \sqrt{b^2 - \alpha b^2 + \alpha w^2} = -b + \sqrt{\alpha(w^2 - b^2) + b^2}. \quad (179)$$

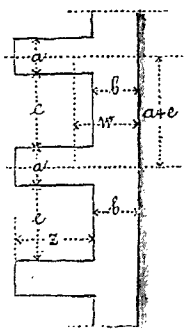


Рис. 527.

Наименьшіе размѣры для b:

$$b = \frac{h}{5}, \text{ или: } b = \frac{h}{6}.$$

По Leygue'y: $a^{м.} = 0{,}5\ (1 + 0{,}1\ h)$; $a + e = 5a$.

По другимъ даннымъ: $a + e = 3a$.

Полагая, напримѣръ: $b = \frac{h}{6}$, $w = \frac{h}{3}$, $a = 0{,}6$ метр., $e = 1{,}25$ метр. *), такъ что, слѣд., $\alpha = \frac{0{,}60 + 1{,}25}{0{,}60} = 3{,}1$, получимъ:

при . . . $h = 3$ метр. $b = 0{,}5$ метр. $w = 1{,}0$ метр. . . . $z = 1{,}10$ метр.
» . . . $h = 10{,}5$ » $b = 1{,}75$ » $w = 3{,}5$ » . . . $z = 3{,}90$ »
» . . . $h = 15$ » $b = 2{,}5$ » $w = 5{,}0$ » . . . $z = 5{,}50$ »

Припявъ приблизительно для $w = 1$, $z = 1{,}0$, слѣдуетъ въ данномъ примѣрѣ для каждаго приращенія w на 0,5 метр. увеличить z на 0,55 метр. Если

*) Не рѣдко можно встрѣтить: $a = 1$ метра и $e = 3$ метр.

же помѣстить контрфорсы съ наружной стороны, то, составивъ моменты относительно передней грани контрфорсовъ, получимъ:

$$z = -ab + \sqrt{a(w^2 - b^2) + a^2 b^2}\,; \quad \ldots\ldots \quad (180)$$

тогда для тѣхъ же соотвѣтственныхъ значеній h, b и w получимъ:

$w = 1{,}00$ метр. . . . . $z = 0{,}63$ метр.
$w = 3{,}5$ » . . . . . $z = 2{,}19$ »
$w = 5{,}0$ » . . . . . $z = 3{,}15$ »

и, слѣдовательно, если приблизительно, для $w = 1$, $z = 0{,}63$ метра, то для приращенія w на 0,5 метр. увеличеніе z составитъ около 0,4 метра.

Кромѣ того слѣдуетъ еще сдѣлать повѣрку на скольженіе въ виду того, что площадь измѣненнаго профиля менѣе прежней площади.

Эти правила относятся, какъ къ передней стѣнкѣ, такъ и къ обратнымъ стѣнкамъ.

Въ моетовыхъ устояхъ преимущественно приходится пользоваться внутренними контрфорсами, которые тѣмъ еще полезны, что, благодаря тренію между засыпкой и боковою поверхностью, уменьшается распоръ на тонкую стѣнку между контрфорсами (по Leygue—на $10^0/_0$). Въ смыслѣ сопротивленія опрокидыванію, наружные контрфорсы имѣютъ бо̀льшее значеніе.

Устои фермъ подкосной и арочной системъ, а танже каменныхъ арокъ. — Провѣрна заданныхъ размѣровъ и опредѣленіе размѣровъ устоевъ изъ условій устойчивости. — Опредѣленіе прочности.

Провѣрка и опредѣленіе размѣровъ устоевъ подкосныхъ и арочныхъ фермъ изъ условій устойчивости. Для рѣшенія указанной задачи могутъ служить нѣсколько пріемовъ: α) размѣры устоевъ могутъ быть назначены на основаніи соображеній, изложенныхъ на стр. 524; β) можно опредѣлить расчетомъ размѣры *трапецоидальнаго* устоя и затѣмъ измѣнить ихъ соотвѣтственно требованіямъ размѣщенія частей фермы; γ) можно опредѣлить расчетомъ размѣры устоя по низу по заданному переднему очертанію, *не прибѣгая* къ преобразованію трапецоидальной профили. Въ первомъ случаѣ, сравнивъ сопротивляющійся моментъ съ опрокидывающимъ и сопротивленіе сдвигу съ расіоромъ земли и фермы — вычисляютъ соотвѣтствующій коэффиціентъ устойчивости. Во второмъ случаѣ провѣряютъ, на сколько преобразованное сѣченіе устоя устойчиво относительно вращенія и скольженія, какъ въ основаніи, такъ и въ промежуточныхъ сѣченіяхъ, и наконецъ въ третьемъ случаѣ при опредѣленіи толщины устоя по низу расчетомъ задаются заранѣе опредѣленнымъ коэффиціентомъ устойчивости.

При составленіи уравненія, выражающаго условіе устойчивости, необходимо брать въ расчетъ либо распоръ земли либо распоръ нодкосной или арочной фермъ, смотря по тому, который изъ распоровъ болѣе, и поэтому надлежитъ составлять выраженіе момента относительно передняго или задняго ребра. Если размѣры заданы *(первый случай)*, то составленіе условій устойчивости относительно вращенія и скольженія и опредѣленіе затѣмъ коэффиціента устойчивости не составляютъ затрудненія и понятны изъ предыдущаго съ замѣной въ извѣстныхъ случаяхъ распора земли распоромъ фермы. Остановимся лишь на указанной провѣркѣ устойчивости преобразованной профили транецоидальнаго устоя *(второй случай)*, а также на опредѣленіи расчетомъ изъ условій устойчивости толщины устоя по низу, если задано переднее очертаніе устоя *(третій случай)*.

а) *Распоръ земли болѣе распора подкосной или арочной фермы.* Примѣнимъ

это лишь ко второму случаю. Если (рис. 528) точка o' — положеніе центра тяжести преобразованнаго устоя, то разстояніе этой точки отъ наружнаго ребра:

$$a = \frac{fs + f's' + \ldots}{f + f' + \ldots} = \frac{\Sigma fs}{F} = \frac{\delta \Sigma fs}{\delta F} = \frac{M_s}{\delta F},$$

гдѣ M_s — сопротивляющійся моментъ вѣса.

При совмѣстномъ дѣйствіи распора и вѣса устоя равнодѣйствующая ихъ встрѣтитъ основаніе, напримѣръ, въ точкѣ u; необходимо, чтобы $vu < a$.

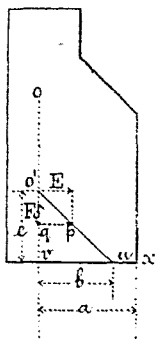


Рис. 528.

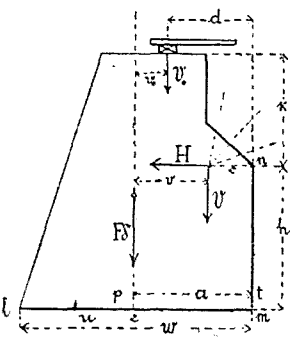


Рис. 529.

Но:

$$\frac{vu}{qp} = \frac{o'v}{o'q};\ qp = E;\ o'v = c;\ o'q = F\delta.$$

Слѣдовательно:

$$b = vu = \frac{E \cdot e}{F\delta} = \frac{M_e}{F\delta},$$

гдѣ M_e — опрокидывающій моментъ распора земли.

Поэтому необходимо, чтобы:

$$ux = a - b = \frac{M_s - M_e}{F\delta} \quad . \quad . \quad . \quad (181)$$

была величина положительная и во всякомъ случаѣ не менѣе $\frac{1}{3}$ толщины основанія.

б) *Распоръ подкосовъ или арки болѣе распора земли.* Примѣнимъ это условіе ко второму и третьему случаямъ. Разсмотримъ сначала второй случай. Расчетъ ведется относительно перваго распора (подкосовъ или арки), величина котораго и опредѣляетъ собою размѣры трапецоидальнаго устоя. Затѣмъ видоизмѣняютъ сѣченіе устоя сообразно требованіямъ размѣщенія частей подкосной фермы, при чемъ толщину w приходится иногда цѣсколько измѣнить, и повѣряютъ, согласно предыдущему, устойчивость видоизмѣненнаго устоя.

Очертаніе наружной грани устоя составляется въ зависимости отъ размѣщенія частей фермы (рис. 529). Слѣдовательно, извѣстны: k, h, c, d, w и a; при этомъ a—разстояніе центра тяжести преобразованнаго устоя отъ передней грани—опредѣляется по формулѣ $a = \frac{\Sigma fs}{F}$, гдѣ F — сѣченіе устоя вертикальною продольною (по оси моста) плоскостью, а Σfs— статическій моментъ того же сѣченія относительно грани mn.

Пусть H и V—горизонтальный распоръ и вертикальная составляющая давленія подкосовъ на погонную единицу длины (по ширинѣ моста); V_0—давленіе отъ верхнихъ прогоновъ на погонную же единицу; $F\delta$—вѣсъ устоя на ту же единицу длины.

Чтобы судить, на сколько измѣненный устой устойчивъ, опредѣлимъ разстояніе точки встрѣчи съ плоскостью основанія равнодѣйствующей силъ: V, V_0, H и $F\delta$ отъ задняго ребра l, т. е. разстояніе отъ этого ребра такъ наз. *центра давленія*. Такъ какъ $pt = a$ — величина извѣстная, то можно также опредѣлить: v и v_0, т. е. разстоянія точекъ приложенія силъ: V и V_0 отъ вертикальной линіи, проходящей черезъ центръ тяжести устоя.

Пользуясь условіемъ, что моментъ всѣхъ дѣйствующихъ на устой внѣшнихъ

силъ относительно центра давленія (u) равенъ нулю, можемъ написать:

$$V_0 (v_0 + ue) + V (v + ue) + F\delta \times ue - Hh = 0;$$

$$V_0 v_0 + Vv - Hh + V_0 \times ue + V \times ue + F\delta \times ue = 0,$$

откуда:

$$ue = \frac{Hh - Vv - V_0 v_0}{V_0 + V + F\delta} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (182)$$

Слѣдовательно: $lu = w - a - ue$ позволитъ опредѣлить степень устойчивости даннаго устоя, а затѣмъ и напряженіе матеріала въ кладкѣ, а также и напряженіе основанія.

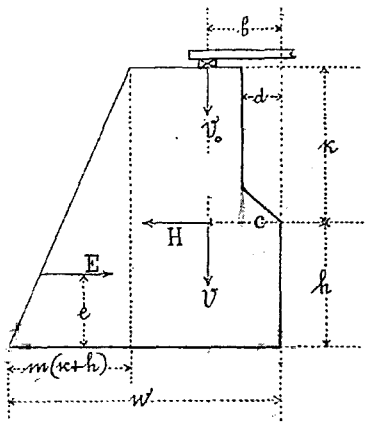


Рис. 530.

Примѣняя заданное условіе къ третьему случаю, замѣтимъ, что толщину устоя по-низу можно опредѣлить непосредственно въ зависимости отъ наибольшаго распора подкосовъ, или распора земли, не прибѣгая къ опредѣленію толщины трапецоидальнаго устоя, съ преобразовываніемъ затѣмъ очертанія устоя согласно требованіямъ размѣщенія частей подкосной или арочной фермы.

Если распоръ подкосовъ преобладаетъ надъ распоромъ земли, то, если препебречь вѣсомъ треугольной призмы кладки около пятъ подкосовъ, искомое w опредѣлится (рис. 530) изъ:

$$H \,.\, h = V_0 (w - b) + V (w - c) + [w - m (k + h)] \,.\, h\delta \times \left[\frac{w + m (k + h)}{2}\right] +$$

$$+ [w - d - m (k + h)] \,.\, k \,.\, \delta \left[\frac{w - d + m (k + h)}{2}\right] + \delta \frac{m (k + h)^2}{2} \cdot \frac{2}{3} m (k + h) =$$

$$= V_0 (w - b) + V (w - c) + h\delta \left[\frac{w^2 - m^2 (k + h)^2}{2}\right] +$$

$$+ k\delta \left[\frac{(w - d^2) - m^2 (k + h)^2}{2}\right] + \delta \frac{m^2}{3} (k + h)^3 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (183)$$

Если распоръ земли преобладаетъ, тогда:

$$E \,.\, e = \frac{\{w - m (k + h)\}^2}{2} \cdot \delta h + k\delta \{w - d - m (k + h)\} \cdot \frac{1}{2} \{w +$$

$$+ d - m (k + h)\} + \frac{\delta m (k + h)^2}{2} \cdot \{w - \frac{2}{3} m (k + h)\}. \quad . \quad . \quad . \quad (184)$$

Боковыя стѣнки устоя должны быть расчитаны относительно распора земли.

Толщину устоя слѣдуетъ еще повѣрять относительно скольженія въ плоскости дѣйствія распора фермы. Если треніе, вызываемое вѣсомъ верхней части устоя, недостаточно, то нужно въ плоскости пятъ поставить нѣсколько камней нормально къ равнодѣйствующей давленія вѣса и распора, чтобы сопротивленіе сдвигу перевести на сопротивленіе срѣзыванію камня. Кладку наклонными рядами, нормальными къ кривой давленія, слѣдуетъ продолжить до такой глубины, при которой треніе, вызываемое вѣсомъ, уравновѣсится съ распоромъ при данномъ коэффиціентѣ устойчивости. Ниже этого уровня кладка можетъ быть выведена горизонтальными рядами. (См. опредѣленіе размѣровъ быковъ подкосныхъ фермъ).

Повѣрка и опредѣленіе размѣровъ устоевъ каменныхъ арочныхъ мостовъ.

а) *Эмпирическія данныя.* Приведемъ предварительно нѣсколько эмпирическихъ формулъ для опредѣленія толщины устоевъ арокъ.

Имѣются слѣдующія эмпирическія формулы для опредѣленія толщины опоръ—пологихъ арокъ:

$$w = 0{,}3 \text{ метра} + \frac{l}{8}\left(\frac{3l-f}{l-f}\right) \text{метр.} + 0{,}17h \text{ метр. *);} \quad . \quad . \quad (185)$$

для толщины опоръ полукруглыхъ арокъ:

$$w = 0{,}3 \text{ метр.} + 0{,}2l \text{ метр.} + 0{,}17h \text{ метр.,} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (186)$$

гдѣ: l—пролетъ, h—высота устоя до пятъ, f—стрѣла.

Если подвижная нагрузка выражается высотою s, то прибавляется еще $\frac{s}{12}$.

По прусскимъ даннымъ:

$$w = 1 + \frac{h}{8} + \frac{5}{24}l \text{ фут.,} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (187)$$

По другимъ даннымъ въ метрахъ:

$$w = \sqrt{l}\left[0{,}6 + m\left(\frac{l}{f} - 2\right) + 0{,}01h\right], \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (188)$$

гдѣ: $m = 0{,}10$—для подъемнетыхъ сводовъ,

и $m = 0{,}05$—для коробовыхъ сводовъ.

Если устои арочныхъ мостовъ заканчиваются обратными стѣнками, или откосными крыльями, то и послѣднимъ обыкновенно придаютъ въ плоскости сопряженія ту же толщину, хотя это и не необходимо. Полагая шовъ перелома подъ угломъ 30° къ горизонту, забутку устоя продолжаютъ до высоты: $z = 0{,}15 + 0{,}03l$ метр. надъ точкой пересѣченія шва перелома съ внѣшней кривой. Для пологихъ арокъ съ угловымъ отверстіемъ менѣе 120° швъ перелома принимаютъ въ пятахъ.

Устои арочныхъ мостовъ устраиваются или въ видѣ параллелепипедовъ сплошныхъ или съ колодцами, или же по типу устоевъ съ обратными стѣнками и откосными крыльями; въ послѣднемъ случаѣ передняя стѣнка дѣлается толще откосныхъ крыльевъ.

Въ слѣдующей таблицѣ приведены размѣры свода въ ключѣ, въ пятѣ и размѣры опоръ для *пологихъ* сводовъ:

Отверстіе l метр.	Стрѣлка $f = \frac{l}{4}$ метр.	Радіусъ внутренней направляющей. $v = \frac{5}{8}l$ метр.	Толщина свода.		Толщина устоя въ уровнѣ пяты въ метр.
			Въ ключѣ d метр.	Въ пятѣ d метр.	
1	0,25	0,625	40,4	0,56	01,1
2	0,50	1,250	0,53	0,73	1,67
3	0,75	1,875	0,60	0,84	1,50
4	1,00	2,500	0,66	0,92	2,05
5	1,25	3,125	0,72	0,97	2,68
6	1,50	3.750	0,79	1,04	3,00

*) Dubosque. Murs de soutènement.

Отворстіе l метр.	Стрѣла $f=\frac{l}{4}$ метр.	Радіусъ внутренней направляющей $v=\frac{5}{8}l$ метр.	Толщина свода. Въ ключѣ d метр.	Въ пятѣ d метр.	Толщина устоя въ уровнѣ пяты въ метр.
7	1,75	4,375	0,84	1,10	3,32
8	2,00	5,000	0,90	1,16	3,63
9	2,25	5,625	0,98	1,22	3,95
10	2,50	6,250	1,03	1,29	4,26
11	2,75	6,875	1,07	1,35	4,58
12	3,00	7,500	1,13	1,42	4,90

Въ слѣдующей таблицѣ приведены размѣры *полукруглыхъ* сводовъ въ ключѣ, въ пятѣ, а также толщина устоя въ уровнѣ пятъ при высотѣ насыпи 3 метра и утолщеніе свода и устоя подъ насыпями бо́льшей высоты.

Отверстія.	Нормальная толщина при: Высотѣ насыпи 3 метр. Ключа метр.	Пяты метр.	Устоя метр.	Наибольшей высотѣ насыпи. Ключа метр.	Пяты метр.	Устоя метр.	Увеличеніе толщины для каждыхъ 30 сант. сверхъ толщины въ 3 метра. Ключа.	Пяты.	Устоя.	Наибольшая высота насыпи въ метр.
1	0,44	0,55	0,75	0,68	0,80	1,10	0,0073	0,0082	0,0104	12,64
2	0,50	0,66	0,88	0,76	0,95	1,38	0,0079	0,0088	0,0139	13,27
3	0,54	0,73	0,98	0,85	1,11	1,52	0,0092	0,0111	0,0148	13,90
4	0,57	0,80	1,11	0,95	1,27	1,71	0,0101	0,0129	0,0161	14,85
5	0,66	0,89	1,34	1,06	1,36	1,90	0,0101	0,0117	0,0139	16,12
6	0,75	0,99	1,53	1,19	1,52	2,11	0,0082	0,0095	0,0110	17,69
7	0,83	1,10	1,70	1,29	1,62	2,24	0,0072	0,0082	0,0114	19,91
8	0,96	1,22	1,90	1,42	1,80	2,46	0,0082	0,0095	0,0082	21,41
9	0,99	1,30	2,08	1,52	1,89	2,59	0,0095	0,0095	0,0081	22,32
10	1,00	1,37	2,25	1,61	1,99	2,71	0,0098	0,0100	0,0080	24,50

б) *Опредѣленіе величины распора.* Пусть (рис. 531) V—выражаетъ вѣсъ полусвода съ нагрузкой постоянной и подвижной. Что же касается распора H, то приближенно при полной нагрузкѣ, равномѣрно распредѣленной по горизонтальной проекціи свода: $H=\frac{ql^2}{8f}$, если $ql=2V$, вѣсъ всего свода съ подвижной нагрузкой, l — пролетъ, f — стрѣла подъема. Значеніе распора можно найти еще иначе. Если NB—кривая давленія, то для части свода NMP существуетъ, очевидно, слѣдующая зависимость между распоромъ H, вѣсомъ этой части V_x и *tangens*'омъ угла наклоненія къ горизонту кривой давленія въ точкѣ пересѣченія ея съ MP:

$$V_x = H \,.\, tang\,\varphi_x = H\frac{dy}{dx}, \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (189)$$

если $y=F(x)$—уравненіе кривой давленія. Если z—перемѣнная толщина свода, вмѣстѣ съ постоянной и подвижной нагрузкой, приведенной къ матеріалу свода,

и δ—вѣсъ кубической единицы кладки свода, то:

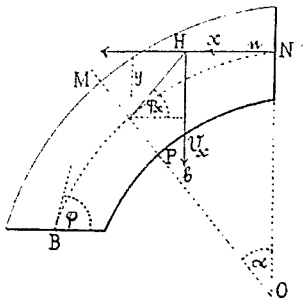


Рис. 531.

$$V_x = \delta \int_0^x z dx;$$

слѣдовательно:

$$\delta \int_0^x z dx = H \frac{dy}{dx};$$

взявъ производную по x, получимъ:

$$\delta z = H \frac{d^2 y}{dx^2}.$$

Но если въ выраженіи радіуса кривизны кривой давленія.

$$\rho = \frac{\left[1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2\right]^{3/2}}{\frac{d^2 y}{dx^2}}$$

положимъ $\frac{dy}{dx} = 0$, т. е. возьмемъ значеніе радіуса кривизны для ключа свода, то:

$$\rho_0 = \frac{1}{\frac{d^2 y}{dx^2}}; \quad \frac{1}{\rho_0} = \frac{d^2 y}{dx^2};$$

слѣдовательно:

$$H = \delta . z_0 \rho_0, \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (190)$$

т. е. распоръ—величина постоянная и выражается вѣсомъ параллелепипеда, высота коего равна радіусу кривизны кривой давленія въ ключѣ, ширина равна высотѣ свода съ нагрузкой надъ ключемъ, длина равна 1.

Если, далѣе, d—толщина свода въ ключѣ, d_1—толщина постоянной нагрузки, δ_1—вѣсъ кубической единицы постоянной нагрузки, k—подвижная нагрузка на квадратную единицу, то:

$$z_0 = d + \frac{k_1 \delta_1 + k}{\delta}.$$

Слѣдовательно:

$$H = \delta . z_0 . \rho_0 = (d\delta + d_1 \delta_1 + k)\, \rho_0 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (191)$$

Если предположимъ, что радіусъ кривизны внутренней направляющей въ ключѣ есть ρ'_0, и что кривая давленія проходитъ по серединѣ толщины свода, то:

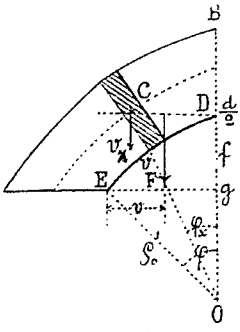


Рис. 532.

$$H = (\delta . d + \delta_1 d_1 + k) . \left(\rho'_0 + \frac{d}{2}\right),$$

и вѣсъ всего полусвода со всѣми нагрузками: $V = H . tang\, \varphi$, если φ—уголъ, составленный кривой давленія въ пятѣ свода съ горизонталью.

Что касается величины v (рис. 532), (предполагая, что при круговомъ сводѣ нагрузка такова, что кривая давленія есть круговая кривая радіуса: $\rho'_0 + \frac{d}{2}$), т. е. плеча силы V относительно передней вертикальной грани устоя, то она найдется слѣдующимъ образомъ:

Имѣемъ: $$V_x = H \,.\, tang\,\varphi_x;\; dV_x = H\,\frac{d\varphi}{cos^2\,\varphi_x}.$$

Слѣдовательно, сумма моментовъ относительно линіи OB:

$$\int_0^{\varphi} \frac{H}{cos^2\,\varphi_x}\left(\rho'_0 + \frac{d}{2}\right).\,sin\,\varphi_x\,.\,d\varphi,$$

такъ какъ перемѣнное плечо есть $CD = \left(\rho'_0 + \frac{d}{2}\right).\,sin\,\varphi_x$, въ предположеніи, что размѣры свода такъ проектированы, чтобы кривая давленія была концентрична съ внутренней направляющей и пересѣкала сводъ въ ключѣ по серединѣ.

Съ другой стороны, если FG—разстояніе равнодѣйствующей вѣса всего полусвода отъ линіи OB:

$$V\,.\,FG = \int_0^{\varphi} H\left(\rho'_0 + \frac{d}{2}\right)\frac{sin\,\varphi}{cos^2\,\varphi}\,d\varphi = H\left(\rho'_0 + \frac{d}{2}\right)\int_0^{\varphi}\frac{sin\,\varphi}{cos^2\,\varphi}\,d\varphi =$$

$$= H\left(\rho'_0 + \frac{d}{2}\right)\Big[sin\,\varphi\,.\,tang\,\varphi + cos\,\varphi\Big]_0^{\varphi} = H\left(\rho'_0 + \frac{d}{2}\right)[sin\,\varphi\,.\,tang\,\varphi + cos\,\varphi - 1] =$$

$$= H\left(\rho'_0 + \frac{d}{2}\right).\,tang\,\varphi\left(sin\,\varphi + \frac{cos^2\,\varphi}{sin\,\varphi} - \frac{cos\,\varphi}{sin\,\varphi}\right) = H\left(\rho'_0 + \frac{d}{2}\right)\frac{tang\,\varphi}{sin\,\varphi}(1 - cos\,\varphi).$$

Но: $V = H\,.\,tang\,\varphi$; слѣдовательно:

$$FG = \left(\rho'_0 + \frac{d}{2}\right)\cdot\left(\frac{1 - cos\,\varphi}{sin\,\varphi}\right);$$

$$EF = v = EG - FG = \rho'_0\,.\,sin\,\varphi - \left(\rho'_0 + \frac{d}{2}\right)\cdot\left(\frac{1 - cos\,\varphi}{sin\,\varphi}\right) =$$

$$= \frac{1}{sin\,\varphi}\left\{\rho'_0\,.\,sin^2\,\varphi - \rho_0 - \frac{d}{2} + \rho'_0\,.\,cos\,\varphi + \frac{d}{2}\,.\,cos\,\varphi\right\} =$$

$$= \frac{1}{sin\,\varphi}\left\{\rho'_0\,.\,cos\,\varphi\,(1 - cos\,\varphi) - \frac{d}{2}\,(1 - cos\,\varphi)\right\} =$$

$$= \frac{1}{sin\,\varphi}\left(\rho'_0\,cos\,\varphi - \frac{d}{2}\right)(1 - cos\,\varphi)\;.\;.\;.

Если U—давленіе вытѣсненной воды, u—разстояніе точки приложенія этого давленія отъ задняго ребра, то:

$$H\left(\frac{d}{2}+f+k\right)<E.e+(V+P)\,p-U.u. \quad . \quad . \quad . \quad (194)$$

2-й пріемъ. Опредѣленіе размѣровъ изъ условій устойчивости.

Пусть (рис. 534) H—распоръ, d—толщина свода въ ключѣ, f—стрѣла подъема арки, k—высота устоя до пятъ, V—вѣсъ полусвода съ нагрузкой, v—разстояніе точки приложенія этой силы отъ передней грани устоя, w—толщина устоя понизу, m—*tangens* угла, составляемаго задней гранью устоя съ вертикалью. Если

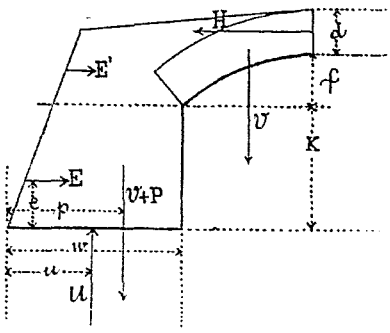


Рис. 533.

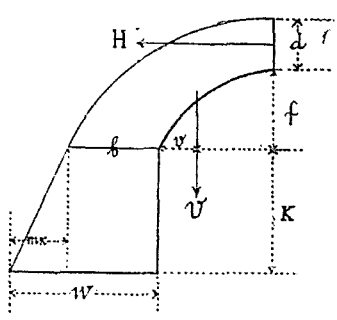


Рис. 534.

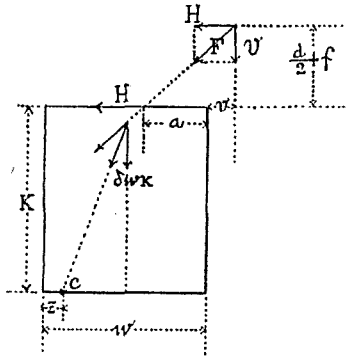


Рис. 535.

распоръ отъ арки болѣе распора земли, то формулы для повѣрки устойчивости по первому пріему, или для опредѣленія размѣровъ при второмъ пріемѣ будутъ *):

$$H\left(\frac{d}{2}+f+k\right)-V\,(v+w)=\delta\,(w-mk)\,k\left(\frac{mk+w}{2}\right)+$$

$$+\frac{\delta mk^2}{2}\cdot\frac{2}{3}\,mk=\delta k\left(\frac{w^2}{2}-\frac{m^2k^2}{6}\right)$$

Обозначая:

$$H\left(\frac{1}{2}\,d+f+k\right)-V.v+\frac{\delta m^2k^3}{6}=A,$$

получимъ:

$$w=-\frac{V}{\delta k}+\sqrt{\frac{V^2}{\delta^2k^2}+\frac{2A}{\delta k}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (195)$$

Для запаса w увеличиваютъ на 33%. Въ плоскости пятъ слѣдуетъ сдѣлать повѣрку относительно скольженія.

Большею частью задаются толщиной b устоя въ плоскости пятъ; тогда: $mk=w-b$, и преобразованіе формулы легко сдѣлать.

г) *Опредѣленіе прочности.* Опредѣливъ размѣры устоя изъ условія устойчивости, необходимо повѣрить устой на прочность. Разсмотримъ нѣсколько случаевъ.

а) *Прямоугольное сѣченіе устоя.* Если (рис. 535) F—равподѣйствующая вѣса полусвода V и распора H, то разстояніе a точки встрѣчи силы F съ верхней

*) Можно принять точку приложенія распора или на разстояніи $\frac{1}{3}\,d$, или $\frac{2}{3}\,d$. Въ формулахъ предположено, что распоръ приложенъ на разстояніи $\frac{d}{2}$.

гранью отъ внутренней вертикальной грани найдется изъ:

$$(a + v) : \left(\frac{d}{2} + f\right) = H : V.$$

Если z—разстояніе точки c встрѣчи общей равиодѣйствующей съ плоскостью нижняго основанія отъ наружнаго ребра, то, составивъ моментъ силъ относительно точки c, имѣемъ:

$$\delta wk\left(\frac{w}{2} - z\right) + V(w - z - a) = H \cdot k \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (196),$$

откуда найдемъ z; если $z \leqslant \frac{w}{3}$, то напряженіе въ наружномъ ребрѣ:

$$R = \frac{2(V + \delta wk)}{3z} \quad . \quad . \quad . \quad (197)$$

Если $z \geqslant \frac{w}{3}$, то:

$$R = \frac{V + \delta wk}{w} + (V + \delta wk)\left(\frac{w}{2} - z\right) \cdot \frac{6}{w^2} = \left(\frac{V + \delta wk}{w}\right)\left(1 + 3 - \frac{6z}{w}\right) =$$

$$= 4\left(\frac{V + \delta wk}{w}\right) \cdot \left(1 - \frac{3}{2} \cdot \frac{z}{w}\right) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (198)$$

Изъ уравненій (196)—(198) можно опредѣлить двѣ какія-либо изъ четырехъ величинъ: R, w, z и k, если двѣ остальныя извѣстны.

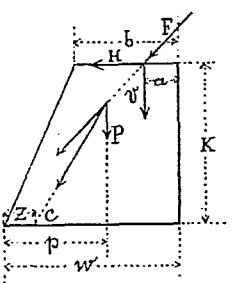


Рис. 536.

б) *Трапецоидальное сѣченіе устоя съ передней вертикальной гранью.* Пусть (рис. 536) b—задано. Тогда, составивъ моментъ отиосительно центра давленія c и замѣчая, что:

$$P = \delta k\left(\frac{b + w}{2}\right), \quad p = \frac{(2b + 2w)w - b^2}{3b + 3w} \text{ *)},$$

имѣемъ:

$$\delta k\left(\frac{b + w}{2}\right) \cdot \left[\frac{(2b + 2w)w - b^2}{3b + 3w} - z\right] + V(w - z - a) - H \cdot k = O, \quad . \quad (199);$$

откуда можно найти z.

$$R = 2\left[\frac{V + \delta k\left(\frac{w + b}{2}\right)}{3z}\right], \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (200),$$

если $z \leqslant \frac{w}{3}$;

$$R = 4\left[\frac{V + \delta k\left(\frac{w + b}{2}\right)}{w}\right] \cdot \left(1 - \frac{3}{2} \cdot \frac{z}{w}\right), \quad . \quad . \quad . \quad (201),$$

если $z \geqslant \frac{w}{3}$.

в) *Трапецоидальное сѣченіе устоя равнаго сопротивленія съ передней вертикальной гранью.* Пусть (рис. 537) толщина по верху b—задана. Опредѣляемъ

*) V. Résal'я Emplacements, débouchés,—p. 271, повидимому ошибочно:

$$p = \frac{(b + 2w)w}{3b + 3w}.$$

сначала, на какомъ протяженіи по высотѣ y можетъ быть сохранена постоянная толщина b, при чемъ напряженіе не должно превосходить извѣстнаго предѣла R (для кладки).

Пользуясь формулами (196), (197) и (198), имѣемъ:

$$\delta y b \left(\frac{b}{2} - z\right) + V(b - z - a) = Hy;$$

$$R = \frac{2(V + \delta y b)}{3z}, \qquad \text{если } z \leqslant \frac{b}{3};$$

$$R = \frac{4(V + \delta y b)}{b}\left(1 - \frac{3}{2}\cdot\frac{z}{b}\right), \qquad \text{если } z \geqslant \frac{b}{3},$$

откуда и найдемъ y.

Затѣмъ рѣшаемъ задачу ощупью. Пусть въ сѣченіи AB толщина—x, V—вѣсъ полусвода, P—вѣсъ опоры выше сѣченія AB, z—разстояніе равнодѣйствующей отъ ребра A; предположимъ, что всѣ эти величины опредѣлены предварительнымъ вычисленіемъ или заданы (этимъ сѣченіемъ можетъ быть, очевидно, и сѣченіе MN). Для смежнаго съ нимъ сѣченія $A'B'$, имѣющаго толщину $x + dx$ и отстоящаго на dy отъ AB, разстояніе равнодѣйствующей отъ ребра A' будетъ:

$$Ac' = z + dz.$$

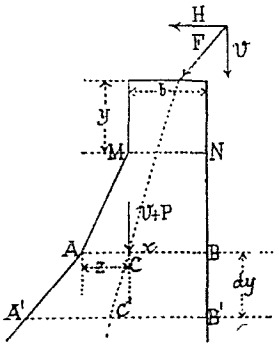


Рис. 537.

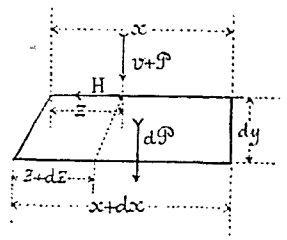


Рис. 538.

Для того, чтобы и въ этомъ сѣченіи имѣло мѣсто прежнее напряженіе матеріала, необходимо, во-первыхъ, чтобы dx и dz удовлетворяли условію:

$$(V + P)\,.\,(dx - dz) + dP\left(\frac{x}{2} - z\right) = Hdy, \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (202)$$

если пренебречь членомъ $dP\,(dx - dz)$, какъ величиной 2-го порядка.

Другое условіе, которое должно быть удовлетворено, (рис. 538) есть:

$$R = \frac{2(V + P)}{3z} = \frac{2(V + P + dP)}{3(z + dz)}, \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (203)$$

что требуетъ въ свою очередь, чтобы:

$$\frac{V + P}{z} = \frac{dP}{dz},$$

такъ какъ изъ (203) слѣдуетъ, что:

$$\frac{z + dz}{z} = \frac{V + P + dP}{v + P}; \quad \frac{dz}{z} = \frac{dP}{V + P}; \quad \frac{V + P}{z} = \frac{dP}{dz}.$$

Слѣдовательно:

$$R = \frac{2dP}{3dz} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (204)$$

[Здѣсь предполагается, что $z \leqslant \frac{x}{3}$; въ противномъ случаѣ слѣдовало бы примѣнить формулу вида (198)].

Замѣнивъ въ (202) и (204) dP черезъ $\delta x\,.\,dy$, гдѣ δ — вѣсъ кубической еди-

ницы, и замѣчая, что на основаніи (203) $z = \frac{2(V+P)}{3R}$, получимъ по исключеніи перемѣнной z:

$$(V+P)\cdot\left(dx - \frac{2\delta\cdot x\cdot dy}{3R}\right) + \delta x\cdot dy\left[\frac{x}{2} - \frac{2(V+P)}{3R}\right] = H dy;$$

$$dx = \frac{\left(H + \frac{4}{3}\cdot\frac{(V+P)}{R}\cdot\delta x - \frac{\delta\cdot x^2}{2}\right)}{V+P}\cdot dy =$$

$$= \left[\frac{H}{V+P} + \frac{4}{3}\cdot\frac{\delta\cdot x}{R} - \frac{\delta}{V+P}\cdot\frac{x^2}{2}\right]dy, \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (205)$$

откуда найдемъ dx по данному dy.

Для начертанія кривой давленія имѣемъ зависимость (203):

$$z = \frac{2(V+P)}{3R}.$$

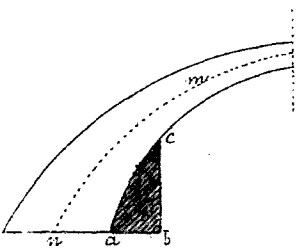


Рис. 539.

Если z—извѣстно, то уравненіе (205) можно представить въ видѣ:

$$dx = \frac{2}{3}\cdot\frac{H + 2z\ \delta x - \delta\frac{x^2}{2}}{R\cdot z}\cdot dy. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (205')$$

Устой съ гранями, наклоненными въ одну сторону. Если кривая давленія проходитъ не въ средней трети устоя, то въ частяхъ устоя, удаленныхъ отъ наиболѣе сжатаго ребра на разстоянія $> 3z$, происходитъ вытягиваніе, раскрытіе швовъ, и иногда замѣчается даже отдѣленіе кладки по кривой *ac* (рис. 539), и слѣдовательно объемъ кладки *acb* безполезенъ. Для повѣрки устойчивости и прочности подобнаго устоя можно разсматривать его, какъ продолженіе свода и вычертить кривую давленія.

Подобно устоямъ балочныхъ моетовъ, подвергающимся давленію земли, устои арочныхъ и подкосныхъ моетовъ въ отношеніи объема кладки при одинаковомъ напряженіи основанія располагаются въ такомъ порядкѣ: устои, боковыя грани которыхъ наклонены въ одну сторону, устои равнаго сопротивленія, устои трапецоидальнаго сѣченія съ передней вертикальной гранью, прямоугольные устои.

Если напряженіе на грунтъ оказывается значительнымъ, то необходимо уширять основаніе, соблюдая при уширеніи уклонъ не положе $\frac{3}{4}$: 1, или 1 : 1.

Быки мостовъ съ балочными и подносными фермами, а также быки каменныхъ арочныхъ мостовъ.—Опредѣленіе размѣровъ быковъ мостовъ съ балочными фермами въ зависимости отъ условій устойчивости и прочности.—Очертаніе быка равнаго сопротивленія. — Опредѣленіе размѣровъ быка по верху, не принимая и принимая въ расчетъ давленіе вѣтра. — Опредѣленіе размѣровъ быковъ подкосныхъ фермъ. — Опредѣленіе размѣровъ быковъ арочныхъ мостовъ.

Опредѣленіе размѣровъ быковъ моетовъ съ балочными фермами въ зависимости отъ условій устойчивости и прочности. Такъ какъ при балочныхъ фермахъ *устойчивость невысокихъ* опоръ всегда обезпечена, то здѣсь можетъ идти рѣчь лишь о прочности опоръ и основанія. О высокихъ промежуточныхъ опорахъ будетъ сказано ниже.

Очертаніе быка (рис. 540), соотвѣтствующее *равному напряженію матеріала*

по всей высотѣ быка, найдется такъ: условіе равновѣсія между внутренними и внѣшними силами въ сѣченіи ω_x есть:

$$R \cdot \omega_x = Q + \int_0^x \delta \cdot \omega_x \cdot dx,$$

гдѣ Q — давленіе, передаваемое фермами и подвижной нагрузкой; R — прочное сопротивленіе кладки; δ—вѣсъ куб. единицы кладки; ω_x—перемѣнная площадь сѣченія опоры.

Дифференцируя, получимъ:

$$R \frac{d\omega_x}{dx} = \delta \cdot \omega_x; \quad \frac{d\omega_x}{\omega_x} = \frac{\delta \cdot dx}{R}.$$

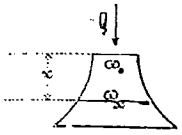


Рис. 540.

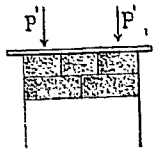


Рис. 541.

Интегрируя:

$$log \frac{\omega_x}{\omega_0} = \frac{\delta x}{R};$$

$$\omega_x = \omega_0 \cdot e^{\frac{\delta x}{R}} = \frac{Q}{R} e^{\frac{\delta x}{R}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (206)$$

Изъ послѣдней формулы найдутся значенія ω_x для различныхъ x, коль скоро извѣстно ω_0, т. е. размѣры быка по верху.

Опредѣленіе размѣровъ быка по верху, не принимая и принимая въ расчетъ давленіе вѣтра. Размѣры верхней площадки должны быть достаточны, чтобы выдержать давленіе, передаваемое концевыми частями обѣихъ смежныхъ фермъ. Если опора *невысокая*, такъ что горизонтальное *давленіе вѣтра не принимается въ расчетъ*, и обѣ фермы (рис. 541) производятъ неодинаковое давленіе P и P', то въ виду того, что равнодѣйствующая проходитъ не по оси опоры,—слѣдуетъ взять въ расчетъ неравномѣрное сжатіе. Въ томъ случаѣ, когда оба давленія равны и расположены симметрично относительно оси опоры, а также когда давленіе передается въ одну точку по оси опоры (неразрѣзныя фермы), то, если Q это давленіе, R — прочное сопротивленіе кладки:

$$Q = \omega_0 \cdot R.$$

Площадь ω_0 или вполнѣ отвѣчаетъ условію:

$$\omega_0 = \frac{Q}{R},$$

или же превосходитъ таковую съ нѣкоторымъ запасомъ.

Линейные размѣры, отвѣчающіе увеличенной площади ω_0, назначаются въ зависимости отъ расположенія, числа фермъ и проч. Если напр. имѣются по ширинѣ двѣ фермы на взаимномъ разстояніи D, фермы разрѣзныя, размѣры подфермен-ныхъ камней $n \times m$, отвѣчающіе условно $\omega_0 = 4\,(n \times m) = \frac{Q}{R}$, то при отсутствіи закругленій въ головахъ быка и при минимальномъ разстояніи граней быка въ 0,10 с. и въ 0,25 с. отъ боковыхъ граней подфермеппаго камня, толщина опоры при прямоугольномъ очертаніи:

$$A = 2\,(n + 0{,}10 \text{ с.}),$$

а длина опоры по верху:

$$B = D + 2\left(\frac{m}{2} + 0{,}25 \text{ с.}\right).$$

Слѣдовательно, увеличенная площадь опоры по верху:

$$\omega_0 = A \,.\, B,$$

при чемъ, очевидно, эта площадь ω_0 значительно болѣе расчетной

$$\omega_\omega = \frac{Q}{R} = 4\,(n \times m).$$

Въ этомъ случаѣ:

$$\omega_x = \omega_0\, e^{\frac{\delta x}{R}} = A.B.\, e^{\frac{\delta x}{R}},$$

$$A_x = A \sqrt{e^{\frac{\delta x}{R}}},$$

$$B_x = B \sqrt{e^{\frac{\delta x}{R}}}.$$

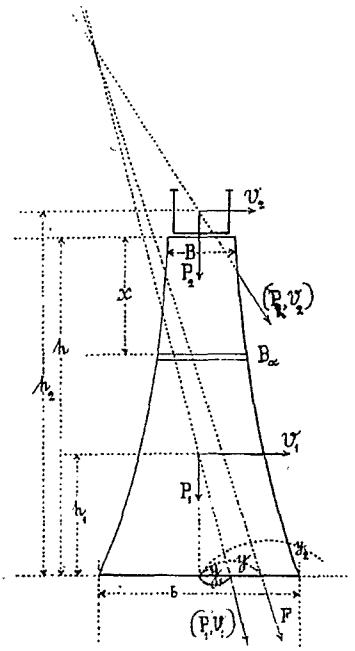


Рис. 542.

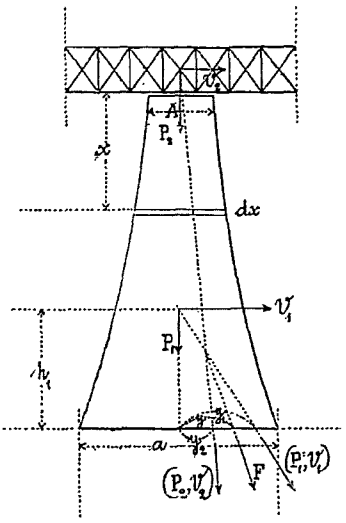


Рис. 543.

При *высокихъ* опорахъ необходимо опредѣлять размѣры быковъ по верху *въ зависимости также отъ давленія вѣтра*, исходя изъ условій устойчивости и прочности. При *высокихъ опорахъ и малыхъ пролетахъ*, опора обыкновенно *наименѣе устойчива при давленіи вѣтра вдоль оси моста.*

Пусть (рис. 542 и 543) сѣченіе прямоугольное и площадь въ вершинѣ $\omega_0 = A.B$; P_2 — вѣсъ фермы и подвижной нагрузки, передающейся на опору высотою h; V_2 — давленіе вѣтра на ферму, приложенное на разстояніи h_2 отъ основанія опоры; P_1 и V_1 — вѣсъ опоры и давленіе вѣтра на опору, при чемъ давленіе вѣтра приложено на разстояніи h_1 отъ основанія опоры, (h и h_2 имѣютъ одинаковыя значенія на обоихъ рисункахъ).

Объемъ опоры равнаго сопротивленія:

$$w = \int_0^h \omega_x\, dx = \omega_0 \int_0^h e^{\frac{\delta x}{R}}.\, dx = \omega_0 \cdot \frac{R}{\delta}\left(e^{\frac{\delta h}{R}} - 1\right) = \omega_0 \cdot \frac{R}{\delta}(E - 1). \quad (207)$$

если обозначимъ: $e^{\frac{\delta h}{R}} = E$.

Вѣсъ опоры:

$$P_1 = \omega_0 R\,(E - 1) = ABR\,(E - 1).$$

Если B и A размѣры по-верху, b и a размѣры по-низу, то:

$$\frac{a}{A} = \sqrt{\frac{\omega_h}{\omega_0}} = \sqrt{\frac{\omega_0 \cdot e^{\frac{\delta h}{R}}}{\omega_0}} = \sqrt{e^{\frac{\delta h}{R}}} = \sqrt{E}.$$

Слѣдовательно:

$$a = A\sqrt{E};\quad b = B\sqrt{E}. \quad (208)$$

для промежуточныхъ сѣченій:

$$A_x = A \sqrt{e^{\frac{\delta x}{R}}},\qquad B_x = B \sqrt{e^{\frac{\delta x}{R}}}.$$

Найдемъ значенія A и B и начнемъ съ опредѣленія значенія A, исходя изъ условія устойчивости при дѣйствіи вѣтра по направленію вдоль моста (рис. 543) и не принимая пока въ расчетъ вліянія вертикальной силы P_2 и давленія вѣтра на ферму V_2. Если P_1, V_1—равнодѣйствующая силъ P_1 и V_1; y_1 — разстояніе точки встрѣчи этой равнодѣйствующей съ основаніемъ отъ оси опоры, то:

$$\frac{y_1}{h_1} = \frac{V_1}{P_1}, \text{ или: } y_1 P_1 = V_1 h_1. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (209)$$

Затѣмъ условіе устойчивости требуетъ:

$$\mu . V_1 h_1 = P_1 \frac{a}{2} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (210)$$

гдѣ μ—коэффиціентъ устойчивости.

Слѣдовательно:

$$\frac{\frac{y_1}{a}}{\frac{2}{}} = \frac{1}{\mu}; \quad \mu = \frac{a}{2y_1}.$$

Безъ вѣтра V_1 напряженіе въ основаніи:

$$R_1 = \frac{w\delta}{\omega_h} = \frac{w\delta}{\omega_0 . E} = R\left(1 - \frac{1}{E}\right) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (211)$$

Съ вѣтромъ V_1 напряженіе:

$$R'_1 = \frac{P_1}{ab}\left(1 + \frac{6y_1}{a}\right) = R_1\left(1 + \frac{3}{\mu}\right) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (212)$$

откуда:

$$\mu = \frac{3}{\frac{R'_1}{R_1} - 1}.$$

Но если v—давленіе вѣтра на квадратную единицу, то:

$$V_1 h_1 = v \int_0^h B_x . dx\,(h - x) = v \int_0^h B \sqrt{e^{\frac{\delta x}{R}}} . (h - x)\, dx =$$

$$= v . B \int_0^h \sqrt{e^{\frac{\delta x}{R}}}\,(h - x)\, dx = v . B \left[h \frac{2R}{\delta}\left(e^{\frac{\delta h}{2R}} - 1\right) - \int_0^h e^{\frac{\delta h}{2R}} . x dx \right].$$

Но

$$-\int_0^h e^{\frac{\delta x}{2R}} . x dx = \left[-\frac{2R}{\delta} . e^{\frac{\delta x}{2R}} . x \right]_0^h + \int_0^h \frac{2R}{\delta} . e^{\frac{\delta x}{2R}}\, dx =$$

$$= \left[-\frac{2R}{\delta} e^{\frac{\delta x}{2R}} . x + \left(\frac{2R}{\delta}\right)^2 . e^{\frac{\delta x}{2R}} \right]_0^h = -\frac{2R}{\delta}\left(e^{\frac{\delta h}{2R}} . h - \frac{2R}{\delta} e^{\frac{\delta h}{2R}} + \frac{2R}{\delta} \right).$$

Слѣдовательно:

$$V_1 h_1 = v . B \frac{2R}{\delta}\left(h e^{\frac{\delta h}{2R}} - h - e^{\frac{\delta h}{2R}} h + \frac{2R}{\delta} e^{\frac{\delta h}{2R}} - \frac{2R}{\delta} \right) =$$

$$= vB . \frac{2R}{\delta}\left[\frac{2R}{\delta}\left(e^{\frac{\delta h}{2R}} - 1 \right) - h \right] = vB \frac{2R}{\delta}\left[\frac{2R}{\delta}\left(\sqrt{E} - 1\right) - h \right].$$

Слѣдовательно, на основаніи (210), вставляя вмѣсто: $P_1 = ABR(E-1)$ и $a = A\sqrt{E}$, получимъ:

$$\frac{A^2BR}{2}(E-1)\sqrt{E} = \mu \cdot Bv\frac{2R}{\delta}\left[\frac{2R}{\delta}(\sqrt{E}-1) - h\right],$$

откуда:

$$A = \sqrt{\frac{4\mu v}{\delta}\cdot\frac{\left[\frac{2R}{\delta}(\sqrt{E}-1) - h\right]}{(E-1)\sqrt{E}}} = \sqrt{\frac{4\mu v}{\delta}}\cdot\sqrt{\frac{1-\frac{h\delta}{2R(\sqrt{E}-1)}}{\frac{\delta(E-1)\sqrt{E}}{2R(\sqrt{E}-1)}}} =$$

$$= \frac{\sqrt{8\mu v R}}{\delta}\cdot\sqrt{\frac{1-\frac{\delta h}{2R(\sqrt{E}-1)}}{E+\sqrt{E}}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (213)$$

Слѣдовательно, A не зависитъ отъ размѣра B и для даннаго отношенія $\frac{R}{\delta}$ и коэффиціента устойчивости μ—величина постоянная.

Что касается:

$$\mu = \frac{3}{\frac{R'_1}{R_1} - 1},$$

то это довольно большое число, такъ какъ нежелательно, чтобы $\frac{R'_1}{R_1}$ много отличалось отъ единицы. Такъ, напримѣръ, если: $\frac{R'_1}{R_1} = 1{,}20$, то: $\mu = 15$.

Leygye *) приводитъ слѣдующія значенія A, вычисленныя по формулѣ (213) для $R = 100.000$ кил. на квадратный метръ (или 4 пуда на квадратный дюймъ); $v = 300$ кил. на квадратный метръ (или 1,70 пуда на квадратный футъ); $\mu = 15$ и $\delta = 2200$ кил. на кубическій метръ (1304 пуд. на кубич. саж.).

h	$\frac{\delta h}{R}$	$E = e^{\frac{\delta h}{R}}$	$\sqrt{1-\frac{\delta h}{2R(\sqrt{E}-1)}}{E+\sqrt{E}}$	$\frac{\sqrt{8Rv\mu}}{\delta}$	A
метр.					
20	0,440	1,556	0,197	27,27	5,372
50	1,100	3,000	0,230	—	6,272
100	2,200	9,025	0,194	—	5,290
150	3,300	27,114	0,137	—	3,736

Такимъ образомъ въ данномъ случаѣ нормальному напряженію соотвѣтствуетъ очень большой коэффиціентъ устойчивости. Опредѣлимъ теперь размѣры A, принявъ въ расчетъ вѣсъ фермъ и подвижной нагрузки P_2, а также давленіе вѣтра V_2 на ферму вдоль моста.

Если принять въ расчетъ постоянную и подвижную нагрузку P_2 и давленіе вѣтра V_2 на верхнее строеніе моста и на подвижную нагрузку, то устойчивость

*) Leygye. Piles et pilons de grande hauteur. Annales des ponts et chaussées 1886 г.

опоры *увеличится* или *уменьшится*, смотря по тому, будетъ ли:

$$\frac{P_2 a}{V_2 h_2} > \frac{P_1 a}{V_1 h_1}, \text{ или: } \frac{P_2 a}{V_2 h_2} < \frac{P_1 a}{V_1 h_1},$$

то есть будетъ ли (см. рис. 543):

$$y_2 < y_1, \text{ или } y_2 > y_1.$$

Дѣйствительно:

$$\frac{y_2}{h_2} = \frac{V_2}{P_2}; \frac{y_1'}{h_1} = \frac{V_1}{P_1}; y_2 = \frac{V_2 h_2}{P_2}; y_1 = \frac{V_1 h_1}{P_1};$$

слѣдовательно:

$$y_2 < y_1 \text{ есть: } \frac{V_2 h_2}{P_2} < \frac{V_1 h_1}{P_1}, \text{ или: } \frac{P_2}{V_2 h_2} > \frac{P_1}{V_1 h_1}.$$

Равнымъ образомъ условіе: $y_2 > y_1$ сведется къ требованіе:

$$\frac{P_2}{V_2 h_2} < \frac{P_1}{V_1 h_1}.$$

Первое условіе для металлическихъ пролетныхъ частей всегда выполнено, (что и изображено на рис. 543), такъ какъ V_2 (давленіе вѣтра вдоль фермы) очень незначительно, а P_2—не менѣе 5000 кил. на погонный метръ, то есть не менѣе, примѣрно, 100 пудовъ на погонный футъ пути. Слѣдовательно, устойчивость высокихъ каменныхъ опоръ по направленію вдоль моста наименьшая при отсутствіи загрузки.

Размѣры B опредѣляются разстояніемъ между фермами и должны быть во всякомъ случаѣ не менѣе A. Здѣсь отношеніе $\frac{P_2}{V_2}$ менѣе выгодно, чѣмъ въ предыдущемъ случаѣ; оно измѣняется въ предѣлахъ отъ 2 до 4. Слѣдовательно, отклоненіе кривой давленія (рис. 542) здѣсь болѣе значительно, при чемъ большею частью $y_2 > y_1$, т. е. принятіе въ расчетъ P_2 вѣса фермъ и нагрузки и давленія вѣтра V_2 — по направленію, нормальному къ длинѣ моста, *уменьшаетъ* коэффиціентъ устойчивости, опредѣленный безъ принятія въ расчетъ силъ P_2 и V_2, въ виду чего назначеніе при этомъ послѣднемъ предположеніи высокаго коэффиціента $\mu = 15$ (такъ какъ B не менѣе A) или даже $\mu > 15$ вполнѣ оправдывается.

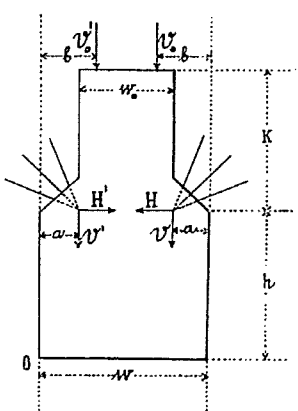


Рис. 544.

Опредѣленіе размѣровъ быковъ подкосныхъ фермъ изъ условій устойчивости и прочности. Пусть: V_0, V, H (рис. 544) выражаютъ вертикальное давленіе отъ прогона, отъ подкосовъ и распоръ отъ подкосовъ на единицу длины быка и соотвѣтствуютъ загруженному пролету, а V_0', V' и H'—незагруженному.

Примѣняя *первый* пріемъ, слѣдуетъ задаться размѣрами по эмпирическимъ формуламъ и провѣрить затѣмъ устойчивость, какъ въ основаніи, такъ и въ плоскости пятъ. Провѣряя устойчивость въ плоскости пятъ, напр. отиосительно сдвига, мы должны имѣть: $H - H' \leqslant Qf$, гдѣ Q—вѣсъ верхней части опоры (выше пятъ) и пролетныхъ частей съ нагрузкой или безъ нагрузки, f — коэффиціентъ тренія камня по камню, равный $f = 0{,}7$. Не всегда оказывается возможнымъ удовлетворить этому требованію и поэтому приходится расчитывать на сопротивленіе

раствора срѣзыванію, что для временнаго сопротивленія цементнаго раствора въ составѣ (1 : 2) будетъ около 10 пудовъ на квадратный дюймъ (стр. 484). Лучше располагать камни нормально къ кривой давленія или подъ угломъ не болѣе угла тренія; тогда горизонтальному распору будетъ сопротивляться срѣзываніе камней, что для временнаго сопротивленія гранита составляетъ около 30 $\frac{\text{пуд.}}{\text{дм.}^2}$ (стр. 492); сдвига по наклонной плоскости также не можетъ быть. Если швы оставляются горизонтальными, то, не расчитывая на растворъ, закладываютъ между смежными рядами каменные кубики и понижаютъ такимъ образомъ плоскость возможнаго сдвига, пока не получится достаточное сопротивленіе тренію (см. опоры Николаевскаго моста въ Петербургѣ).

При провѣркѣ условій устойчивости въ плоскости основанія, подъ Q слѣдуетъ подразумѣвать полный вѣсъ опоры и фермъ съ нагрузкой или безъ нагрузки, при чемъ f —въ зависимости отъ условій грунта измѣняется отъ $f = 0{,}3$ до $f = 0{,}65$. При недостаточной устойчивости слѣдуетъ углубить основаніе и взять въ расчетъ отпоръ земли. (Стр. 664).

Провѣривъ устойчивость быка относительно опрокидыванія, какъ въ плоскости пятъ, такъ и въ основаніи, необходимо еще провѣрить прочность, принимая въ расчетъ неравномѣрное сжатіе.

Примѣняя *второй* пріемъ, т. е. опредѣляя размѣры расчетомъ, толщину быка по-верху w_0 можно опредѣлить въ зависимости отъ сопротивленія усиліямъ: $V_0 + V_0$, или $V_0 + V'_0$, принимая во вниманіе равномѣрное и неравномѣрное сжатія. Значеніе же толщины по-низу, т. е. w найдется изъ условія устойчивости. Вращеніе произойдетъ около ребра O, слѣдовательно:

$$\alpha\,(H - H')\,h = V'a + V(w - a) + V'_0 b + V_0(w - b) + \frac{w^2 h\delta}{2} + \frac{w_0 h\delta w}{2}\ *),$$

гдѣ α—коэффиціентъ устойчивости.

Обозначая: $\alpha(H - H')\,h + a\,(V - V') + b\,(V_0 - V') = B$,

$$\frac{V + V_0 + \frac{w\delta^0 k}{2}}{\delta h} = A,$$

получимъ:

$$w = -A + \sqrt{A^2 + \frac{2B}{h\delta}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (214)$$

Затѣмъ остается еще опредѣлить размѣры изъ условій прочности, предполагая оба пролета загруженными или только одинъ изъ нихъ, смотря потому, что невыгоднѣе. Если напр., оба пролета одинаковы и одинъ изъ нихъ не загруженъ, то, называя: $v_0 + v'_0 + V + V' + w_0 h = N$, минимальные размѣры w найдемъ изъ условія, чтобы при направленіи равнодѣйствующей въ разстояніи $\frac{w}{3}$ отъ наиболѣе сжатаго ребра, напряженіе не превосходило бы R.

Тогда: $$R = \frac{2\,(N + \Sigma wh)\,\alpha}{w}, \quad \text{откуда} \quad w = \frac{2N\alpha}{R - \Sigma h\alpha}, \quad . \quad . \quad (215)$$

гдѣ α—коэффиціентъ устойчивости.

Если быкъ имѣетъ подводныя части, то нужно еще сдѣлать провѣрку, принявъ во вниманіе давленіе воды, что хотя понизитъ общее давленіе, но можетъ

*) пренебрегая вѣсомъ треугольныхъ призмъ.

оказаться невыгоднымъ въ смыслѣ перемѣщенія равнодѣйствующей ближе къ одному изъ краевъ.

Опредѣленіе размѣровъ быковъ арочныхъ фермъ. Пусть буквы безъ значковъ относятся къ незагруженному пролету, а со значками—къ загруженному.

Согласно прежнему обозначенію (стр. 678):

$$H' = (\delta d + \delta_1 d_1 + \pi) \cdot \left(\rho_0 + \frac{d}{2}\right) \text{ (рис. 545)},$$

гдѣ π—подвижная нагрузка на кв. единицу.

$$H = (\delta d + \delta_1 d_1) \cdot \left(\rho_0 + \frac{d}{2}\right).$$

Слѣдовательно:

$$H' - H + \pi \left(\rho_0 + \frac{d}{2}\right) = H''.$$

Если толщина быка опредѣлена по эмпирической формулѣ, то, принимая *первый* пріемъ, провѣрку устойчивости можно сдѣлать по формуламъ:

$$H'k' < Pp + V'w + Hk, \text{ если: } H'k' > Hk,$$

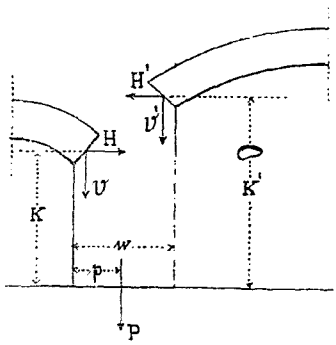
или:

$$Hk < P(w - p) + Vw + H'k', \text{ если: } H'k' < Hk.$$

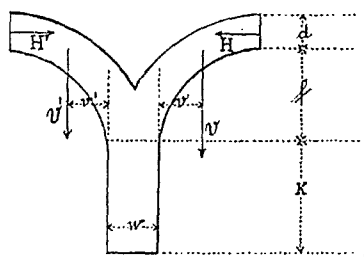
Затѣмъ слѣдуетъ еще прибавить моментъ давленія воды на основаніе быка. Если это давленіе — U, разстояніе равнодѣйствующей отъ лѣваго ребра — u, то:

$$H'k' < Pp + V'w + Hk - U \cdot u;$$

$$Hk < P(w - p) + Vw + H'k' - U(w - u),$$



Черт. 545.



Черт. 546.

при чемъ коэффиціентъ устойчивости долженъ быть не менѣе 1,7—2,00.

Далѣе необходимо сдѣлать повѣрку устойчивости противъ срѣзыванія въ плоскости пятъ свода, принимая пріемы, указанные въ отношеніи быковъ подкосныхъ фермъ. Расположеніе кладки внутри быка по направленію, нормальному къ кривой давленія, есть наиболѣе дѣйствительное средство для увеличенія сопротивленія срѣзыванію и для пониженія плоскости возможнаго сдвига.

Принимая *второй* пріемъ, и въ предположеніи заложенія пятъ на одной высотѣ (рис. 546), будемъ имѣть:

$$\alpha \left[H'' \left(\frac{d}{2} + f + k\right) + V \cdot v - V'(v' + w) \right] = \frac{kw^2}{2}.$$

Обозначая:

$$\alpha \left[H'' \left(\frac{d}{2} + f + k\right) + V \cdot v - V'v' \right] = C,$$

получимъ:

$$w = -\frac{\alpha V'}{\delta k} + \sqrt{\frac{2C}{k\delta} + \left(\frac{\alpha V'}{\delta k}\right)^2},$$

Что же касается опредѣленія размѣровъ изъ условій прочности, то и въ данномъ случаѣ:

$$w = \frac{2N\alpha}{R - \delta h\alpha} \quad \ldots \ldots \ldots \quad (215')$$

гдѣ $N = V + V'$.

Опредѣленіе размѣровъ быка въ зависимости отъ силы ледохода. — Общія соображенія. — Опредѣленіе приведенной массы быка. — Опредѣленіе работы, поглощенной послѣ удара льдиной и быномъ, въ предположеніи, что пріобрѣтенная ими послѣ удара общая скорость обратится въ нуль. — Распредѣленіе между опорой и льдиной общей поглощенной ими работы при остановкѣ движенія.—Выраженіе работы, поглощенной каждымъ изъ ударяющихся тѣлъ въ видѣ работы, затраченной на деформацію и въ видѣ работы сопротивляющихся силъ упругости.—Опредѣленіе значенія силы, эквивалентной дѣйствію удара.—Формулы для опредѣленія напряженія въ основаніи быка.—Примѣненіе формулъ къ численному примѣру.

Общія соображенія. При постройкѣ городского Канзаскаго моста (въ Америкѣ) чрезъ рѣку Миссури, размѣры быковъ въ зависимости отъ ледохода были опредѣлены слѣдующимъ образомъ. Предполагая, что льдина при ударѣ о ледорѣзъ раздробляется, опредѣлили ту силу, которая необходима, чтобы раздробить льдину по всему переднему периметру быка. Для устойчивости необходимо, чтобы отношеніе между этой силой и вѣсомъ быка выше горизонта ледохода, со включеніемъ вѣса пролетныхъ частей, было менѣе коэффиціента тренія камня по камню. Непосредственные опыты показали, что ледъ раздробляется при усиліи 11,25 пуд. на квадратный дюймъ. Для упомянутаго случая наибольшая толщина льдины была принята въ 1 футъ, толщина быка въ уровнѣ ледохода—11 футъ. Слѣдовательно, сила, раздробляющая льдину, составляла 17.820 пудовъ. Верхняя часть быка вмѣстѣ съ верхнимъ строеніемъ составляла 43.790 пудовъ. Отношеніе: $\frac{17.820}{43.790} = 0{,}4$, что меньше коэффиціента тренія камня по камню.

Въ данномъ случаѣ слѣдовало бы провѣрить живое упругое сопротивленіе быка удару наибольшей льдины, движущейся съ соотвѣтственной наибольшей скоростью.

Можно примѣнить слѣдующій приблизительный пріемъ расчета, основанный на предварительномъ опредѣленіи силы, производящей при ударѣ изгибъ и сжатіе,— путемъ приравниванія общей поглощенной при остановкѣ движенія работы — работѣ, затраченной на деформацію *обоихъ* ударяющихся тѣлъ. Если такимъ образомъ будетъ опредѣлена сила и направленіе удара, а слѣдовательно будутъ извѣстны: P — горизонтальная составляющая и s — вертикальная составляющая удара, а также и точка приложенія, то легко уже провѣрить устойчивость опоры на опрокидываніе и срѣзываніе, а также провѣрить и прочность матеріала въ любомъ горизонтальномъ сѣченіи опоры по формулѣ:

$$R = \frac{s}{\omega} \pm M\frac{z}{I} = \frac{s}{\omega} \pm Ph\frac{z}{I},$$

если h—плечо опрокидывающаго момента удара: ω и $\frac{I}{z}$ — площадь и моментъ сопротивленія разсматриваемаго сѣченія опоры.

Можно также провѣрить *прочность* опоры, неприбѣгая къ опредѣленію силы удара: достаточно найти выраженіе работы, затраченной на деформацію *каждаго* изъ ударяющихся тѣлъ и приравнять работѣ *сопротивляющихся* деформаціи *силъ упругости*. Эта послѣдняя работа, какъ извѣстно, выражается произведеніемъ объема тѣла на нѣкоторый постоянный множитель, зависящій отъ формы

тѣла, а также рода удара, на коэффиціентъ *живого* сопротивленія матеріала, которое можетъ быть *прочнымъ*, *упругимъ* или *временнымъ*. Результаты провѣрки должны быть одинаковы въ обоихъ случаяхъ, если напряженіе не превосходитъ предѣла упругости.

Въ дальнѣйшемъ будемъ пользоваться формулами, относящимися къ центральному удару свободныхъ неупругихъ тѣлъ; при этомъ предполагается, что всѣ частицы каждаго изъ тѣлъ движутся съ одинаковой скоростью, какъ до удара, такъ и послѣ удара, и что въ моментъ удара центры тяжести обоихъ тѣлъ находятся на прямой, нормальной къ плоскости касательной къ поверхностямъ тѣлъ въ точкѣ ихъ взаимнаго соприкасанія. Если второе тѣло съ массой m_1 въ покоѣ, но свободно, а первое съ массой m имѣетъ скорость v, то общая скорость въ концѣ перваго періода удара, послѣ того, какъ наступило въ мѣстѣ удара наибольшее мѣстное сжатіе, будетъ:

$$c = \frac{m \,.\, v}{m + m'} \text{ *).}$$

Ударяющее тѣло (льдина) находится въ указанныхъ выше условіяхъ; ударяемое же тѣло (быкъ)—не свободно,—одна изъ окопечностей тѣла неподвижна. Слѣдовательно, эту формулу можно было бы примѣнить только къ находящимся по линіи удара частицамъ втораго тѣла. Но если желаемъ примѣнить ее ко всему тѣлу, то подъ m_1 слѣдуетъ понимать *приведенную* массу тѣла, предположенную какъ бы сосредоточенной въ мѣстѣ удара и обладающей въ концѣ перваго пе-

---

*) Если t — продолжительность перваго періода удара, т. е. промежутокъ времени, прошедшій съ перваго момента удара до наступленія наибольшаго сжатія; если, далѣе, элементу времени dt соотвѣтствуетъ перемѣнная сила удара p, то соотвѣтствующее ускореніе:

$$n = \frac{p}{m},$$

гдѣ m — масса ударяющаго тѣла. Для ударяемаго тѣла съ массой m' ускореніе:

$$n' = \frac{p}{m'}.$$

Но при равномѣрно-ускоренномъ движеніи, если γ и γ' — скорости, то:

$$\frac{d\gamma}{dt} = n;\ \frac{d\gamma'}{dt} = n' \text{ и } \gamma_t = \int_0^t n dt = \frac{1}{m}\int_0^t p \,.\, dt;\ \gamma_t' = \frac{1}{m'}\int_0^t p \,.\, dt.$$

Такимъ образомъ, по прошествіи времени t, послѣ котораго ударяющее и ударяемое тѣла начнутъ двигаться съ общею скоростью c, первое тѣло потеряло скорость γ_t, а второе пріобрѣло — γ_t'. Слѣдовательно:

$$v - \gamma_t = c;\ 0 + \gamma_t' = c, \text{ или: } v - \frac{1}{m}\int_0^t p \,.\, dt = c;\ \frac{1}{m'}\int_0^t p \,.\, dt = c.$$

Исключивъ изъ двухъ послѣднихъ уравненій:

$$\int_0^t p \,.\, dt,$$

найдемъ:

$$v - \frac{m' \,.\, c}{m} = c;\ c = \frac{m \,.\, v}{m + m'}.$$

Слѣдовательно, въ промежутокъ времени t — ударяющее тѣло уменьшаетъ свою скорость съ v до c, а ударяемое—увеличиваетъ съ 0 до c.

ріода удара той же живой силой, какую имѣетъ въ дѣйствительности данное тѣло въ тотъ же моментъ. Для опредѣленія приведенной массы обыкновенно предполагаютъ, что въ первый періодъ удара (во время t) вліяніе удара сообщается *одновременно* всѣмъ частицамъ тѣла, что частицы измѣняютъ свое относительное положеніе не съ одинаковой скоростью, что скорость эта постоянно убываетъ отъ мѣста удара по направленію къ неподвижно-укрѣпленному концу тѣла и, наконецъ, что эти скорости пропорціоиальны тѣмъ перемѣщеніямъ (прогибамъ, укороченіямъ), которыя проявились бы при наступленіи равновѣсія, подъ дѣйствіемъ нѣкоторой *постоянной* силы, положеніе и направленіе которой одинаковы съ ударяющей силой.

Установивъ эти иоложенія, легко уже найти выраженія *приведенной* массы быка въ различныхъ случаяхъ.

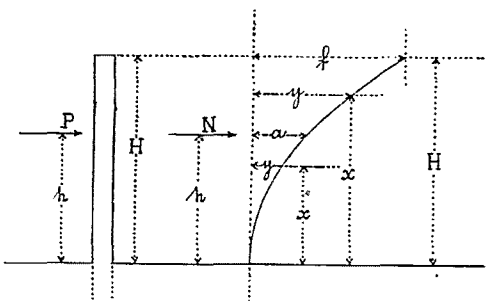
Опредѣленіе приведенной массы быка. а) *Въ случаѣ дѣйствія горизонтально-ударяющей силы.*

Разсматриваемъ быкъ (рис. 547), какъ балку однообразнаго сѣченія, задѣланную однимъ концомъ неподвижно и подверженную на высотѣ h—дѣйствіо ударяющей силы P, одушевленной скоростью v.

Пусть вся высота опоры—H, вѣсъ ея—Q, дѣйствительная масса: $M = \frac{Q}{g}$, а M_1' — искомая приведенная масса.

Если Q — вѣсъ опоры, то элементъ массы: $\frac{Q}{Hg} \cdot dx$; если, далѣе, a — стрѣла прогиба въ точкѣ дѣйствія силы P, то элементъ массы, приведенной въ упомянутую точку:

$$\frac{Q}{Hg}\left(\frac{y^2}{a^2}\right) \cdot dx,$$



Черт. 547.

такъ какъ мѣриломъ живой силы служитъ квадратъ скорости, съ которой при деформаціи частицы тѣла измѣняютъ свое положеніе, а скорости, согласно предположеніе, пропорціоиальны перемѣщеніямъ (въ данномъ случаѣ прогибамъ) подъ дѣйствіемъ нѣкоторой постоянной силы N, того же направленія и иоложенія, какъ ударяющая сила.

Для сѣченій:

$$o < x < h; \quad y = \frac{N}{6\,EI}(3h - x)\,x^2 \text{ *}); \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (216)$$

для

$$x = h; \; . \; y = a = \frac{Nh^3}{3\,EI} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (217)$$

*) $EI\frac{d^2y}{dx^2} = N\,(h - x)$; $EI\frac{dy}{dx} = N\left(hx - \frac{x^2}{2}\right) + c$; $EIy = N\left(\frac{hx^2}{2} - \frac{x^3}{6}\right) + Cx + c'$.

При

$$x = 0,\; y = 0 \text{ и } \frac{dy}{dx} = 0.$$

Слѣдовательно:

$$c' = 0 \text{ и } c = 0.$$

Поэтому:

$$y = \frac{N}{6\,EI}(3h - x)x^2.$$

Для

$$h < x < H:$$

$$y = a + \frac{Nh^2}{2EI}(x - h) = \frac{Nh^2}{EI}\left(\frac{h}{3} + \frac{x-h}{2}\right) = \frac{Nh^2}{2EI}\left(x - \frac{h}{3}\right)^{*}), \quad . \quad (218)$$

т. е. въ предѣлахъ между: $x = 0$ и $x = h$ быкъ будетъ сгибаться по нѣкоторой кривой линіи, и далѣе — по прямой линіи.

Слѣдовательно, значеніе приведенной массы быка въ точкѣ дѣйствія удара:

$$M_1' = \frac{Q}{gHa^2}\left[\int_0^h y^2 \, . \, dx + \int_h^H y^2 \, . \, dx\right].$$

Но

$$\int_0^h y^2 \, . \, dx = \frac{N^2}{36E^2I^2}\int_0^h (9h^2 - 6hx + x^2)x^4 \, . \, dx = \frac{N^2}{36E^2I^2}\left[\frac{9h^2}{5} - h^7 + \frac{h^7}{7}\right] =$$

$$= \frac{11}{420} \cdot \frac{N^2}{E^2I^2} \cdot h^7.$$

Затѣмъ:

$$\int_h^H y^2 \, . \, dx = \frac{N^2h^4}{4E^2I^2}\int_h^H \left(x^2 - \frac{2xh}{3} + \frac{h^2}{9}\right) dx =$$

$$= \frac{N^2h^4}{4E^2I^2}\left[\frac{H^3}{3} - \frac{h^2}{3} - \frac{H^2h}{3} + \frac{h^3}{3} + \frac{h^2H}{9} - \frac{h^3}{9}\right] = \frac{N^2h^4}{4E^2I^2}(H - h) \, . \left(\frac{H^2}{3} + \frac{h^2}{9}\right) =$$

$$= \frac{N^2h^4}{12E^2I^2}(H - h) \, . \left(H^2 + \frac{h^2}{3}\right).$$

Слѣдовательно:

$$M_1' = \frac{Q}{gHa^2}\left[\int_0^h y^2 \, . \, dx + \int_h^H y^2 \, . \, dx\right] =$$

---

*) $$EI\frac{d^2y}{dx^2} = 0; \quad EI\frac{dy}{dx} = C_1; \quad EIy = C_1x + C_1'.$$

При $x = h$, $\frac{dy}{dx}$ и y имѣютъ тѣ же значенія, какъ въ предыдущемъ случаѣ. Слѣдовательно:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{N}{EI}\left(h^2 - \frac{h^2}{2}\right) = \frac{Nh^2}{2EI},$$

а потому:

$$C_1 = \frac{Nh^2}{2}.$$

Затѣмъ, при $x = h$, въ обоихъ случаяхъ: $y = a$. Слѣдовательно:

$$EIa = \frac{Nh^2}{2}h + C_1',$$

а потому:

$$C_1' = EIa - \frac{Nh^3}{2}.$$

Слѣдовательно:

$$y = \frac{C_1x}{EI} + \frac{C_1'}{EI} = \frac{Nh^2}{2EI} \, . \, x + a - \frac{Nh^3}{2EI} = a + \frac{Nh^2}{2EI}(x - h).$$

$$= \frac{Q9E^2I^2}{gHN^2h^6}\left[\frac{11}{420}\cdot\frac{N^2h^7}{E^2I^2} + \frac{N^2h^4}{12E^2I^2}(H-h)\cdot\left(H^2+\frac{h^2}{3}\right)\right] =$$

$$= \frac{Q}{gH}\left[\frac{33}{140}\cdot h + \frac{3}{4h^2}(H-h)\cdot\left(H^2+\frac{h^2}{3}\right)\right] \text{*)} \quad . \quad . \quad . \quad (219)$$

Если на вершинѣ опоры лежитъ какая-либо масса μ, то приведенная масса въ мѣстѣ удара:

$$\mu_1 = \mu\cdot\frac{f^2}{a^2},$$

гдѣ f — стрѣла прогиба опоры въ вершинѣ.

---

*) Въ дѣйствительности быкъ съ ледорѣзомъ имѣетъ неоднообразное сѣченіе по высотѣ. Разбивъ его по высотѣ, напримѣръ, на 3 части, какъ показано на рис. 548 и назвавъ, чрезъ q_1 и q_3 — постоянные вѣса на погонную единицу нижней и верхней части быка, а чрезъ q_x — перемѣнный вѣсъ на погонную единицу средней части (съ наклоннымъ ребромъ), найдемъ приведенную массу быка по формулѣ:

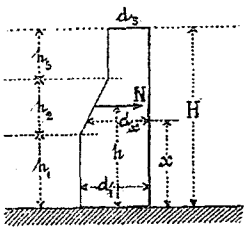
$$M_1' = \frac{q_1}{ga^2}\int_0^{h_1} y^2\cdot dx + \frac{1}{ga^2}\int_{h_1}^{h} q_x\cdot y^2\cdot dx + \frac{1}{ga^2}\int_{h}^{h_1+h_2} q_x\cdot y^2\cdot dx + \frac{q_3}{ga^2}\int_{h_1+h_2}^{H} y^2\cdot dx,$$

гдѣ q_x — если предположить, что опора имѣетъ по всей высотѣ постоянную толщину b, — выразится чрезъ:

$$q_x = \delta b\cdot d_x = \delta b\left[d_3 + \frac{(h_1+h_2-x)\cdot(d_1-d_3)}{h_2}\right],$$

при чемъ δ — вѣсъ кубической единицы кладки.

Далѣе въ каждомъ изъ интеграловъ y — имѣетъ различное значеніе. Эти послѣднія выраженія, а равно и выраженіе стрѣлы прогиба a, найдутся по интегрированіи слѣдующихъ четырехъ простыхъ дифференціальныхъ уравненій:



Черт. 548.

для 1-го участка, при $0 < x < h_1$: $EI_1\dfrac{yd^2}{dx^2} = N(h-x)$;

для 2-го участка, при $h_1 < x < h$: $EI_x\dfrac{d^2y}{dx^2} = N(h-x)$,

гдѣ I_x — перемѣнная величина. Предполагая, что толщина опоры постоянная по всей высотѣ и напр. b, то:

$$I_x = \frac{1}{12}b(d_x)^3, \text{ гдѣ: } d_x = d_3 + \frac{(h_1+h_2-x)\cdot(d_1-d_3)}{h_2}.$$

Для 3-го участка, при $h < x < (h_1+h_2)$; $EI_x\dfrac{d^2y}{dx^2} = 0$,

гдѣ I_x — перемѣнная величина и выражается подобно предыдущему.

Для 4-го участка, при $h_1+h_2 < x < H$: $EI_3\dfrac{d^2y}{dx^2} = 0$.

Восемь произвольныхъ постоянныхъ опредѣлятся изъ условій:

при $x=0$, $y_{(1)}=0$ и $\dfrac{dy_{(1)}}{dx}=0$;

при $x=h_1$, $y_{(1)}=y_{(2)}$ и $\dfrac{dy_{(1)}}{dx}=\dfrac{dy_{(2)}}{dx}$;

при $x=h$, $y_{(2)}=y_{(3)}$ и $\dfrac{dy_{(2)}}{dx}=\dfrac{dy_{(3)}}{dx}$;

при $x=h_1+h_2$, $y_{(3)}=y_{(4)}$ и $\dfrac{dy_{(3)}}{dx}=\dfrac{dy_{(4)}}{dx}$.

Формулы упростятся, если трапецоидальный профиль средней части быка съ наклоннымъ ребромъ замѣнить равнозначущимъ прямоугольнымъ профилемъ, при чемъ получатся постоянными: вѣсъ на погонную единицу — q_2, а равнымъ образомъ и моментъ инерціи I_2 площади горизонтальнаго сѣченія опоры.

б) *Въ случаѣ дѣйствія вертикально-ударяющей силы на вершину опоры.*

Пусть (рис. 549) вертикально-ударяющая сила—S, площадь сѣченія опоры—ω, элементъ массы: $\frac{Q}{gH} \cdot dx$. Если λ—укороченіе въ вершинѣ опоры въ мѣстѣ удара, то укороченіе въ какомъ-либо сѣченіи, удаленномъ на разстояніе x отъ вершины, будетъ λ_x. Скорости при деформаціи (сжатіи тѣла), согласно предположенію, пропорціональны перемѣщеніямъ (укороченіямъ) подъ дѣйствіемъ нѣкоторой постоянной силы T, того же направленія и положенія, какъ ударяющая сила S. Но въ такомъ случаѣ:

$$\lambda_x = \lambda \times \frac{H - x}{H}.$$

Слѣдовательно:

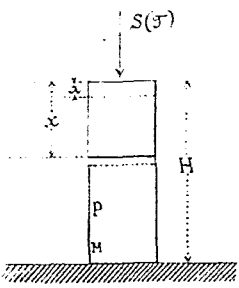
$$M_{II} = \frac{Q}{Hg} \int_0^H \frac{(\lambda_x)^2}{\lambda^2} \cdot dx = \frac{Q}{Hg} \int_0^H \frac{(H-x)^2}{H^2} \cdot dx = \frac{Q}{H^3 g}\left[H^3 - H^3 + \frac{H^3}{3}\right] = \frac{Q}{3g}.$$

Слѣдовательно:

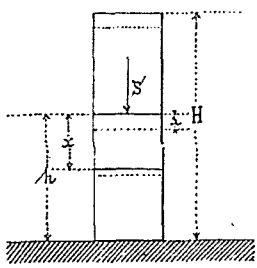
$$M_{II} = \frac{M}{3}, \quad \ldots \ldots \ldots \quad (220)$$

т. е. приведенная масса составляетъ лишь треть дѣйствительной массы.

в) *Въ случаѣ дѣйствія вертикально-ударяющей силы на нѣкоторомъ разстояніи отъ вершины опоры.*



Черт. 549.



Черт. 550.

Если предположить (рис. 550), что вся сила тратится на сжатіе нижней части опоры, то, согласно предыдущему, приведенная масса нижней части опоры:

$$\frac{Q}{gH} \int_0^h \frac{(h-x)^2}{h^2} \cdot dx = \frac{Q}{3g} \cdot \frac{h}{H}.$$

Всѣ сѣченія верхней части опоры имѣютъ то же перемѣщеніе, какъ и сѣченіе, гдѣ происходитъ ударъ, поэтому приведенная масса верхней части опоры равняется ея дѣйствительной массѣ, т. е. $\frac{Q}{gH}(H - h)$. Слѣдовательно, общая приведенная масса опоры:

$$M_{II} = \frac{Q}{3g} \cdot \frac{h}{H} + \frac{Q}{gH}(H - h) = \frac{Q}{g} - \frac{2}{3} \cdot \frac{Qh}{gH} =$$

$$= M - \frac{2}{3} \cdot \frac{Mh}{H} = M\left(1 - \frac{2}{3} \cdot \frac{h}{H}\right), \quad \ldots \ldots \quad (221)$$

$\left(\text{при } h = H,\ M_{II} = \frac{M}{3}\right)$.

Опредѣливъ выраженія приведенныхъ массъ, подвергающихся при ударѣ изгибу и сжатію, можемъ уже найти выраженіе поглощенной работы.

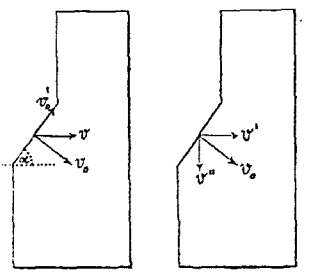
Опредѣленіе работы, поглощенной послѣ удара льдиной и быкомъ (въ общей совокупности), въ предположеніи, что пріобрѣтенная ими послѣ удара общая скорость обратится въ нуль. Замѣтимъ предварительно, что, если льдина одушевлена скоростью v, то, благодаря тому, что ледорѣзъ имѣетъ наклонное ребро, скорость, вліяющая на силу удара, будетъ не v, а $v_0 = v \sin \alpha$ (рис. 551), гдѣ

α — уголъ, составленный ребромъ ледорѣза съ горизонталью; вторая составляющая v_0' — вызоветъ поднятіе льдины по ребру ледорѣза и удара не произведетъ. Для удобства рѣшенія задачи разложимъ нормальную къ ребру ледорѣза скорость v_0 на v' — совпадающую съ первоначальнымъ направленіемъ, и на v'' — вертикальную составляющую, и разсмотримъ отдѣльно вліяніе обѣихъ составляющихъ *). Такимъ образомъ:

$$v' = v_0 . \sin\alpha = v . \sin^2\alpha; \quad v'' = v_0 . \cos\alpha = v . \sin\alpha . \cos\alpha.$$

Если M — масса льдины, v — скорость, съ которою она подошла къ быку, M_1 — приведенная масса быка (въ предположеніи, что вся его масса сосредоточена въ точкѣ дѣйствія удара), тогда общая скорость, съ которою быкъ и льдина начинаютъ перемѣщаться по *горизонтальному направленію* послѣ удара, вслѣдъ за образованіемъ наибольшаго сжатія обоихъ ударяющихся тѣлъ:

$$c' = \frac{Mv'}{M + M_1}.$$



Черт. 551.

Потерянная при ударѣ живая сила будетъ:

$$B = \frac{Mv'^2}{2} - (M + M_1)\frac{c'^2}{2} = \frac{Mv'^2}{2} - \frac{M^2v'^2}{2(M+M_1)} = \frac{MM_1v'^2}{2(M+M_1)} =$$

$$= \frac{Mv'^2}{2} \cdot \frac{M_1}{(M+M_1)}, \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (222)$$

которая израсходуется частью на нагрѣваніе, частью на измѣненіе молекулярнаго строенія, па мѣстиое сжатіе льдины и быка.

Въ обоихъ ударившихся тѣлахъ останется за симъ запасъ живой силы:

$$D = \frac{M^2 . v'^2}{2(M+M_1)} = \frac{M . v'^2}{2} \cdot \frac{M}{M + M_1}, \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (223)$$

который сохраняется въ нихъ во все время движенія съ общей скоростью c'.

Если отъ какой-либо причины скорость c' постепенно или мгновенно обратится въ нуль, то произойдетъ потеря и оставшагося запаса живой силы. Такимъ образомъ при указанныхъ условіяхъ первоначальная живая сила $\frac{Mv'^2}{2}$ (если скорость встрѣчнаго тѣла равна 0) израсходуется въ два пріема: въ первый произойдетъ потеря живой силы или работы: $\frac{MM_1}{2(M+M_1)} . v'^2$ — какъ неизбѣжный результатъ удара, а во второй—потеря живой силы или работы: $\frac{M^2 . v'^2}{2(M+M_1)}$ — какъ слѣдствіе перехода скорости c' въ нуль **). Въ нашемъ случаѣ — переходъ ско-

*) Здѣсь можетъ показаться страннымъ, что получилось опредѣленное рѣшеніе при разложеніи скорости v по тремъ направленіямъ, изъ которыхъ одно совпадаетъ съ первоначальнымъ направленіемъ. Задача теряетъ свою неопредѣленность, если одна изъ составляющихъ задана по величинѣ и направленію, какъ, напримѣръ, въ данномъ случаѣ—v_0'.

**) Работа, потерянная при ударѣ (первая часть), иногда называется *потерянной* работой, а вторая—*полезной*, такъ какъ ею можно воспользоваться для совершенія полезной работы, хотя при извѣстныхъ условіяхъ—первая работа можетъ быть полезной, а вторая—обратно—потерянной, безполезной. Такъ, напримѣръ, при забивкѣ гвоздя вѣсомъ P, молоткомъ вѣ-

ростп изъ c' въ нуль будетъ вызванъ тѣмъ, что опора однимъ концомъ задѣлапа; результатомъ стремленія перемѣщаться съ общей скоростью c'—будетъ изгибъ опоры, который будетъ продолжаться до тѣхъ поръ, пока запасъ живой силы при переходѣ скорости изъ c' въ нуль не истратится на образованіе прогиба быка, на сжатіе льдины и на боковое сжатіе грунта, въ который задѣлана опора. Путь, пройденный быкомъ до полной остановки движенія, опредѣлится прогибомъ, величина коего въ мѣстѣ удара есть—a. Каждая изъ указанныхъ

сомъ Q, обладающимъ скоростью v, *первая* работа, выражающаяся, на основаніи формулы (222):

$$\frac{Q \cdot P}{2g\,(Q+P)} \cdot v^2 = \frac{Q}{g} \cdot \frac{v^2}{2} \times \frac{P}{Q+P},$$

будетъ дѣйствительно *потерянной* и израсходуется на расплющиваніе головки гвоздя, а *вторая*, на основаніи формулы (223), вида:

$$\frac{Q^2 \cdot v^2}{2g\,(Q+P)} = \frac{Q \cdot v^2}{2g} \times \frac{Q}{Q+P},$$

будетъ *полезной* работой, которая можетъ быть израсходована на забивку гвоздя, т. е. на преодолѣніе сопротивленія при забивкѣ гвоздя. Если N—сопротивленіе, представляемое гвоздемъ при забивкѣ, S—глубина, пройденная гвоздемъ во время уменьшенія общей скорости молота и гвоздя, отъ $c = \frac{Q \cdot v}{Q+P}$ до 0, то работа сопротивленія: $N \cdot S$.

Слѣдовательно:

$$\frac{Q \cdot v^2}{2g} \cdot \frac{Q}{Q+P} = N \cdot S,$$

если пренебречь работой, израсходованной при остановкѣ движенія на сжатіе гвоздя и молотка. Для того, чтобы S было наибо́льшее, необходимо, чтобы $\frac{Q}{Q+P}$ приближалось къ единицѣ, или, чтобы P было мало́ въ сравненіи съ Q.

При клепкѣ—цѣль работы, полезную работу, должно составлять—расплющиваніе стержня заклепки; слѣдовательно, здѣсь полезною работой будетъ первая работа, т. е.:

$$\frac{Q \cdot v^2}{2g} \times \frac{P}{Q+P},$$

наибо́льшее значеніе которой получается при:

$$lim.\ \frac{P}{Q+P} = 1,$$

т. е. когда Q мало́ въ сравненіи съ P. Вторая же работа, стремящаяся перемѣстить заклепку, будетъ безполезная и должна быть по возможности уменьшена, что достигается увеличеніемъ дѣйствительнаго малаго вѣса заклепки P—до фиктивнаго большаго вѣса путемъ обратнаго надавливанія на заклепку при помощи поддержки.

При забивкѣ свай помощью падающей бабы—первая работа будетъ потерянной, а вторая—полезной. Замѣтимъ здѣсь, что, такъ какъ направленіе скорости совпадаетъ съ направленіемъ тяжести, то работа по преодолѣнію сопротивленія свай—войти въ грунтъ на величину S,—будетъ произведена не только затратой оставшагося запаса живой силы, но и работой, произведенной вѣсомъ бабы (Q) и свай (P) при проходѣ пути S, т. е. условіе равенства работъ будетъ:

$$\frac{Q \cdot v^2}{2g} \cdot \frac{Q}{Q+P} + (Q+P) \cdot S = N \cdot S,$$

если пренебречь работой, затраченной на сжатіе свай и бабы при обращеніи скорости изъ c въ нуль.

Въ приведенной формулѣ: N — сопротивленіе свай, или грунта; S — путь, пройденный бабой и сваей съ того момента, когда онѣ начали двигаться съ общей скоростью

$$c = \frac{Q \cdot v}{Q+P}$$

до полной остановки.

При проковкѣ, напримѣръ, желѣзной полосы на наковальнѣ — первая работа (вызванная ударомъ)—будетъ полезною, а вторая — какъ результатъ обращенія общей скорости движенія въ нуль—будетъ безполезной и т. д.

работъ соотвѣтственно равна въ свою очередь работѣ сопротивляющихся силъ упругости.

Равнымъ образомъ скорость, съ которою быкъ и льдина начинаютъ перемѣщаться по *вертикальному направленію* (внизъ):

$$c'' = \frac{M \,.\, v''}{M + M_{II}},$$

гдѣ M_{II}—приведенная масса опоры въ отношеніи вертикальнаго удара, вызывающаго сжатіе.

Скорость эта, благодаря тому, что нижній конецъ опоры неподвиженъ, также обратится, по прошествіи нѣкотораго времени, въ нуль; путь, пройденный послѣ удара до полной остановки, опредѣлится размѣромъ сжатія опоры. Запасъ живой силы, поглощенной при этомъ, будетъ:

$$g = \frac{M^2 \,.\, v''^2}{2\,(M + M_{II})}, \quad \ldots\ldots\ldots \quad (224)$$

который израсходуется на работу по образованію сжатія опоры, сжатія грунта подъ опорой и сжатія льдины, при чемъ каждая изъ указанныхъ работъ, очевидно, равна вызванной ими соотвѣтственной работѣ сопротивляющихся силъ упругости.

Распредѣленіе между опорой и льдиной общей поглощенной ими работы при остановкѣ движенія. Выраженіе работы, поглощенной каждымъ изъ ударяющихся тѣлъ, въ видѣ работы, затраченной на деформацію, и въ видѣ работы сопротивляющихся силъ упругости. Опредѣленіе значенія силы, эквивалентной дѣйствію удара. Формулы для опредѣленія напряженія въ основаніи быка. За неимѣніемъ данныхъ о предѣлахъ распространенія сжатія грунта, предположимъ для запаса, что въ обоихъ случаяхъ на сжатіе грунта ничего не тратится, и найдемъ выраженія остальныхъ упомянутыхъ работъ, входящихъ въ составъ D и G, предполагая при томъ, что опора—постояннаго сѣченія.

Слѣдовательно: $D = D' + D''$;
$G = G' + G''$;

гдѣ: D'	—работа, затраченная на прогибъ опоры.	При горизонтальномъ ударѣ.
D''	— » » » сжатіе льдины.	
G'	— » » » » опоры.	При вертикальномъ ударѣ.
G''	— » » » » льдины.	

Опредѣленіе D'. Если a — стрѣла прогиба въ моментъ остановки движенія на высотѣ h, гдѣ приложенъ ударъ; P_x—перемѣнное значеніе силы, проявляющейся при постепенной остановкѣ движенія и производящей изгибъ опоры, при чемъ значеніе P_x растетъ отъ 0 до наибольшаго значенія P, когда стрѣла прогиба увеличивается отъ 0 до a,—то выраженіе работы, затраченной на прогибъ

$$D' = \int_0^a P_x \,.\, dx.$$

На основаніи формулы (217), значеніе P_x въ функціи перемѣнной стрѣлы прогиба x есть:

$$P_x = \frac{3EIx}{h^3}.$$

Слѣдовательно:

$$D' = \int_0^a P_x \,.\, dx = \frac{3EI}{h^3} \int_0^a x \,.\, dx = \frac{3EIa^2}{2h^3}.$$

Но на основаніи (217):

$$a = \frac{Ph^3}{3EI}.$$

Слѣдовательно:

$$D' = \frac{3EIa^2}{2h^3} = \frac{3EI \,.\, P^2h^6}{2h^3 \,.\, 9E^2I^2} = \frac{P^2h^3}{6EI} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (225)$$

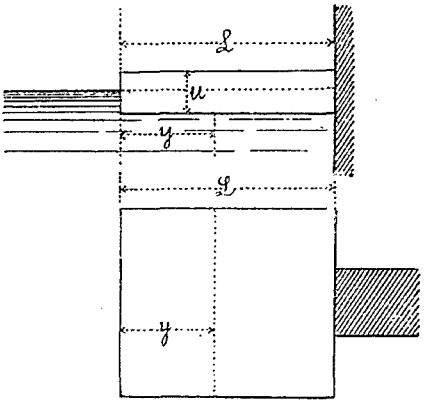
Чтобы найти выраженіе работы сопротивляющихся силъ упругости, по величинѣ равной работѣ D', замѣчаемъ, что:

$$P \,.\, h = R \,.\, \frac{I}{z_0}, \text{ при чемъ: } R = E \,.\, i,$$

гдѣ i—единичное удлиненіе. Слѣдовательно:

$$D' = \frac{P^2h^3}{6EI} = \frac{R^2 \,.\, I^2h^3}{6EIz_0{}^2h^2} = \frac{R^2}{2E} \cdot \frac{Ih}{3z_0{}^2} = \frac{E \,.\, i^2}{2} \cdot \frac{Ih}{3z_0{}^2} \quad . \quad . \quad (226)$$

Множитель $\frac{R^2}{2E} = \frac{E \,.\, i^2}{2}$ есть такъ называемое *живое сопротивленіе* матеріала; оно будетъ *живымъ временнымъ*, *упругимъ* или *прочнымъ* сопротивленіемъ, смотря по тому, соотвѣтствуетъ ли R напряженію при разрывѣ, при предѣлѣ упругости, или же соотвѣтствуетъ прочному сопротивленію.



Черт. 552.

Если ρ—радіусъ инерціи, т. е.: $I = \omega \,.\, \rho^2$; если, далѣе, объемъ опоры ниже линіи удара: $v = \omega \,.\, h$,—то:

$$D' = \frac{R^2}{2E} \cdot \frac{Ih}{3z_0{}^2} = \frac{R^2}{2E} \cdot \frac{\omega \,.\, \rho^2 h}{3z_0{}^2} = \frac{R^2}{2E} \,.\, v \cdot \frac{\rho^2}{3z_0{}^2}.$$

Для прямоугольнаго сѣченія:

$$\rho^2 = \frac{(2z_0)^2}{12} = \frac{z_0{}^2}{3}.$$

Слѣдовательно:

$$D' = \frac{R^2}{2E} \cdot \frac{v}{9} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (227)$$

Опредѣленіе D''. Предполагаемъ льдину въ формѣ параллелепипеда (рис. 552). Въ плоскости соприкасанія льдины и быка въ продолженіе періода остановки движенія развивается сила P_x, равная предыдущей силѣ. Наибольшаго значенія P_x достигаетъ въ моментъ наибольшаго сжатія *) льдины, когда движеніе прекратится. Пусть это наибольшее сжатіе будетъ μ. Если бы задній конецъ льдины былъ неподвиженъ и сила P_x, приложенная къ другому концу, производила сжатіе, то въ каждый моментъ, пока сжимающая сила увеличивается отъ 0 до P, при уве-

*) Это сжатіе всей льдины не слѣдуетъ смѣшивать съ наибольшимъ *мѣстнымъ* сжатіемъ въ первый періодъ удара.

личеніи сжатія отъ 0 до μ, въ любомъ сѣченіи льдины сжимающая сила была бы одинакова съ P_x, и тогда работа, затраченная на ежатіе, выразилась бы:

$$D'' = \int_0^{\mu} P_x \,.\, dx,$$

гдѣ:

$$P_x = E_1 \,.\, F_0 \,.\, \frac{x}{L},$$

при чемъ E_1—коэффиціентъ упругости льда; F_0—площадь вертикальнаго сѣченія льдины; x—перемѣнная величина сжатія въ переднемъ концѣ; L—длина льдины. Поэтому:

$$D'' = \int_0^{\mu} P_x \,.\, dx = \frac{E_1 F_0}{L} \int_0^{\mu} x \,.\, dx = \frac{E_1 F_0 \,.\, \mu^2}{2L} = \frac{E_1 F_0 k^2 \,.\, L}{2},$$

если: $k = \frac{\mu}{L}$ — единичное сжатіе льдины. Но такъ какъ задній конецъ льдины свободный, то явленіе будетъ уже другое. Обыкновенно предполагаютъ *), что по длинѣ бруса ежимающая сила уменьшается до нуля въ заднемъ свободномъ концѣ бруса. Слѣдовательно, если въ переднемъ концѣ въ какой-либо моментъ сжимающая сила—P_x, то въ сѣченіи, удаленномъ отъ задняго конца на разстояніе y, ежимающая сила:

$$P_y = P_x \,.\, \frac{y}{L} = E_1 \,.\, F_0 \,.\, \frac{x}{L} \,.\, \frac{y}{L} = E_1 \,.\, F_0 \,.\, \frac{x \,.\, y}{L^2}.$$

Въ то время, какъ передній конецъ сжимается отъ 0 до μ, сѣченіе, удаленное на разстояніе y отъ задняго конца, сжимается отъ 0 до $\frac{\mu \,.\, y}{L}$. Слѣдовательно, для этого сѣченія предѣлы для x суть 0 и $\frac{\mu \,.\, y}{L}$. Поэтому работа, затраченная на сжатіе всей льдины:

$$D'' = \int_0^{L} \int_0^{\frac{\mu \,.\, y}{L}} E_1 \,.\, F_0 \, \frac{x}{L^2} \, dx \, dy = \frac{E_1 \,.\, F_0}{L^2} \int_0^{L} dy \int_0^{\frac{\mu \,.\, y}{L}} x \,.\, dx =$$

$$= \frac{E_1 \,.\, F_0}{L^2} \int_0^{L} dy \,.\, \frac{\mu^2 \,.\, y^2}{2L^2} = \frac{E_1 \,.\, F_0}{L^2} \,.\, \frac{\mu^2 \,.\, L^3}{6L^2} = \frac{E_1 \,.\, F_0 \mu^2}{6L} = \frac{E_1 \,.\, F_0 k^2 L}{6} =$$

$$= \frac{E_1 \,.\, F_0 P^2 \,.\, L}{6 E_1^{\,2} \,.\, F_0^{\,2}} = \frac{P^2 \,.\, L}{6 E_1 \,.\, F_0}, \quad \ldots \ldots \quad (228)$$

если $k = \frac{\mu}{L}$ — единичное сжатіе, и $P = E_1 \,.\, k \,.\, F_0$.

Соотвѣтствующее выраженіе работы сопротивляющихся силъ упругости въ виду того, что $R' = E_1 \,.\, k$, $R' = \frac{P}{F_0}$, будетъ, очевидно:

$$D'' = \frac{P^2 \,.\, L}{6 E_1 \,.\, F_0} = \frac{R'^2 \,.\, F_0^{\,2} \,.\, L}{6 E_1 \,.\, F_0} = \frac{R'^2}{2E_1} \,.\, \frac{F_0 \,.\, L}{3} = \frac{R'^2}{2E_1} \,.\, \frac{v'}{3} = \frac{E_1 \,.\, k^2}{2} \,.\, \frac{v'}{3}, \quad (229)$$

гдѣ: $\frac{R'^2}{2E_1} = \frac{E_1 \,.\, k^2}{2}$ — живое сопротивленіе льда сжатію; v' — объемъ льдины.

*) Grashof. Theorie der Elasticität. Стран. 379.

Опредѣленіе G'. Пусть S—давленіе, развивающееся при остановкѣ движенія льдины и опоры по вертикальному направленію, чему пусть соотвѣтствуетъ сжатіе опоры на величину λ. Для промежуточнаго момента между началомъ движенія съ общей скоростью и полной остановкой сжатіе будетъ x съ соотвѣтствующей силой S_x, при чемъ въ каждый данный моментъ, очевидно, существуетъ между x и S_x зависимость:

$$S_x = E \cdot \frac{x}{h} \cdot \omega,$$

гдѣ h—высота опоры до линіи удара

Такъ какъ нижній конецъ опоры неподвиженъ, то въ любомъ сѣченіи въ каждый данный моментъ дѣйствуетъ одинаковая сжимающая сила S_x; поэтому работа, затраченная на сжатіе опоры:

$$G' = \int_0^\lambda S_x \cdot dx = \int_0^\lambda E \cdot \frac{x}{h} \cdot \omega \, dx = \frac{E \cdot \omega \cdot \lambda^2}{2h} = \frac{E \cdot \omega i'^2 \cdot h}{2} = \frac{S^2}{E^2 \cdot \omega^2} \cdot \frac{E \cdot \omega h}{2} =$$

$$= \frac{S^2 \cdot h}{2E\omega} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (230),$$

если $i' = \frac{\lambda}{h}$ — сжатіе на единицу длины, при чемъ: $S = E \cdot i' \cdot \omega$.

Выраженіе работы сопротивляющихся силъ упругости, вслѣдствіе того, что:

$$R_1 = E \cdot i' : R_1 = \frac{S}{\omega},$$

будетъ:

$$G' = \frac{S^2 \cdot h}{2E\omega} = \frac{R_1^2 \omega^2 \cdot h}{2E\omega} = \frac{R_1^2}{2E} \cdot \omega h = \frac{R_1^2}{2E} \cdot V = \frac{E \cdot i'^2}{2} \cdot V, \quad (231)$$

гдѣ: $\frac{R_1^2}{2E} = \frac{E \cdot i'^2}{2}$ — живое сопротивленіе каменной кладки сжатію; V — объемъ опоры ниже линіи удара.

Опредѣленіе G''. Если F—площадь горизонтальнаго сѣченія льдины, высота которой—u, то на основаніи формулы (228):

$$G'' = \frac{E_1 \cdot F \cdot k^2 \cdot u}{6} = \frac{S^2 \cdot u}{6E_1 F} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (232),$$

а выраженіе работы сопротивляющихся силъ упругости (на основаніи формулы (229)):

$$G'' = \frac{R'^2}{2E_1} \cdot \frac{v'}{3} = \frac{E_1 \cdot k^2}{2} \cdot \frac{v'}{3} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (233).$$

Но такъ какъ:

$$D' + D'' = D;$$

$$G' + G'' = G,$$

то, вставляя вмѣсто: D', D'', G' и G'' — выраженія въ функціи искомыхъ силъ P и S, т. е. пользуясь формулами: (225), (228), (230) и (232) и замѣняя D и G ихъ выраженіями (223) и (224), получимъ:

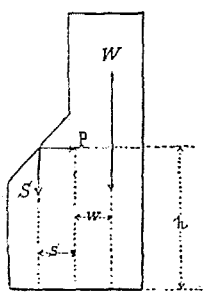
$$\frac{P^2 \cdot h^3}{6EJ} + \frac{P^2 \cdot L}{6E_1 F_0} = \frac{M^2 \cdot v'^2}{2(M + M_1)} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (234);$$

$$\frac{S^2 \cdot h}{2E \cdot \omega} + \frac{S^2 \cdot u}{6E_1 F} = \frac{M^2 \cdot v''^2}{2(M + M_{11})} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (235).$$

Рѣшая эти уравненія, найдемъ P и S, т. е. значенія силъ, эквивалентныхъ дѣйствію горизонтальной и вертикальной составляющихъ удара.

При выводѣ всѣхъ предыдущихъ формулъ, имѣвшихъ конечною цѣлью опредѣленіе величинъ P и S, мы, для упрощенія выкладокъ, предполагали опору постояннаго сѣченія. Въ дальнѣйшемъ, при опредѣленіи напряженія матеріала при изгибѣ или при неравномѣрномъ сжатіи, а также при опредѣленіи коэффиціента устойчивости, мы будемъ брать въ расчетъ дѣйствительное перемѣнное сѣченіе опоры, такъ какъ не только та либо другая площадь сѣченія, но и форма площади сѣченія существенно вліяютъ на значеніе упомянутыхъ величинъ. Здѣсь, конечно, будетъ нѣкоторая неточность, но едва ли допущеніе, сдѣланное при опредѣленіи величинъ P и S, могло значительно повліять на конечный результатъ.

Если (рис. 553): s—разстояніе между направленіемъ силы S и осью нижней части опоры; W—вѣсъ опоры и пролетныхъ частей моста; w—разстояніе направленія W—отъ оси нижней части опоры; $\frac{J}{Z_0}$— моментъ сопротивленія площади ω — основанія опоры, то напряженіе въ наиболѣе удаленномъ элементѣ со стороны удара:



Черт. 553.

$$R_0 = \frac{S}{\omega} + S \cdot s \frac{Z_0}{J} + \frac{W}{\omega} - W \cdot w \frac{Z_0}{J} - Ph \frac{Z_0}{J} = \frac{S+W}{\omega} + \\ + \frac{Z_0}{J}(S \cdot s - W \cdot w - Ph) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (236),$$

а со стороны, противоположной удару:

$$R'_0 = \frac{S+W}{\omega} - \frac{Z_0}{J}(S \cdot s - W \cdot w - Ph) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (237),$$

если S и W — имѣютъ указанное на чертежѣ положеніе. Если же W будетъ расположено, напримѣръ, влѣво отъ оси нижней части опоры, тогда, очевидно, вмѣсто $(-W \cdot w)$ слѣдуетъ взять $(+W \cdot w)$ и т. д., т. е. необходимо обратить вниманіе на знакъ момента относительно оси, проведенной чрезъ центръ тяжести основанія нормально къ плоскости чертежа.

Въ указанныхъ формулахъ положительное значеніе выражаетъ *сжатіе*, а отрицательное—*растяженіе*.

Если R_0 будетъ величина отрицательная, то для прочности опоры необходимо, чтобы эта величина была не болѣе меньшаго изъ значеній прочнаго сопротивленія изгибу камня или раствора, или, правильнѣе, каменной кладки. Положительное R'_0 должно быть не болѣе меньшаго изъ значеній прочнаго сопротивленія раздробленію тѣхъ же матеріаловъ.

Для всякаго промежуточнаго значенія—прочность повѣряется по указаннымъ формуламъ, съ соотвѣтственнымъ измѣненіемъ значенія плеча h.

Если извѣстны значенія коэффиціентовъ живого сопротивленія, провѣрка прочности (въ случаѣ однообразнаго сѣченія опоры) можетъ быть сдѣлана по формуламъ [приравнявъ (225) и (226), (230) и (231)]:

$$\frac{P^2h^3}{6EJ} = \frac{R^2}{2E} \cdot \frac{Jh}{3Z^2_0},$$

что, въ случаѣ прямоугольнаго сѣченія опоры, сводится къ:

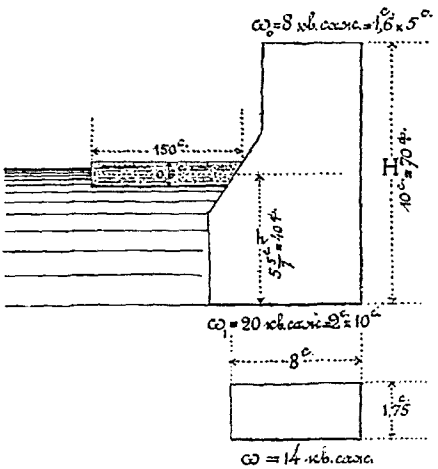
$$\frac{P^2h^3}{6EJ} = \frac{R^2}{2E} \cdot \frac{V}{9},$$

а затѣмъ:

$$\frac{S^2 h}{2E\omega} = \frac{R^2}{2E} \cdot V,$$

гдѣ V — объемъ опоры ниже линіи удара.

Примѣненіе формулъ къ численному примѣру. Пусть величина пролета: 50 с. = 350 ф.; высота быка, считая отъ ложа рѣки: $H = 10$ с. $= 70$ ф. (рис. 554); высота горизонта ледохода: $h = 5\frac{5}{7}$ саж. $= 40$ ф.; площадь быка въ уровнѣ дна рѣки, на основаніи существующихъ примѣровъ, можно считать въ 20 квадратныхъ саженъ, а выше ледорѣза — въ 8 кв. саж. Предположимъ, что наклонная часть ледорѣза расположена по серединѣ высоты H; тогда среднее сѣченіе быка можно считать въ: $\omega = 14$ кв. саж., при чемъ средняя ширина быка опредѣлится въ 1,75 с., — а средняя длина—въ 8 саж. Вѣсъ пролетныхъ частей моста принимаемъ въ 37500 пудовъ. Пусть, далѣе, ширина льдины — 50 с.; длина — 150 с.; толщина — 0,6 с.; скорость: $v = 1$ ф. (въ началѣ ледохода, когда льдины имѣютъ наибольшіе размѣры—скорость очень незначительна и не превосходитъ $^1/_2$ ф). Указанныхъ размѣровъ льдина, движущаяся со скоростью: $v = 1$ ф., въ отношеніи удара соотвѣтствуетъ льдинѣ площадью: $\frac{150 \times 50 \cdot (1)^2}{8^2} =$ $= 117$ кв. саж, при той же толщинѣ въ 0,6 с., по движущейся со скоростью 8 ф. въ 1″ (на Сибирскихъ рѣкахъ величина льдинъ при скорости: $v = 8$ ф. не превосходитъ 4—5 кв. саж.).



Черт. 554.

Если уклонъ ледорѣза полуторный, то:

$$\alpha = 33°40'.$$

Слѣдовательно:

$$v' = v \cdot \sin^2 \alpha = 1{,}00 \times 0{,}3 = 0{,}30 \text{ ф.};$$

$$v'' = v \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha = 1{,}00 \times 0{,}554 \times 0{,}832 = 0{,}45 \text{ ф.}$$

Масса льдины:

$$M = \frac{150 \times 50 \times 0{,}6 \times 552}{32{,}2} = 77143 \backsim 77000,$$

гдѣ 552 — вѣсъ куб. саж. льда.

Затѣмъ вѣсъ опоры на погонную единицу:

$$\frac{Q}{II} = 14 \times \frac{70}{7} \times \frac{1.300}{70} = 2600 \text{ пуд.}$$

Приведенная масса опоры, на основаніи формулы (219):

$$M'_1 = \frac{2600}{32{,}2}\left[\frac{33}{140} \times 40 + \frac{3}{4 \times \overline{40}^2} \times 30\left(\overline{70}^2 + \frac{\overline{40}^2}{3}\right)\right] =$$

$$= 80{,}74\ [9{,}4 + 76{,}4] = 6927 \backsim 6900.$$

Приведенная масса пролетныхъ частей моста:

$$\mu_1 = \frac{37500}{32{,}2} \times \frac{f^2}{a^2},$$

гдѣ f — стрѣла прогиба въ вершинѣ опоры высотою H; a—стрѣла прогиба въ уровнѣ линіи удара, т. е. на высотѣ h. Но на основаніи формулы (217):

$$a = \frac{Ph^3}{3EJ},$$

а на основаніи (218):

$$y = f = a + \frac{Ph^2}{2EJ}(H - h) = \frac{Ph^3}{3EJ} + \frac{Ph^2}{2EJ}(H - h).$$

Слѣдовательно:

$$\frac{f^2}{a^2} = \frac{\left[\frac{h}{3} + \frac{H-h}{2}\right]^2}{\left(\frac{h}{3}\right)^2} = \frac{\left(\frac{H}{2} - \frac{h}{6}\right)^2}{\left(\frac{h}{3}\right)^2} = \frac{(3H-h)^2}{4h^2}.$$

Поэтому:

$$\mu_1 = \frac{37500}{32{,}2} \times \frac{(3H-h)^2}{4h^2} = \frac{37500}{32{,}2} \times \frac{\overline{170}^2}{4 \times \overline{40}^2} = 5259 \infty 5200.$$

Слѣдовательно, общая приведенная масса опоры и пролетныхъ частей моста.

$$M_1 = M'_1 + \mu_1 = 6900 + 5200 = 12100.$$

Поглощенная при остановкѣ движенія работа, на основаніи формулы (223):

$$D = \frac{M^2 \cdot v'^2}{2(M + M_1)} = \frac{\overline{77000}^2 \times \overline{0{,}30}^2}{2(77000 + 12100)} = 2997.$$

На основаніи формулы (224):

$$P^2\left[\frac{h^3}{6EJ} + \frac{L}{6E_1F_0}\right] = \frac{M^2 \cdot v'^2}{2(M + M_1)} = 2997,$$

откуда:

$$P = \sqrt{\frac{2997}{\frac{h^3}{6EJ} + \frac{L}{6E_1F_0}}}$$

E—коэффиціентъ упругости кладки при изгибѣ, принимаемъ равнымъ среднему значенію коэффиціента упругости гранита, что, по Баушингеру, выражается:

$$2000 \frac{\text{кпл.}}{\text{мм.}^2},$$

или:

$$80000 \times 144 \frac{\text{пуд.}}{\text{ф. т.}^2};$$

$$J = \frac{1}{12} \times 1{,}75 \text{ с.} \times 8^3 \times 7^4 = 179300 \text{ фут.}^4,$$

$$L = 150 \text{ с.} = 1050 \text{ ф.};$$

E_1—коэффиціентъ упругости льда, согласно Frankenheim'y (Mousson. Die Physik. стр. 207), принимаемъ въ 541 кил. на кв. мм., т. е.:

$$21300 \frac{\text{пуд.}}{\text{д.м.}^2};$$

или:

$$21300 \times 144 \frac{\text{пуд.}}{\text{ф. т.}^2},$$

$$F_0 = 50 \text{ с.} \times 0{,}6 \text{ с.} \times 7^2 = 1470$$

Поэтому:

$$\frac{h^3}{6EJ} + \frac{L}{6E_1F_0} = \frac{40^3}{6 \times 80000 \times 144 \times 179300} + \frac{1050}{6 \times 21300 \times 144 \times 1470} =$$

$$= 0.000000005164 + 0{,}000000038813.$$

Слѣдовательно:

$$P = \sqrt{\frac{2997}{0{,}000000043977}} = 257767 \text{ пуд. *)} \infty 258000 \text{ пуд.:}$$

$$Ph = 258.000 \times 40 = 10.320.000 \text{ п. ф.}$$

Переходимъ теперь къ опредѣленію S.

Приведенная масса опоры отъ вертикальной составляющей удара (на основаніи формулы (221):

$$M_{II} = \frac{Q}{g}\left(1 - \frac{2}{3} \cdot \frac{h}{H}\right) = \frac{14 \times 10 \text{ с.} \times 1300}{32{,}2}\left(1 - \frac{2}{3} \cdot \frac{40}{70}\right) =$$

$$= 5652 \times \frac{13}{21} = 3500.$$

Слѣдовательно, поглощенная работа, на основаніи формулы (224):

$$g = \frac{M^2 \cdot v'^2}{2\,(M + M_{II})} = \frac{77000^2 \times 0{,}45}{2\,(77000 + 3500)} = 7457 \text{ п. ф.}$$

Далѣе, на основаніи (235):

$$S^2\left(\frac{h^2}{2E\omega} + \frac{u}{6E_1F}\right) = \frac{M^2 \cdot v'^2}{2\,(M + M_{II})} = 7457 \text{ п. ф.}$$

откуда:

$$S = \sqrt{\frac{7457}{\frac{h^2}{2E\omega} = \frac{u}{6E_1F}}};$$

$$u = 0{,}6 \text{ с.} = 4{,}2 \text{ ф.};$$

$$F = 150 \times 50 \times \overline{7}^2 = 367500 \text{ кв. ф.};$$

$$\omega = 14 \times \overline{7}^2 = 686 \text{ кв. ф.};$$

---

*) Примѣняя пріемъ американскихъ инженеровъ, получили бы:

$$P = 1{,}75 \text{ с.} \times 0{,}60 \text{ с.} \times 84^2 \times 11{,}25 \text{ пуд.} = 83349 \text{ пуд.}$$

слѣдовательно:

$$\frac{h^2}{2\,E\omega} = \frac{40 \times 40}{2 \times 80000 \times 144 \times 686} = 0{,}0000001012;$$

$$\frac{u}{6\,E_1 F} = \frac{4{,}2}{6 \times 7000 \times 40 \times 144 \times 367500} = \text{очень малая дробь.}$$

Слѣдовательно:

$$S = \sqrt{\frac{7457}{0{,}0000001012}} = 271370 \infty 270000 \text{ пуд.}$$

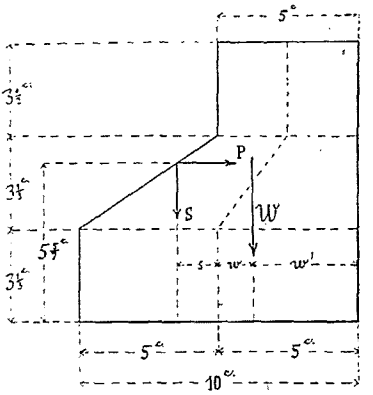


Рис. 555.

Плечо момента силы S относительно оси, проходящей чрезъ центръ тяжести основанія (рис. 555), найдется изъ пропорціи:

$$\frac{s}{5 \text{ с.}} = \frac{6\frac{2}{3} - 5\frac{5}{7}}{3\frac{1}{3}};\quad S = 5 \text{ с.} \times \frac{20}{21} \times \frac{3}{10} = 1{,}43 \text{ с.}$$

Слѣдовательно:

$$S \,.\, s = 270000 \times 1{,}43 \text{ с.} = 386100 \text{ п. с.} = 2702700 \text{ п. ф.}$$

Далѣе, вѣсъ опоры и пролетныхъ частей моста:

$$W = 3\frac{1}{3} \times 1300 \left[5 \text{ с.} \times 1{,}6 + \left(\frac{5+10}{2}\right) \times 1{,}8 + 10 \times 2\right] +$$

$$+ 37500 = 179830 \text{ пуд.} + 37500 = 217330.$$

Плечо:

$$w = 5 \text{ с.} - w'.$$

Но w', взявъ моментъ относительно ребра a, найдется изъ:

$$w' = \frac{37500 \times 2{,}5 + 3\frac{1}{3} \times 1300 \left[5\text{с.} \times 1{,}6 \times 2{,}5\text{с.} + \left(\frac{5+10}{2}\right) . 1{,}8\text{с.} \times 3{,}75 \text{ с.} + 10 \times 2 \times 5\right]}{37500 + 3\frac{1}{3} \times 1300 \left\{5 \times 1{,}6 + \left(\frac{5+10}{2}\right) . 1{,}8 + 10 \times 2\right\}} =$$

$$= \frac{833125}{217330} = 3{,}83 \text{ с.}$$

Слѣдовательно:

$$w = 5 \text{ с.} - w' = 1{,}17 \text{ с.}$$

Поэтому:

$$W \,.\, w = 217330 \times 1{,}17 = 254276 \text{ п. с.} = 1779932 \text{ п. ф.}$$

Кромѣ того, при примѣненіи формулъ: (236) и (237):

$$\omega = 2 \text{ с.} \times 10 \text{ с.} \times 7^2 = 980 \text{ кв. ф.};$$

$$\frac{I}{z} = \frac{1}{6} \,.\, 2 \times 10^2 \times 7^3 = 11433 \text{ въ футахъ.}$$

Поэтому, на основаніи формулы (236), напряженіе въ наиболѣе удаленномъ

элементѣ основанія со стороны удара:

$$R^0 = \frac{s + w}{\omega} + \frac{z}{I}(S.s - W.w - Ph) = \frac{270000 + 217330}{980} +$$

$$+ \frac{(2702700 - 1779932 - 10320000)}{11433} = 498 - 874 = -376 \frac{\text{пуд.}}{\text{фут.}^2}$$

или:

$$R_0 = -\frac{376}{144} = -2{,}61 \frac{\text{пуд.}}{\text{дм.}^2} \text{ — на растяженіе.}$$

Со стороны противоположной удару, на основаніи формулы (237):

$$R_0' = 498 + 874 = +1372 \frac{\text{пуд.}}{\text{фт.}^2},$$

или:

$$R_0' = +\frac{1372}{144} = 9 \frac{\text{пуд.}}{\text{дм.}^2} \text{ — на сжатіе.}$$

Согласно даннымъ Баушингера, временное сопротивленіе гранита при изгибѣ составляетъ въ среднемъ около $180 \frac{\text{кил.}}{\text{сант.}^2}$, а цементнаго раствора (1 : 2)—около $28 \frac{\text{кил.}}{\text{сант.}^2}$. Принимая послѣднюю даннность, то есть: $28 \frac{\text{кил.}}{\text{сант.}^2}$, или $11{,}0 \frac{\text{пуд.}}{\text{дм.}^2}$, окажется, что запасъ противъ возможности разрыва кладки—выражается числомъ: $\frac{11{,}0}{2{,}61} = 4$.

Если предположить, что очертаніе быка настолько неудачно, что $s = 0$, а, слѣдовательно, $S \cdot s = 0$, то:

$$R_0 = 498 - \frac{12099932}{11433} = 498 - 1058 = -560 \frac{\text{пуд.}}{\text{ф.т.}^2},$$

или:

$$R_0 = -\frac{560}{144} = -3{,}89 \frac{\text{пуд.}}{\text{д.м.}^2} \text{ — на растяженіе;}$$

$$R_0' = 498 + 1058 = 1556 \frac{\text{пуд.}}{\text{фт.}^2}, \text{ или:}$$

$$R_0' = \frac{1556}{144} = 10{,}81 \frac{\text{пуд.}}{\text{дм.}^2} \text{ — на сжатіе,}$$

то есть коэффиціентъ запаса противъ разрыва кладки составлялъ бы: 3,0, а наибольшаго напряженія на сжатіе не превосходилъ бы обыкновенныхъ нормъ.

Повѣряя опору на опрокидываніе имѣемъ коэффиціентъ устоiчивости:

$$m = \frac{W.w' + S(5 \text{ с.} + s)}{Ph} = \frac{217330 \times 3{,}83 \text{ с.} + 270000 \times 6{,}43}{258000 \times \frac{40}{7}} = 1{,}75.$$

При повѣркѣ опоры на срѣзываніе, должны имѣть:

$$P < Q \cdot f,$$

гдѣ Q—вѣсъ верхней части опоры и пролетныхъ частей моста, а f—коэффиціентъ тренія камня по камню.

По линіи удара длина быка:

$$5 \text{ с.} + 1{,}43 \text{ с.} = 6{,}43 \text{ с.}$$

Слѣдовательно:

$$Q = \left\{\left(\frac{6{,}43+5{,}00}{2}\right)\times\frac{20}{21}\times 1{,}8+5\times 1{,}6\times 3\frac{1}{3}\right\}1300+$$
$$+\ 37500 = 84898 \text{ пуд.}$$

Такъ какъ $f = 0{,}7$ и $P = 258000$ пуд., то опора, повидимому, неустойчива. Но въ дѣйствительности опора складывается не насухо, а на растворѣ, и швы въ ледорѣзѣ располагаются не горизонтально, а наклонно (рис. 556) и, слѣдовательно, отдѣленіе верхней части опоры можетъ наступить лишь послѣ того, какъ срѣжутся камни въ передней части ледорѣза и растворъ въ остальной части опоры. Предполагая для запаса, что швы въ ледорѣзѣ горизонтальны и принимая, по Баушингеру, сопротивленіе срѣзыванію цементнаго раствора около 25 $\frac{\text{кил.}}{\text{сант.}^2}$, или 10 $\frac{\text{пуд.}}{\text{дм.}^2}$*), сопротивленіе опоры срѣзыванію:



Рис. 556.

$$N = 6{,}43 \text{ с.} \times 1{,}8 \text{ с.} \times 84^2 \times 10 = 816661 \text{ пуд.},$$

и, слѣдовательно, коэффиціентъ запаса:

$$\frac{816661}{258000} = 3{,}17.$$

При боковомъ ударѣ льдины нормально или наклонно къ боковой поверхности быка—результаты получатся, конечно, иные, прнчемъ слѣдуетъ, однако, имѣть въ виду, что хотя моментъ инерціи сѣченія оноры будетъ значительно менѣе, но и сила удара можетъ быть менѣе, въ виду того, что, какъ показываетъ формула (234), она уменьшается вмѣстѣ съ уменьшеніемъ момента инерціи сѣченія опоры. Но во всякомъ случаѣ такой ударъ будетъ невыгоднѣе, такъ какъ P приблизительно пропорціоналенъ $\sqrt{I}$, между тѣмъ, напряженіе при изгибѣ:

$$R = Ph\frac{z}{I},$$

—обратно пропорціонально первой степени I. Слѣдовательно, примѣрно, R—обратно пропорціонально $\sqrt{I}$, помимо того, что боковая поверхность быка имѣетъ очень крутой уклонъ и, слѣдовательно, почти вся скорость движенія льдины израсходуется на образованіе удара.

Приблизительный способъ опредѣленія числа и взаимнаго разстоянія между прокладными рядами въ каменныхъ опорахъ. При постройкѣ віадука въ долинѣ Штригисъ (Strigis) близъ Фрейберга на соединительной вѣтви отъ Фрейберга къ Тарану былъ примѣненъ слѣдующій способъ расчета.

Какъ извѣстно, назначеніе прокладныхъ рядовъ двоякое: а) передать давленіе равномѣрно на всю площадь горизонтальнаго сѣченія опоры, и б) ограничить небольшими предѣлами (между двумя смежными прокладными рядами) возможность распространенія трещины или неравномѣрной осадки, появляющихся вслѣдствіе неудовлетворительной бутовой кладки. Если бы вся опора была сложена изъ тесовой кладки, тогда, очевидно, равномѣрность передачи давленія была бы вполнѣ обезпечена. Для уменьшенія расходовъ тесовая кладка замѣняется бутовой, но съ прокладными рядами и, слѣдовательно, необходимо опредѣлить наибольшее возможное разстояніе между двумя рядами, при которыхъ равномѣрность передачи была бы еще достаточно обезпечена.

---

*) Сопротивленіе гранита срѣзыванію параллельно постели—около 65 $\frac{\text{кил.}}{\text{сант.}^2}$, или: 26 $\frac{\text{пуд.}}{\text{дм.}^2}$, а перпендикулярно къ постели—около 90 $\frac{\text{кил.}}{\text{сант.}^2}$, или: 36 $\frac{\text{пуд.}}{\text{дм.}^2}$.

Допускаемъ, какъ вѣроятную гипотезу, что способность кладки равномѣрно передавать давленіе нижележащимъ слоямъ пропорціональна вѣсу ея кубической единицы. Поэтому, если h—высота опоры, δ—вѣсъ кубической единицы тесовой кладки изъ того же камня, какъ и бутовая кладка, принимаемый равнымъ вѣсу кубической единицы камня, изъ котораго сдѣлана эта кладка; далѣе, если δ'—вѣсъ кубической единицы бутовой кладки, то равномѣрность передачи давленія при бутовой кладкѣ была бы обезпечена, если бы высота опоры составляла всего: $h' = \frac{h \cdot \delta'}{\delta}$. А слѣдовательно $h - h'$—представитъ сумму толщинъ всѣхъ прокладныхъ рядовъ. Число рядовъ опредѣлится, коль скоро извѣстна толщина каждаго ряда. Чѣмъ чаще будутъ ряды, тѣмъ лучше; но толщина ряда не можетъ быть менѣе опредѣленной величины, такъ какъ способность ряда равномѣрно передавать давленіе находится въ прямой зависимости отъ толщины его. Пусть d—та толщина, которую указываетъ практика (отъ 0,25 с. — 0,50 с.); слѣдовательно, число рядовъ $n = \frac{h - h'}{d}$. Если опора не высокая, тогда нѣтъ большой разницы въ напряженіи различныхъ слоевъ (предполагая, конечно, что опора не имѣетъ формы равнаго сопротивленія). При высокихъ опорахъ верхняя и нижняя площадки напряжены различно, и поэтому взаимное разстояніе между двумя прокладными рядами должно постепенно уменьшаться по мѣрѣ приближенія къ основанію. Если p_0—давленіе на квадратную единицу въ верхней площадкѣ, а p_1—давленіе въ основаніи, то $\frac{p_1 - p_0}{p_0}$ покажетъ отношеніе приращенія давленія при переходѣ отъ вершины къ основанію. Если n—число промежутковъ (такъ какъ верхній рядъ, согласно этой теоріи, можно и не дѣлать), то отношеніе приращенія давленія при переходѣ отъ одного прокладного ряда къ другому:

$$\frac{p_1 - p_0}{n p_0} = \frac{1}{\alpha}.$$

Назовемъ черезъ x разстояніе между вершиною и первымъ прокладнымъ рядомъ; разстояніе между первымъ и вторымъ будетъ меньше и составитъ всего: $x - \frac{1}{\alpha} x = \left(\frac{\alpha - 1}{\alpha}\right) x$; слѣдующее разстояніе: $\left(\frac{\alpha - 2}{\alpha}\right) x$, и т. д., такъ что будемъ имѣть уравненіе:

$$\underbrace{\qquad\qquad\qquad\qquad}_{n}$$

$$\frac{\alpha}{\alpha} \cdot x + \left(\frac{\alpha - 1}{\alpha}\right) x + \ldots \left[\frac{\alpha - (n-1)}{x}\right] \cdot x = h',$$

откуда и опредѣлится x.

Такъ, напримѣръ, для вышеупомянутаго віадука $h = 28{,}5$ локтей (1 локоть $= 0{,}2812$ саж.); δ' — вѣсъ кубическаго локтя бутовой кладки $= 7{,}84$ центнера (1 центнеръ $= 3{,}05237$ пуда); δ — вѣсъ кубическаго локтя камня, изъ котораго сдѣлана бутовая кладка $= 10$ центнеровъ; слѣдовательно, $\frac{\delta'}{\delta} = 0{,}784$. Поэтому $h' = h \frac{\delta'}{\delta} = 28{,}5 \times 0{,}784 = 22{,}34$ локтя; $p_1 = 160$ фунт. на квадр. дюймъ; $p_0 = 118{,}4$ фунта на квадр. дюймъ. Толщина прокладного ряда принята въ 1 локоть; слѣдовательно, число рядовъ $\frac{(28{,}5) - (22{,}34)}{1} = 6$, и

$$\frac{p_1 - p_0}{n \cdot p_0} = \frac{160 - 118{,}4}{6 \times 118{,}4} = \frac{1}{17}.$$

Слѣдовательно имѣемъ:

$$\frac{17}{17} \cdot x + \frac{16}{17} \cdot x + \frac{15}{17} \cdot x + \frac{14}{17} \cdot x + \frac{13}{17} \cdot x + \frac{12}{17} \cdot x = 22{,}5,$$

откуда $x = 4.397$ локтя.

Опредѣленіе минимальной толщины искусственнаго песчанаго основанія. Слабые, мокрые грунты подъ основаніемъ сооруженія не рѣдко замѣняютъ песчанымъ изъ крупнаго чистаго песку, который располагается слоями около 15—30 сант., смачивается и трамбуется. Назначеніе песчанаго слоя—передавать давленіе отъ фундамента сооруженія на большую площадь. Безусловно необходимо, чтобы песчаное основаніе не имѣло возможности раздаваться въ стороны и чтобы оно не могло быть вымываемо. Предполагается, что давленіе распространяется внизъ въ сухомъ пескѣ

подъ угломъ 45%, а ниже грунтовыхъ водъ—подъ угломъ отъ 40° до 25°. Наименьшая толщина песчанаго основанія 0,75 м.; свыше—3 м.—она излишня. При толщинѣ основанія въ 1,5—2,0 м. допускаемое напряженіе составляетъ около 2—3 кил. на кв. сант. При трамбованіи объемъ рыхлаго песку уменьшается на 25%. Осадка неизбѣжна, но она равномѣрна по всей площади. Если b—ширина нижней подошвы фундамента; d—искомая толщина песчанаго основанія; φ—уголъ естественнаго откоса песка; $B = b + 2d\,tg\,\varphi$—ширина песчанаго основанія; t—разстояніе верха песчанаго основанія отъ уровня земли; γ—средній вѣсъ куб. ед. песка и кладки до уровня земли; R—допускаемое напряженіе грунта подъ песчанымъ основаніемъ; P—нагрузка отъ сооруженія выше уровня земли, расчитанная на ног. ед., то:

$$(b + 2d)\,tg\,\varphi\,.\,R = P + \gamma\,(b + 2d\,tg\,\varphi)\,(d + t) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (238)$$

Опредѣленіе минимальной толщины бетоннаго основанія. При толщинѣ бетоннаго слоя въ 1 м. допускаемое напряженіе не должно превосходить 4—5 кил. на кв. сант. (около 1,6—2,0 пуд. на кв. д.) при мало сжимаемыхъ грунтахъ и около 2,5 кил. (1,0 пуд. на кв. д.) при сжимаемыхъ грунтахъ. При слабыхъ нагрузкахъ толщина бетоннаго основанія можетъ быть уменьшена до 0,75 м. Если бетонное основаніе находится подъ водой и бетонированіе производится въ огражденномъ пространствѣ, такъ что бетонъ будетъ подвергаться давленію воды снизу вверхъ временно или постоянно (при устройствѣ шлюзовъ и пр.), то толщина должна быть такова, чтобы не могло произойти излома.

Если d—искомая толщина; h—возвышеніе уровня воды надъ верхнею поверхностью бетона; b—ширина основанія между перемычками; R—допускаемое напряженіе на изломъ бетона; γ—вѣсъ куб. метра воды; q—вѣсъ куб. метра бетона, то:

$$d = \frac{-3b^2(q-\gamma) + b\sqrt{9b^2(q-\gamma)^2 + 48\gamma hR}\ *)}{8\,.\,R} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (239)$$

такъ какъ:

$$\frac{Rd^2}{6} = \frac{[\gamma\,(h+d) - dq]\,b^2}{8}$$

$$\frac{Rd^2}{6} = \gamma\,\frac{hb^2}{8} + \gamma\,\frac{db^2}{8} - \frac{dqb^2}{8}$$

$$\frac{Rd^2}{6} + d\,(q-\gamma)\,\frac{b^2}{8} = \gamma\,\frac{hb^2}{8}$$

$$d^2 + d\,(q-\gamma)\,\frac{3}{4}\,\frac{b^2}{R} = \frac{3}{4}\,\gamma\,\frac{hb^2}{R}$$

$$d = -\frac{3b^2}{8R}(q-\gamma) + \sqrt{\frac{9b^4(q-\gamma)^2}{64R^2} + \frac{3}{4}\,\gamma\,\frac{hb^2}{R}} =$$

$$= \frac{-3b^2(q-\gamma) + b\sqrt{9b^2(q-\gamma)^2 + 48\gamma hR}}{8R}.$$

Примѣрно:

$$q = 2{,}47\,\gamma; \quad \gamma = 1000 \text{ кил.};$$

$R = 70000 — 120000$ кил. на кв. метръ, смотря по качеству бетона, или примѣрно:

$$R = 2{,}8 — 4{,}8 \text{ пуд. на кв. дм.}$$

По Franzius'у въ зависимости отъ качества грунта ниже бетона, вышеисчисленная толщина d можетъ быть уменьшена. Такъ, при крѣпкихъ грунтахъ онъ предлагаетъ брать вмѣсто h отъ $\frac{h}{2}$ до $\frac{h}{4}$.

*) Въ справочной книжкѣ Meyer'a: $d = \frac{-3b^2(q-\gamma) + b\sqrt{9b^2(q-\gamma)^2 + 96\gamma hR}}{16\,R}$.

Опредѣленіе минимальной толщины бетоннаго слоя надъ головами свай. Если грунтовыя сваи покрываются бетоннымъ слоемъ взамѣнъ ростверка, то толщина слоя должна быть такова, чтобы не могло произойти срѣзыванія и излома бетона. Головы свай должны входить въ бетонную массу не менѣе какъ на 15 сант. и не болѣе какъ на 25 сант. (0,12 саж.); наименьшая толщина бетоннаго слоя надъ головами свай—50 сант. или 0,25 с.

Если l—наибольшее разстояніе между сваями; p—нагрузка на пог. сд. и при ширинѣ слоя, равной единицѣ, то необходимая толщина слоя, если разсматривать бетонъ между сваями, какъ балку съ горизонтально закрѣпленными концами, будетъ:

$$\frac{Rd^2}{6} = \frac{pl^2}{12};\ d = l\sqrt{\frac{p}{2R}}\ ^{*)} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (240)$$

Съ другой стороны если R'—сопротивленіе бетона срѣзыванію; r—радіусъ сваи; l'—разстояніе между рядами свай въ другомъ направленіи, то:

$$2\pi r\,.\,d\,.\,R' = p\,.\,l\,.\,l'$$

$$d = \frac{pll'}{2\pi rR'} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (241)$$

или $d = \dfrac{P}{2\pi rR'}$ — если P—нагрузка на сваю.

По Meyer'у: $d = 0{,}866\sqrt{\dfrac{pl}{R'}}$.

При десятерномъ запасѣ $R = 0{,}12$ кпл. на $\frac{\text{кв.}}{\text{м.}}$ и $R' = 0{,}16$ кпл. на $\frac{\text{кв.}}{\text{м.}}$, т. е. примѣрно:

$$R = 4{,}8\ \frac{\text{пуд.}}{\text{дм.}^2} \text{ и } R' = 6{,}4\ \frac{\text{пуд.}}{\text{дм.}^2}.$$

X.

Типы деревянныхъ опоръ.

Устои изъ стульевъ и свай. — Относительное расположеніе свай. — Сопряженіе мостового и дорожнаго полотна при деревянныхъ устояхъ.—Мѣры противъ гніенія свай устоевъ моста въ относахъ насыпи. — Ряжевые устои. — Сжимы. — Промежуточныя опоры.—1) Опоры изъ стоекъ цѣльныхъ или сращенныхъ.—Общее описаніе.—Взаимное расположеніе свай опоры.—Продольная связь сменіныхъ опоръ.—Мѣры, обезпечивающія поперечную жесткость опоры.—Способы сращиванія свай.—Детали врубокъ подкосовъ въ сваи и подбалки.—Детали врубокъ схватокъ.—Деревянные быки на лежняхъ, на каменномъ фундаментѣ и съ чугунными вставнами.—Приспособленія на кривыхъ и на уклонахъ. — Примѣры. 2) Многоярусныя опоры. — Детали соединенія стоекъ съ насадками и схватками. Примѣры. 3) Раскосныя опоры.—Детали соединенія раскосовъ съ ребрами. — Способы прикрѣпленія къ каменной кладнѣ. 4) Ряжевыя промежуточныя опоры. — Ледорѣзы.

Общее описаніе устоевъ изъ стульевъ и свай. Устои въ небольшихъ мостахъ состоятъ изъ стоекъ и стульевъ, соединеніыхъ въ верхней части насадками. Стулья слѣдуетъ опускать ниже линіи промерзанія грунта и въ нижней части обугливать для предупрежденія гніенія. Подъ нижнюю оконечность стула доллжно положить крупныя булыги, или поставить стулъ на деревянный крестъ, связать его съ крестомъ подкосами и во всю глубину ямы обсыпать щебиемъ или гравіемъ (фиг. 197, табл. 25). Въ противномъ случаѣ глинистый грунтъ, размоченный осенью, выпучиваясь, можетъ приподнять стулъ и разстроить весь мостъ.

*) Въ справочной книжкѣ Meyer'a: $d = \sqrt{\dfrac{pl}{2R}}$.

Иногда рядъ стульевъ или стоекъ врубается въ поперечный лежень, врытый въ ровъ, заполненный щебнемъ или камнемъ, при чемъ подъ лежень кладутся поперечные короткіе брусья подобно тому, какъ это указано на фиг. 229, таб. 30. Если грунтъ допускаетъ забивку свай и нагрузка на опору значительная, то предпочтительнѣе пользоваться свайными опорами (рис. 557); (фиг. 201, табл. 25). Вмѣсто одиночнаго ряда свай пользуются иногда для бо́льшей устойчивости парными наклонными сваями (фиг. 217, табл. 28), перекрытыми поперечными насадками, на которыхъ располагается въ видѣ мауэрлата два поперечиыхъ бруса; концы этихъ брусьевъ обжимаютъ наклонныя откосиыя сваи, забитыя въ поперечномъ направленіи моста.

4.

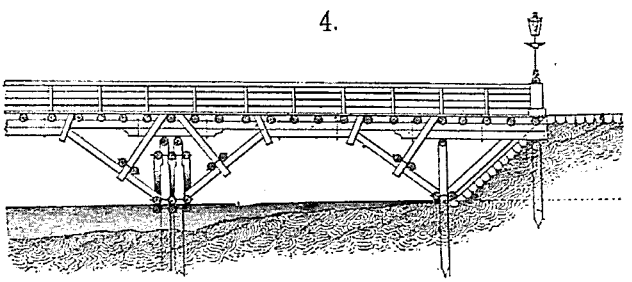


Рис. 557.

Такъ какъ берега и откосы насыпи имѣютъ извѣстный уклонъ, и если стулья, стойки или сваи разставлены по ширинѣ моста па нѣкоторомъ разстояніи, такъ что откосъ берега или насыпи выступаетъ изъ-за свай устоя, то ие смотря иа требуемое малое отверстіе моста пролетное строеніе приходится иногда значительно удлинять (фиг. 201 тб. 25), съ помѣщеніемъ ряда промежуточныхъ опоръ.

Въ виду сего, если высота насыпи небольная, то для уменьшенія длины пролетиыхъ частей устои устраиваются изъ ряда свай, забранныхъ сзади досками или пластинами и образующихъ переднюю стѣнку и откосныя крылья. Сваи перекрываются общей насадкой, а иногда связываются еще и схватками, помѣщенными нѣсколько ниже (фиг. 198, табл. 25); насадки нарубаются на сваи и скрѣпляются съ ними желѣзными хомутами; для предупрежденія выпучиванія передней стѣнки забиваются внутри насыпи якорныя сваи, соединенныя схватками съ передними сваями (фиг. 198), или позади ея выводятъ каменную стѣнку нзъ сухой кладки *). Якорныя сваи забиваются иногда не противъ каждой сваи; поэтому въ уровнѣ поперечиыхъ схватокъ полезно помѣщать продольныя схватки (фиг. 198), связывающія переднія сваи въ одно цѣлое.

На фиг. 199, табл. 25 показанъ разрѣзъ и фасадъ части деревяннаго устоя, состоящаго изъ ряда свай, забранныхъ сзади досками. Сваи забиты наклонно для лучшаго сопротивленія опрокидывающему моменту распора и перекрыты вверху насадкой. Въ уровнѣ межени сваи обжаты. парными схватками, между

*) Взамѣнъ якорныхъ свай, при малой высотѣ насыпи, предложены въ послѣднее время цементныя свайки. Помощью лома дѣлается въ грунтѣ углубленіе до 0,66 с., въ которое вставляется проволока толщиною 4—5 мм., и все заливается жидкимъ растворомъ цемента. Жидкій растворъ, заполняя промежутки между частицами грунта, образуетъ цѣлую сѣть боковыхъ отвѣтвленій, чѣмъ значительно увеличивается сопротивленіе свайки вырыванію. Такъ напр. при длинѣ свайки въ 0,5 и 0,69 метр., сопротивленіе вырыванію по прошествіи 3-хъ мѣсяцевъ составляло: 178 кпл. и 543 кпл.

Выступающіе концы проволоки привязываются къ коренным сваямъ. Для увеличенія сопротивленія вырыванію полезно пользоваться вмѣсто лома особаго рода полымъ щупомъ, оконечность котораго можно по произволу нѣсколько раздвинуть. Образующееся вслѣдствіе сего увеличеніе діаметра нижней части углубленія, а слѣдовательно и утолщеніе нижней части цементной свайки (фиг. 200, табл. 25) способствуетъ увеличенію сопротивленія. Оцѣпленіе цементнаго раствора съ металломъ, какъ извѣстно, очень большое.

которыми забиты шпунтовыя доски; каждая изъ свай притянута въ двухъ мѣстахъ горизонтальными и наклонными схватками къ анкерной сваѣ; выше горизонтальныхъ схватокъ помѣщена сзади поперечная схватка для взаимной связи всѣхъ свай; выше шпунтовыхъ досокъ сваи забраны сзади поперечными рядами толстыхъ досокъ. На насадку свай опираются прогоны моста, связанные по концамъ обвязнымъ брусомъ. Съ другой стороны этотъ типъ устоя имѣетъ тотъ недостатокъ, что сваи подвергаются распору земли во всю ширину моста. Для уменьшенія распора засыпку сзади устоя дѣлаютъ изъ камня или во всю высоту устоя или на половину высоты. Этотъ типъ устоевъ примѣняется при небольшихъ пролетахъ и нерѣдко даже при достаточно высокихъ насыпяхъ, какъ напр. при устройствѣ такъ называемыхъ деревянныхъ трубъ (Средне-Сибирская ж. д., Перновская узкоколейная дорога); во избѣжаніе наклоненія свай отъ дѣйствія распора земли помѣщаютъ между противоположными сваями деревянные кресты изъ врубленныхъ одинъ въ другой въ полдерева раскосовъ, располагая кресты выше уровня высокихъ водъ; при сильномъ теченіи лотокъ въ трубѣ устраивается деревянный, изъ толстыхъ продольныхъ досокъ, прикрѣпленныхъ къ поперечнымъ схваткамъ, помѣщеннымъ въ уровнѣ лотка.

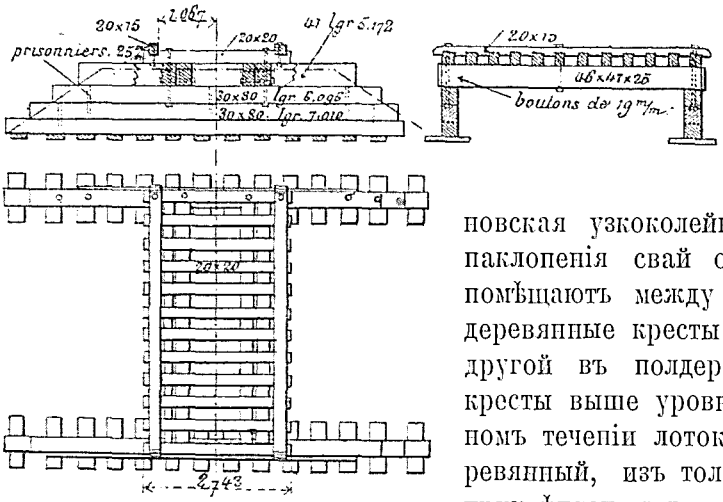


Рис. 558.

На (рис. 558) показанъ примѣняемый въ Америкѣ на второстепенныхъ желѣзныхъ дорогахъ деревянный устой малыхъ открытыхъ искус. сооруженій при высотѣ насыпи до 1 метра. Устой состоитъ изъ ряда брусьевъ сѣченія 30 сан. × × 30 сан., взаимно свинченныхъ и уложенныхъ на ряды подкладокъ; концы прогоновъ стянуты болтами съ верхнимъ брусомъ устоя и съ первой поперечиной.

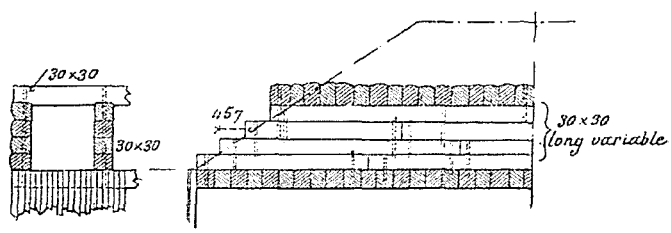


Рис. 559.

На (рис. 559) показанъ подобный же устой и рядъ бычковъ деревянной трубы подъ низкою насыпью; основаніемъ трубы служитъ рядъ брусьевъ, на которыхъ установлены устои и бычки, перекрытые брусьями; величина пролета около 1 метра; нѣкоторые изъ перекрывающихъ брусьевъ связаны болтами съ устоями и промежуточными опорами. Упомянемъ здѣсь кстати объ употребленномъ на Ряжско-Вяземской ж. д. типѣ деревянной трубы, состоявшей изъ равносторонних треугольныхъ рамъ высотою около 0,50 с., установленныхъ на лежняхъ, забранныхъ съ боковъ прикрѣпленными къ нимъ пластинами и съ досчатымъ поломъ на нижней обвязкѣ рамъ.

При высокихъ насыпяхъ и значительныхъ пролетахъ откосу насыпи или берега придаютъ естественный уклонъ и для поддержанія пролетной части моста забиваютъ рядъ свай въ откосъ берега или насыпи; при этомъ наружныя сваи

часто обшиваются досками и получается подобіе передней и обратной стѣнки каменныхъ устоевъ (фиг. 244, табл. 32). Такъ какъ при такомъ устройствѣ устоевъ горизонтальный распоръ подкосовъ моста или арки не уничтожается распоромъ земли, то, во избѣжаніе выпучиванія свай, принимающихъ на себя давленіе подкосовъ, онѣ соединяются съ остальными сваями горизонтальными схватками и крестами (рис. 560). Въ откосъ берега забиты нѣсколько рядовъ одиночныхъ свай, перекрытыхъ насадками и стянутыхъ поперечными схватками; надъ этими послѣдними расположены продольныя схватки, на которыя помѣщаются короткіе бруски, врубленные въ сваи; въ эти бруски и сваи упираются кресты; передній рядъ свай состоитъ изъ тройного ряда свай, перекрытыхъ поперечными насадками, съ нарубленными на нихъ короткими подушками, въ которыя вставлены шипомъ стойки. Эти послѣднія стойки обжаты въ основаніи

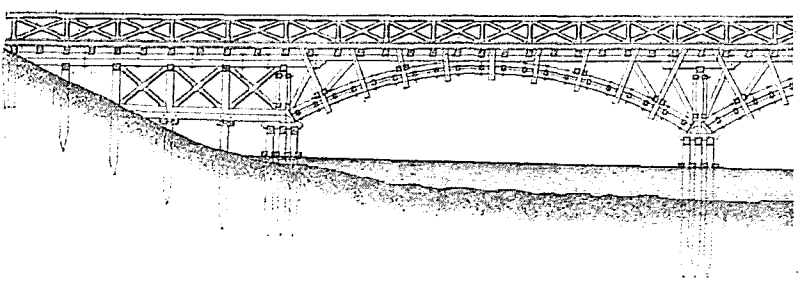


Рис. 560.

продольными схватками и одной поперечной полусхаткой, на которую (фиг. 205, табл. 25) опирается подушка, принимающая давленіе отъ арки.

Равнымъ образомъ схватки и кресты между рядами свай устоя помѣщаются при высокихъ насыпяхъ и при балочныхъ мостахъ или при подкосныхъ, въ которыхъ распоръ принимается особой затяжкой (фиг. 206, табл. 26), когда является опасеніе, что при осадкѣ насыпи и сползаніи откосовъ можетъ появиться выгибъ высокихъ стоекъ. Въ этихъ впдахъ безусловно необходимо возводить, какъ конуса, такъ и прилегающую часть насыпи слоями и съ трамбовкой.

На рис. 206, табл. 26 показанъ типъ устоя при высокой насыпи. Въ продольномъ направленіи имѣется три ряда свай, перекрытыхъ вверху поперечными насадками, на которыя опираются фермы моста. По высотѣ сваи связаны тремя рядами продольныхъ и двумя рядами поперечныхъ схватокъ. Нижній рядъ поперечныхъ схватокъ двойной, такъ какъ въ этомъ мѣстѣ сдѣланъ сростъ свай. Между рядами горизонтальныхъ схватокъ помѣщены въ продольномъ направленіи кресты; въ поперечномъ направленіи помѣщенъ крестъ лишь въ верхней части передняго ряда, вить предѣловъ откоса.

Въ поперечномъ направленіи число рядовъ свай находится въ зависимости отъ ширины моста, числа фермъ моста и проч. Обыкновенно ограничиваются лишь одними коренными сваями, непосредственно поддерживающими фермы моста; откосныхъ свай, обезпечивающихъ поперечную жесткость моста, большею частью не забиваютъ, такъ какъ сваи находятся въ конусѣ насыпи, и возможность поперечнаго отклопенія этимъ достаточно затруднена; иногда, впрочемъ, если передніе ряды свай значительно выступаютъ изъ ядра насыпи, то кромѣ коренныхъ свай забиваютъ еще одну или двѣ пары откосныхъ, не выступающихъ изъ ядра насыпи; эти сваи связываются поперечной схваткой съ коренными сваями, а также помѣщаются укосины и діагональныя схватки, какъ это изображено

въ верхней части поперечнаго разрѣза (фиг. 206). Другіе типы высокихъ устоевъ показаны на фиг. 230, табл. 30 и фиг. 231, табл. 31, гдѣ кресты замѣнены раскосами одного направленія; типъ, изображенный на фиг. 230, съ крестами, помѣщеиными между передними рядами свай—болѣе раціональный типъ, такъ какъ въ случаѣ неудовлетворительной работы затяжки подкосной фермы, распоръ отъ подкосной фермы воспринимается двумя рядами свай, неизмѣнно взаимно соединенныхъ.

Во всѣхъ разсмотрѣнныхъ типахъ устоевъ, какъ простыхъ, такъ и болѣе сложныхъ,—вездѣ замѣчается общій пріемъ *перекрывать поперечный рядъ свай насадкой*, что составляетъ весьма существенное условіе. Помимо общей связи свай, чего можно было бы достигнуть также и схватками, перекрытіе насадками позволяетъ дѣлать разстояніе между прогонами моста независимымъ отъ разстоянія между сваями. Кромѣ того, еслибъ даже разстояніе между сваями равнялось разстоянію между прогонами моста, то и тогда въ виду затруднительности забивки свай правильно по длинѣ моста по одной прямой линіи — насадки даютъ возможность расположить прогонъ по прямой линіи, еслибъ даже прогонъ и не пришелся непосредственно надъ сваей.

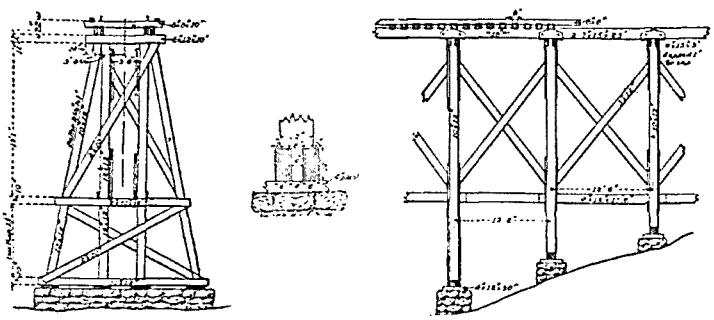


Рис. 561.

Американскіе инженеры отдаютъ впрочемъ предпочтеніе связи помощью двухъ схватокъ, помѣщенныхъ въ самой вершинѣ и на столько врубленныхъ, чтобъ схватки опирались во всю толщину на сваи (рис. 561), чѣмъ облегчается ремонтъ. При такихъ условіяхъ схватки въ отношеніи передачи давленія и сопротивленія изгибу ничѣмъ почти не отличаются отъ насадокъ.

На фиг. 212, табл. 27 показанъ типъ высокаго устоя временнаго деревяннаго моста, замѣняемаго каменнымъ віадукомъ. Устои состоятъ изъ ряда свай, срѣзанныхъ на опредѣленной высотѣ и перекрытыхъ двойной поперечной насадкой. Въ насадку врублены стойки, непосредственно подпирающія ферму, а затѣмъ и наклонные укосины (фиг. 212). Нѣкоторыя изъ свай для большей устойчивости забиты наклонно; всѣ сваи связаны продольными и поперечными схватками и приведены въ неизмѣняемую систему раскосами; нижняя часть устоя для уменьшенія вреднаго вліянія распора земли обсыпана камнемъ.

Относительное расположеніе свай въ поперечномъ направленіи. Число свай въ поперечномъ ряду зависитъ отъ ширины моста и отъ назначенія его. Соображенія, которыми слѣдуетъ въ этомъ случаѣ руководствоваться, будутъ изложены при описаніи типовъ быковъ.

Сопряженіе мостового и дорожнаго полотна при деревянныхъ устояхъ. Въ мостахъ подъ *обыкновенную* дорогу съ незначительной подвижной нагрузкой деревянные прогоны обрубаются на разстояніи около 0,15 с. отъ задней грани насадки (фиг. 81, табл. 9), и на нихъ располагаются поперечные переводы съ настиломъ. Ребро откоса земляного полотна подводится подъ первый переводъ; откосъ вымащивается или укрѣпляется инымъ путемъ; дорожное полотно впереди

моста покрывается мостовой или крупнымъ пескомъ вровень съ досчатымъ настиломъ. Во избѣжаніе осыпанія ребра откоса при нагрузкѣ его экипажами, полезно подвести ребро откоса ие подъ первый переводъ, а подъ второй или третій, (фиг. 583, табл. 73), но при этомъ значительная часть прогоновъ моста оказалась бы въ ядрѣ насыпи и подвергалась бы гніенію, что можно отчасти устранить, замѣняя верхнюю часть конуса пескомъ или щебнемъ. Другіе болѣе простые типы сопряженія указаны на фиг. 197 и 199, табл. 25.

Въ мостахъ подъ *желѣзную* дорогу, съ значительной подвижной нагрузкой, близкое расположеніе путевой шпалы отъ верхняго ребра передняго откоса насыпи возбуждало онасеніе, что ближайшія отъ моста шпалы будутъ давать значительную осадку, съ неизбѣжнымъ толчкомъ при иереходѣ подвижного состава съ путевого рельса на мостовые рельсы. Въ виду сего испытано было нѣсколько приспособленій, при условіи, чтобы не зарывать концы прогоновъ моста на значительное протяженіе въ ядро насыпи. Первое приспособленіе состояло въ томъ (фиг. 201, табл. 25), что прогонъ свѣшивался незначительно надъ крайней насадкой, и ближайшія къ мосту шпалы располагались на независимомъ продольномъ лежнѣ, чѣмъ достигалась передача давленія на бо́льшую площадь; но затруднительность достигнуть при этомъ удовлетворительной подбивки лежня заставила отказаться отъ этого типа. Второй пріемъ состоялъ въ расположеніи одного конца лежня на первой насадкѣ, въ промежуткѣ между прогонами; другой же конецъ — опирался на балластный слой; но при этомъ получалось при неудовлетворительной подбивкѣ два перелома пути. Это обстоятельство побудило перейти къ типу, указанному иа фиг. 202, табл. 25, гдѣ прогонъ свѣшивался на значительную длину за предѣлами насадки; при этомъ во избѣжаніе гніенія прогона земляная насыпь доводилась до уровня насадки, при чемъ ребро внутренняго откоса насыпи отстояло отъ насадки пе менѣе какъ на 0,30 с.; подъ прогонъ подсыпался балластъ, удерживаемый насадкой; торецъ прогона обшивался досками во всю ширину балластнаго слоя, и сзади насыпался толстый слой балласта, удерживаемый доской и первой поперечиной, приболченной къ прогону. Толстый слой балласта хотя уменьшаетъ осадку крайнихъ шпалъ, но прогибъ длиннаго свѣса прогона оказался весьма чувствительнымъ при ѣздѣ, такъ что наиболѣе раціональвымъ сопряженіемъ слѣдуетъ признать типъ, изображенный на фиг. 203 и 204, табл. 25, фиг. 230, табл. 30, а именно: прогоны свѣшиваются незначительно; насыпь доводится лишь до уровня нижней грани насадки (фиг. 203), ребро откоса отводится отъ насадки на 0,30 с., торецъ прогоновъ обшивается досками, первая поперечина приболчивается къ прогону, такъ что получается толстый слой балласта въ огражденномъ пространствѣ. Если имѣется крупный балластъ или щебень то, замѣняя этимъ матерьяломъ верхнюю часть конуса, можно зарывать конецъ прогона въ песчаный или щебеночный слой.

Типъ, указанный на фиг. 204 — нѣсколько сложнѣе и менѣе раціоналенъ; ребро насыпи доведено до нормальной ея высоты; позади прогоновъ ставится рама, состоящая изъ двухъ вертикальныхъ стоекъ съ приболченными къ нимъ тремя пластинами длиною во всю ширину балласта слоя; стойки опираются на лежень; во избѣжаніе наклоненія концовъ пластинъ—стойки рамы росперты вкладышами, врубленными шипами въ стойки и во вторую болѣе длинную поперечину. Подобный же типъ рамы со стойками, углубленными въ ядро насыпи, былъ примѣненъ иа Средне-Сибирской жел. дор. (фиг. 230, табл. 30); но послѣднее усложненіе едвали раціонально.

Мѣры противъ гніенія свай устоевъ моста въ откосахъ насыпи. При высокихъ насыпяхъ въ предѣлахъ ихъ откосовъ приходится помѣщать значительное количество свай (фиг. 230, табл. 30), и если былъ употребленъ въ дѣло сырой лѣсъ, то сваи начинаютъ очень скоро гнить (чрезъ 3—4 года), между тѣмъ какъ вся остальная открытая часть моста сохраняется сравнительно достаточное время (около 10—15 лѣтъ), что составляетъ большой недостатокъ деревянныхъ устоевъ. Съ этою цѣлью рекомендуется употреблять для свай въ предѣлахъ насыпи дубовый лѣсъ или сосновый, пропитанный противогнилостными составами (креозотомъ). Можно было бы также рекомендовать употребленіе металлическихъ свай въ предѣлахъ конуса. На Чіатурской вѣтви (на Кавказѣ) въ тѣхъ же видахъ устой въ предѣлахъ откосовъ насыпи былъ сдѣланъ металлическій (фиг. 220, табл. 28); онъ состоитъ изъ четырехъ парныхъ рельсовыхъ стоекъ, задѣланныхъ нижнимъ концомъ въ кладку каменнаго столба и связанныхъ по высотѣ распорками и крестами. Для большей устойчивости парные рельсы раздвинуты внизу; на верхнюю распорку уложено два мауэрлата, на которыхъ покоятся прогоны моста. Другая мѣра могла бы состоять въ томъ, чтобы замѣнить земляной откосъ каменной отсыпью или по крайней мѣрѣ окружить сваи во всю высоту камнемъ или щебнемъ, легко пропускающимъ воду, или наконецъ примѣнять такую конструкцію верхняго пролетнаго строенія, чтобы въ предѣлахъ конуса не было свайныхъ опоръ.

Ряжевые устои. Сжимы. Въ грунтахъ, не допускающихъ забивку свай, устои устраиваются ряжевыми (фиг. 207 и 208, табл. 26). Ряжи представляютъ собою срубъ изъ круглаго лѣса съ нѣсколькими внутренними и поперечными стѣнками. Разстояніе между стѣнками отъ 0,66 до 1,25 саж.; высота этажа около 2 саж.; второй и третій этажи нарубаются иногда такимъ образомъ, чтобы стѣнки приходились въ перевязку; во избѣжаніе выпучиванія стѣнокъ эти послѣднія обжимаются иногда вертикальными сжимами; нѣкоторые изъ нихъ служатъ вмѣстѣ съ этимъ для поддержанія пролетныхъ частей моста; верхъ сжимовъ покрывается поперечной насадкой, на которой располагаются прогоны моста. Большею частью, какъ показано на фиг. 208, табл. 26, прогоны моста опираются на подушки, опирающіяся въ свою очередь на нѣсколько ряжевыхъ стѣнокъ. Внутренность ряжей заполняется камнемъ или чурой. Показанный на (фиг. 207) устой служилъ опорою для желѣзныхъ фермъ 25 саж. моста чрезъ р. Ворю на Ряжскомъ участкѣ Сызрано-Вяземской жел. дор.; фермы эти были откатаны въ сторону и поставлены на деревянные устои на время перестройки каменныхъ постоянныхъ опоръ; движеніе же поѣздовъ совершалось по объѣздному пути, при чемъ пользовались желѣзными фермами постояннаго моста. Въ виду значительнаго вѣса металлическихъ пролетныхъ частей очевидно нельзя было передать давленіе отъ фермъ на вертикальные сжимы, а понадобилось въ передней части устоя поставить на лежняхъ рядъ стоекъ, перекрытыхъ насадками, поверхъ которыхъ уложено было нѣсколько рядовъ на-крестъ положенныхъ брусьевъ.

Такъ какъ устои по конструкціи имѣютъ много общаго съ быками, то перейдемъ къ детальному разсмотрѣнію устройства промежуточныхъ опоръ.

Промежуточныя опоры. Устройство быковъ измѣняется въ зависимости отъ пролета, высоты быка, системы пролетной части и назначенія моста.

Вообще деревянныя опоры, какъ крайнія, такъ и промежуточныя, можно раздѣлить на четыре класса: 1) на опоры изъ стоекъ цѣльныхъ или сращенныхъ; 2) на многоярусныя опоры, въ которыхъ стойки подраздѣлены горизонтальными насадками; 3) на раскосныя, и 4) ряжевыя.

1) *Опоры изъ стоекъ цѣльныхъ или сращенныхъ. Общее описаніе.* Для небольшихъ пролетовъ быки дѣлаются изъ одного ряда свай, перекрытыхъ общей насадкой, на которой располагаются прогоны пролетной части моста (фиг. 209, табл. 26). Расположеніе прогоновъ моста на поперечныхъ насадкахъ предпочтительнѣе предъ расположеніемъ прогоновъ на сваяхъ, такъ какъ трудно забить совершенно правильно длинный рядъ свай въ одной прямой линіи. Типъ изображенный на фиг. 209 *в* и фиг. 209 *г*, табл. 26, менѣе удовлетворителенъ по сравненію съ типомъ, указаннымъ на фиг. 209 *е*, табл. 26. Сваи, поддерживающія непосредственно мостовое полотно, называются *коренными* сваями. Для большей устойчивости крайнія сваи или нѣсколько крайнихъ забиваются наклонно (фиг. 209 *а*, табл. 26). При большей высотѣ моста сваи связываются кромѣ того горизонтальными и діагональными схватками (фиг. 209 *б*, табл. 26) или приводятся въ неизмѣняемую систему—крестами. Иногда же вмѣсто наклонныхъ крайнихъ свай забиваются въ одной линіи съ коренными отвѣсныя такъ называемыя *откосныя* сваи, которыя срѣзываются ниже коренныхъ свай, при чемъ въ откосныя сваи упираются укосины, врубленныя верхнимъ концемъ въ вершину крайней коренной сваи (фиг. 201, табл. 25, фиг. 209 *в* и 209 *г*, табл. 26). Число откосныхъ свай находится въ зависимости отъ высоты опоры, а также отъ степени поперечной жесткости, которую желаютъ достигнуть. При низкихъ опорахъ помѣщаютъ съ каждой стороны по одной откосной сваѣ (фиг. 201, табл. 25), на разстояніи, отвѣчающемъ уклону въ $\frac{1}{1}$. При бо́льшей высотѣ—въ постоянныхъ мостахъ, помѣщаютъ нѣсколько рядовъ откосныхъ свай (фиг. 206, табл. 26), наблюдая, чтобы взаимное между ими разстояніе отвѣчало уклону укосины отъ $\frac{1}{2}$ до $\frac{1}{1}$. Если мостъ временной, то и при высокихъ опорахъ ограничиваются только одной парой откосныхъ свай (фиг. 210, табл. 26). Вообще чѣмъ меньше имѣется коренныхъ свай въ одномъ поперечномъ ряду, тѣмъ больше слѣдуетъ помѣщать откосныхъ свай, и тѣмъ шире слѣдуетъ ихъ разставлять и обратно (фиг. 206, табл. 26 и фиг. 216, табл. 27). Укосины врубаются нижнимъ концомъ въ откосную сваю (фиг. 211, тб. 26) или частью въ сваю, частью въ схватки (фиг. 206, тб. 26). Верхнимъ концомъ онѣ врубаются въ коренную сваю (фиг. 206, тб. 26), въ насадку и въ сваю (фиг. 201, тб. 25), въ насадку (фиг. 258, тб. 34), или же въ верхнія парныя схватки (рис. 558). Въ уровнѣ упора укосинъ въ откосныя и коренныя сваи помѣщаются горизонтальныя поперечныя схватки (фиг. 209 *в*, 209 *г* и 206, табл. 26). (Типъ указанный на фиг. 201, табл. 25, должеиъ быть дополненъ помѣщеніемъ схватокъ въ уровнѣ врубки укосинъ въ откосныя сваи). Если прогоны моста нарубаются на коренныя сваи, то помѣщаютъ горизонтальныя поперечныя схватки и въ уровнѣ врубки укосинъ въ коренныя сваи (фиг. 209 *в* и фиг. 209 *г*, табл. 26, фиг. 210, табл. 26, фиг. 216, табл. 27). Если же коренныя сваи перекрыты насадкой, т. е. прогоны нарубаются на насадки, то верхнихъ схватокъ часто не дѣлаютъ (фиг. 201, табл. 25, фиг. 206, табл. 26). Въ этомъ случаѣ нужно однако принять мѣры противъ возможнаго отклоненія укосинъ въ сторону. Такъ напр. укосина врубается частью въ коренную сваю, частью въ насадку (фиг. 201, табл. 25), при чемъ, во избѣжаніе приподнятія насадки при перекашиваніи опоры, она должна быть соединена съ коренной сваей хомутомъ (фиг. 201, табл. 25), скобами или штыремъ. Многіе высказываются противъ врубки укосинъ въ насадку; такой типъ имѣетъ основаніе лишь въ томъ случаѣ, когда при незначительномъ числѣ коренныхъ свай желаютъ увеличить ширину опоры по верху (фиг. 258, табл. 34).

Въ числѣ другихъ мѣръ, обезпечивающихъ вершины укосинъ отъ отклоненія принимаются еще слѣдующія: укосины удерживаются отъ отклоненія концами діагональныхъ полусхватокъ (фиг. 206, табл. 26); вершины укосинъ скрѣпляются съ коренной сваей болтами (фиг. 232, табл. 32), или же въ уровнѣ мѣста врубки укосинъ (фиг. 230, табл. 30 и фиг. 238, табл. 31) помѣщаются ниже насадки парныя полусхватки, что безусловно предпочтительнѣе.

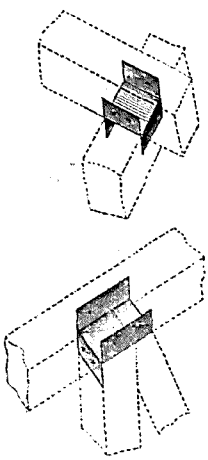


Рис. 562.

На рис. 562 изображено примѣняемое въ Америкѣ приспособленіе, состоящее изъ желѣзнаго штамповаинаго башмака, что исключаетъ необходимость дѣлать врубки укосинъ въ сваи и въ насадки, а также нарубать насадки на шипы или вообще дѣлать врубки при взаимномъ соединеніи брусьевъ. Башмакъ прикрѣпляется толстыми гвоздями.

Взаимное расположеніе свай опоры. Для мостовъ подъ *обыкновенную* дорогу разстояніе между сваями измѣняется отъ 3,5 до 5,5 футъ.

Въ мостахъ подъ *желѣзную* дорогу это разстояніе зависитъ отъ того, назначаются ли двѣ, три, четыре или пять свай подъ путь и затѣмъ, будутъ ли прогоны моста расположены на сваяхъ или на поперечной насадкѣ. При двухъ кореиныхъ сваяхъ, на которыхъ непосредственно нарублены прогоны моста, разстояніе между ними дѣлается не много болѣе ширины путп (5 ф. = 0,714 с.) и находится въ зависимости отъ размѣровъ шпалъ; обыкновенно это разстояніе дѣлается въ 6 ф.=0,85 с. (фиг. 209 *е* и фиг. 206, табл. 26); если иа сваи нарублены насадки, то взаимное разстояніе находится уже въ зависимости отъ размѣровъ насадки и дѣлается обыкновенно пе менѣе 6′—6,5′ или 0,85 с.—0,93 с. (фнг. 209 *с*, табл. 26, фиг. 225, табл. 29).

Если подъ путь назначаются три сваи (фиг. 209 *в*, 209 *с*. табл. 26, фиг. 227, табл. 29, фиг. 238, табл. 31), то разстояніе между ними слѣдуетъ такъ опредѣлить, чтобы на каждую изъ свай приходилось одинаковое давленіе; нужно имѣть въ виду, что въ данномъ случаѣ шпала представляетъ неразрѣзной брусъ на трехъ опорахъ или, благодаря симметричности расположенія нагрузки, каждая половина шпалы представляетъ балку, задѣлаиную однимъ концомъ горизонтально и свободно лежащую другимъ концомъ (рис. 562′).

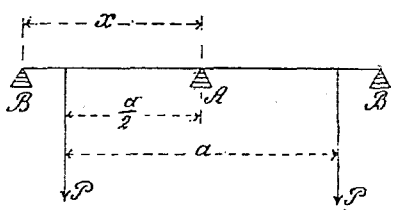


Рис. 562′.

Такъ, напр., если разстояніе между сваями—x; разстояніе между рельсами — a; давленіе отъ колеса паравоза — P, то, называя чрезъ B и A давленіе иа крайнюю и среднюю сваю, передаваемое каждой половиной шпалы, мы должны имѣть: $B = 2A$, гдѣ:

$$B = P\frac{\left[2\frac{a}{2} + 3\left(x - \frac{a}{2}\right)\right]\cdot\left(\frac{a}{2}\right)^2}{2x^3} = \frac{Pa^2}{8x^3}\left(3x - \frac{a}{2}\right).$$

$$A = P\frac{\left[3\left(\frac{a}{2}\right)^2 + 6\left(\frac{a}{2}\right)\left(x - \frac{a}{2}\right) + 2\left(x - \frac{a}{2}\right)^2\right]\left(x - \frac{a}{2}\right)}{2x^3} = \frac{P}{2x^3}\left(2x^3 - 3x\frac{a^2}{4} + \frac{a^2}{8}\right)$$

откуда найдется x.

Приравнивая $B = 2A$, получимъ:

$$\frac{a^2}{8}\left(3x - \frac{a}{2}\right) = 2x^3 - 3x\frac{a^2}{4} + \frac{a^3}{8}$$

или

$$64x^3 - 36a^2x + 6a^3 = 0,$$

откуда съ достаточнымъ приближеніемъ:

$$x = 0{,}65\,a.$$

Слѣдовательно, при $a = 5$ ф.:

$$\lambda = 0{,}65 \times 5 \text{ ф.} = 3{,}25 \text{ ф.} = 0{,}464 \text{ с.}$$

или примѣрно

$$x = 0{,}5 \text{ с.}$$

Предпочтительнѣе устраивать подъ путь 3 сваи, особенно при длинныхъ мостахъ, такъ какъ возможное небольшое искривленіе моста въ планѣ отъ осадки и напора земли на деревянные устои всегда позволитъ *сохранить для рельсоваго пути прямое направленіе*, не выходя изъ очертанія наружныхъ свай.

При четырехъ сваяхъ—крайнія сваи сближаются или вплотную (фиг. 232, табл. 31), или до взаимнаго разстоянія въ свѣту около 0,10 с. (что соотвѣтствуетъ 0,30 с. ось отъ оси сваи), при чемъ сваи располагаются такъ, что рельсы приходятся въ промежуткѣ между сваями (фиг. 201, табл. 25, фиг. 230, табл. 30); иногда всѣ сваи располагаются на равномъ взаимномъ разстояніи около 0,36 с. ось отъ оси съ расположеніемъ рельсовъ между сваями (фиг. 218, табл. 28), или же съ расположеніемъ рельсовъ надъ средними или между средними сваями; при этомъ пользуются крайними сваями для помѣщенія тротуара или вообще для увеличенія поперечной жесткости моста (фиг. 216, табл. 27).

При пяти сваяхъ или при пяти стойкахъ, частью вертикальныхъ, частью наклонныхъ (фиг. 259, табл. 34), каждый изъ прогоновъ, состоящій изъ нѣсколькихъ, напр., трехъ отдѣльныхъ брусьевъ, располагается такъ, что средній брусъ приходится надъ сваей, а два крайніе—въ промежуткѣ между сваями.

Что касается расположенія свай въ *продольномъ* направленіи, то обыкновенно помѣщается или одинъ поперечный рядъ (фиг. 201, табл. 25) или при болѣе значительныхъ пролетахъ и при большей нагрузкѣ—два и три ряда свай, поставленныхъ вертикально вплотную (фиг. 210, табл. 26), или раздвинутыхъ на толщину схватокъ (фиг. 229, табл. 30; фиг. 231, табл. 31; фиг. 225, табл. 29), а также поставленныхъ наклонно (фиг. 217, табл. 28, рис. 569) или же настолько раздвинутыхъ (около 0,75 с. — 1,00 с.), что между ними можно помѣстить систему стяжекъ, схватокъ и крестовъ (фиг. 206, табл. 26; фиг. 216, табл. 27; фиг. 220, табл. 28; фиг. 227, табл. 29; фиг. 230, табл. 30).

Этотъ послѣдній типъ опоръ обладаетъ очень большою жесткостью относительно бокового выпучиванія (значительный моментъ инерціи) и безусловно долженъ быть примѣняемъ при высокихъ опорахъ желѣзнодорожныхъ мостовъ съ фермами подкосной системы, когда при загрузкѣ одного только пролета распоры, передаваемые на опору отъ подкосовъ смежныхъ пролетовъ, взаимно не уничтожаются и выгибъ опоры неизбѣженъ. Хотя продольныя схватки, помѣщаемыя въ уровнѣ пятъ подкосовъ, принимаютъ на себя распоръ, но, во-первыхъ, не всегда можно помѣщать эти схватки, (какъ напр., въ томъ случаѣ, когда подъ мостомъ существуетъ проѣздъ) (фиг. 218, табл. 28), а затѣмъ, вообще, предпочтительнѣе выбирать такую конструкцію, чтобы каждая часть отвѣчала сама за себя. Для сбереженія расхода болѣе жесткія опоры помѣщаются иногда черезъ одну, какъ это напр.

указано въ типѣ, изображенномъ на фиг. 231, табл. 31. Въ этомъ же типѣ подъ каждымъ прогономъ помѣщены въ поперечномъ направленіи также по двѣ сваи, такъ что образуется какъ бы кустъ изъ четырехъ свай.

Иногда приходится размѣщать три сваи вплотную, когда имѣются напр. подкосныя фермы и подкосы нежелательно врубать въ сваю; тогда рядомъ съ коренными сваями забиваются по двѣ болѣе короткія, которыя перекрываются насадками и на нихъ опираются подкосы (фиг. 213 *е*, табл. 27). Тотъ же принципъ, вполнѣ раціональный, примѣненъ и въ примѣрѣ, указанномъ на фиг. 206, табл. 26; здѣсь рядомъ съ каждой изъ взаимно раздвинутыхъ коренныхъ свай забиты короткія коренныя сваи, перекрытыя насадками, и въ нихъ упираются подкосы фермъ.

Если временный деревянный желѣзнодорожный мостъ устраивается такимъ образомъ, чтобы онъ одновременно служилъ подмостями для сборки желѣзныхъ фермъ, что дѣлается ради сбереженія расходовъ—на устройство объѣзднаго пути и на устройство отдѣльныхъ подмостей, то при мостахъ съ ѣздою по-верху разстояніе между сваями такъ расчитывается, чтобы оставалось со всѣхъ сторонъ достаточное свободное пространство для производства клепки (около 0,40—0,50 саж.). Въ этомъ случаѣ забиваются только два ряда свай (одиночныхъ или двойныхъ), или четыре ряда, причемъ двѣ среднія сваи иногда разставляются лишь на столько, чтобы можно было между ними пропустить горизонтальныя діагональныя связи. Сваи, схватки и распорки нужно вообще такъ размѣщать, чтобы нигдѣ не происходило пересѣченія съ желѣзными частями фермы и оставалось достаточно мѣста для клепки. На фиг. 210, табл. 26 показаны фасадъ, планъ и поперечные разрѣзы временнаго моста чрезъ р. Суру въ Пензѣ на Моршанско-Сызранской ж. д., внутри котораго производилась сборка желѣзныхъ фермъ. Устройство опоръ слѣдующее: въ рядъ забиты четыре двойныя коренныя сваи во всю вышину моста, на взаимномъ разстояніи 4,5 ф. и 5 ф.; въ томъ же поперечномъ ряду имѣются двѣ короткія откосныя двойныя сваи на разстояніи 25,5 ф. отъ крайнихъ свай. Въ эти сваи и въ крайнія высокія сваи врубленъ одиночный подкосъ, сращенный по длинѣ; по высотѣ быка расположено четыре ряда поперечныхъ схватокъ; кромѣ горизонтальныхъ поперечныхъ схватокъ имѣются діагональныя поперечныя схватки между среднею и верхнею горизонтальными схватками, полусхватки и крестообразныя распорки между нижней и средней горизонтальной схваткой. Схватки слегка расходящіяся, такъ какъ нижнимъ своимъ концомъ онѣ обжимаютъ двойную коренную сваю, а верхнимъ—верхнія горизонтальныя схватки, между которыми помѣщена укосина. Полусхватки обжимаютъ четыре коренныя сваи, а крестообразныя распорки помѣщены между наружной коренной сваей и укосиной. Затѣмъ имѣются еще діагональныя распорки между крайними и средними коренными сваями. Быки взаимно связаны на различной высотѣ продольными схватками и діагональными крестообразными распорками, расположенными въ промежуткѣ между поперечными схватками; въ верхней части быка помѣщены еще діагональныя горизонтальныя полусхватки: разстояніе между двумя смежными быками 12 ф.; система пролетной части моста— балочная; прогоны — двойные составные брусья, связанные вмѣсто шпонокъ двойными поперечными брусьями, что сдѣлано для того, чтобы связать въ одно цѣлое прогоны моста, нарубленные прямо на сваи и служащіе вмѣстѣ съ тѣмъ подрельснымъ брусомъ; въ одномъ только пролетѣ разстояніе между быками увеличено до 24 футъ, что необходимо было сдѣлать для пропуска судовъ; въ этомъ пролетѣ пролетная часть подкосной системы. Желѣзныя фермы моста во время сборки опирались при помощи подкладокъ на второй рядъ поперечныхъ схватокъ.

На фиг. 211, табл. 26 показаны подобныя же подмости, примѣненныя при сборкѣ желѣзной пролетной части віадука на одной изъ итальянскихъ желѣзныхъ дорогъ. Всѣ мѣры выражены въ метрахъ. Каждый быкъ состоитъ изъ 6-ти свай: двухъ коренныхъ во всю высоту опоры и четырехъ короткихъ (откосныхъ). Наружныя укосины, сращенныя по длинѣ, упираются нижнимъ концемъ въ наружныя короткія сваи, а верхній конецъ зажатъ между верхними горизонталъными схватками; внутреннія укосины врублены верхнимъ концемъ въ среднія стойки немного выше второго ряда (считая сверху) горизонтальныхъ поперечныхъ схватокъ. Кромѣ горизонтальныхъ поперечныхъ схватокъ имѣются поперечныя діагональныя полусхватки, и продольныя схватки. На второмъ ряду (сверху) поперечныхъ схватокъ расположены парные прогоны для поддержанія же-

лѣзной фермы. Такъ какъ разстояніе между быками 7,20 метра, то для уменьшенія пролета прогоны подмостей подперты подкосами по серединѣ, а прогоны пролетной части моста—подкосами съ ригелемъ, съ уменьшеніемъ расчетнаго пролета втрое.

Одно изъ существенныхъ неудобствъ этихъ системъ состоитъ въ томъ, что такъ какъ опоры моста и подмостей однѣ и тѣ же, то при проходѣ поѣзда по временному мосту вслѣдствіе сотрясенія большая часть подкладокъ и клиньевъ, поддерживающихъ ферму, сдвигается съ мѣста и необходимо очень часто вывѣрять нивеллиромъ, сохраняетъ ли желѣзная ферма требуемое положеніе. Поэтому, если возможно и не дорого, то лучше въ промежуткѣ между двумя смежными быками забивать сваи для поддержанія прогоновъ подмостей, какъ это было сдѣлано при сборкѣ моста чрезъ р. Шпаевку на Морш.-Сызр. жел. дорогѣ.

Если каменныя опоры предполагается вывести послѣ постройки временнаго моста, то деревянныя опоры слѣдуетъ такъ размѣщать, чтобы онѣ не мѣшали производству каменной кладки. На фиг. 212, табл. 27 показанъ временный мостъ, имѣющій быть замѣненнымъ каменнымъ мостомъ; для возможности смыканія сводовъ въ тѣхъ пролетахъ, гдѣ поставлены деревянные быки, эти послѣдніе разбираются послѣ того, какъ будутъ поставлены временныя деревянныя опоры, опирающіяся на выведенные каменные быки.

Продольная связь смежныхъ опоръ. Въ мостахъ подъ жел. дор. смежные высокіе быки связываются между собою продольными схватками (фиг. 206, 210 и 211, табл. 26; фиг. 225, табл. 29), а также діагональными полусхватками или крестообразными распорками (фиг. 210, табл. 26; фиг. 224, табл. 29). Когда есть основаніе опасаться бокового (вдоль моста) выпучиванія опоръ (особенно въ подкосныхъ мостахъ), отъ неравномѣрной нагрузки пролетовъ. Діагональныя полусхватки или крестообразныя распорки между смежными опорами безусловно необходимы и при балочной системѣ фермъ, если опоры высоки и состоятъ изъ одного поперечнаго ряда свай (фиг. 258 и 259, табл. 34). Вообще полезно въ высокихъ опорахъ подраздѣлять стойки на части нѣсколькими рядами продольныхъ и поперечныхъ схватокъ, для уменьшенія свободной длины при изгибѣ стоекъ. Продольныя схватки помѣщаются или въ одной линіи, сращиваясь по длинѣ (фиг. 211, табл. 26), или же во избѣжаніе образованія сроста концы нижнихъ схватокъ располагаются одинъ надъ другимъ (фиг. 206, табл. 26). Продольныя діагональныя полусхватки или крестообразныя распорки помѣщаются между коренными сваями или а) во всю высоту опоры между каждыми двумя смежными опорами (фиг. 210, табл. 26); b) во всю высоту опоры, но съ оставленіемъ одного изъ промежутковъ безъ крестовъ (фиг. 224, табл. 29), при чемъ кресты помѣщаются какъ между коренными сваями, такъ и между наружными укосинами, или наконецъ, с) въ каждомъ промежуткѣ, но не во всю высоту опоръ (фиг. 258 и 259, табл. 34). Для увеличенія продольной жесткости опоры можно подпирать опоры подкосами, упирающимися въ забитыя между опорами сваи (фиг. 238 *a*, табл. 31); но это возможно примѣнять лишь въ тѣхъ случаяхъ, когда нѣтъ надобности оставлять пролеты свободными. Въ мостахъ подъ обыкновенную дорогу продольныя схватки часто и не помѣщаются, такъ какъ здѣсь не можетъ быть такой неравномѣрной нагрузки смежныхъ пролетовъ. Кромѣ того, при низкомъ заложеніи пятъ подкосовъ или арокъ, помѣщеніе схватокъ является неудобнымъ въ виду необходимости оставить свободный проходъ для судовъ. Въ этихъ случаяхъ опора должна быть спроектирована на столько жесткой, чтобы быть въ состояніи сопротивляться боковому выпучиванію.

Мѣры, обезпечивающія поперечную жесткость опоры. Опора обжимается по высотѣ нѣсколькими рядами горизонтальныхъ схватокъ, въ промежуткѣ между которыми помѣщаются діагональныя полусхватки, захватывающія какъ корен-

ныя, такъ и всѣ или часть укосинъ откосныхъ свай (фиг. 206 и фиг. 211, табл. 26, фиг. 225, табл. 29); между коренными сваями, а иногда и между коренными и откосными сваями помѣщаются крестообразныя распорки (фиг. 225) табл. 29, фпг. 210, табл. 26). Во избѣжаніе мало дѣйствительныхъ пологихъ діагональныхъ полусхватокъ помѣщаютъ двѣ и болѣо паръ полусхватокъ между горизонтальными рядами схватокъ (фиг. 224 и фиг. 227, табл. 29, фиг. 260, табл. 34). Вмѣсто наружныхъ діагональныхъ полусхватокъ помѣщаютъ иногда внутреннія полусхватки (фиг. 259, тб. 34). При глубокихъ рѣкахъ ниже уровня воды прикрѣпленіе схватокъ невозможно, а потому довольствуются помѣщеніемъ наклонныхъ тяжей, укрѣпляемыхъ водолазами или заранѣе привинченныхъ къ сваѣ до забивки.

При двухъ коренныхъ сваяхъ и при рядѣ откоспыхъ свай обыкновенно помѣщаютъ распорные кресты между коренными сваями, (при условіи, что имѣются наружныя укосины) и діагональныя полусхватки между кореиными и откосными сваями (фнг. 225, табл. 29), что лучше типа, указаннаго на фиг. 206, табл. 26, гдѣ не имѣется распорныхъ крестовъ. При трехъ кореппыхъ сваяхъ подъ одинъ путь, достаточно сближенныхъ, по необходимости слѣдуетъ пользоваться полусхватками для связи коренныхъ свай, примѣняя для связи коренныхъ свай съ откоспыми—*полусхватки* (фиг. 227, табл. 29) или крестообразныя распорки (фиг. 238, табл. 31). Иногда примѣпяется смѣшаиная система (фиг. 210, табл. 26). Во всякомъ случаѣ слѣдуетъ имѣть въ виду, чтобы все было приведено въ треугольную систему.

Діагональныя полусхватки слѣдуетъ дѣлать изъ лѣса не тоньше 5 вер. или изъ пластинъ, выпиленныхъ изъ 6—7 вер. лѣса; досчатыя полусхватки не допускаются. По вопросу о томъ, что предпочтительнѣе: діагональныя полусхватки или кресты въ плоскости свай, то большинство особенно американскихъ инженеровъ отдаетъ предпочтеніе крестамъ, такъ какъ полусхватки, хотя бы достаточно толстыя, не могутъ полнымъ сѣченіемъ сопротивляться сжатію, благодаря эксцентричному прикрѣпленію; что касается прикрѣпленія полусхватокъ къ сваямъ, то для сего пользуются болтами толщиною $^3/_4''$—$^7/_8''$; такая значительная толщина необходима въ виду малаго сопротивленія дерева смятію. Американскіе инженеры совѣтуютъ замѣнять болты дубовыми нагелями діаметромъ около $1^1/_2$ дюйм.

Способы сращиванія свай. При значительной вышинѣ моста сваи наращиваются врубкою секторами (рис. 563), въ полдерева со стяжкою бугелями, или со стяжкою шестью схватками, врубленными въ лапу (деталь β, фиг. 227, табл. 29); въ притыкъ со штыремъ съ двумя накладками съ обѣихъ сторонъ и съ поперечными схватками противъ стыка (шведскій способъ — рис. 565), или сопрягаютъ обѣ части четырьмя схватками, врубленными въ лапу и стянутыми болтами (рис. 566 и фиг. 238*d*, табл. 31). Равнымъ образомъ примѣпяется сращиваніе помощью чугунной муфты — стакана (рис. 564) или лучше помощью желѣзной муфты свинчиваемой изъ двухъ половинъ съ добавленіемъ штыря



Рис. 563.

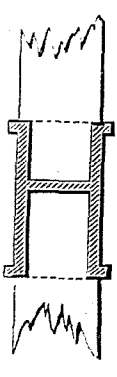


Рис. 564.

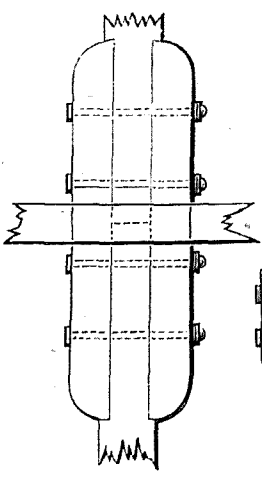


Рис. 565.

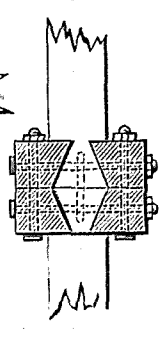


Рис. 566.

(рис. 569*д*). Если сростъ свай придется ниже поверхности земли, то довольствуются сопряженіемъ въ притыкъ помощью штыря съ муфтой или безъ нея. Различныя детали врубокъ пасадокъ въ сваи показаны на фиг. 215, табл. 27, а именно для пасадки круглаго сѣченія (два варіанта), для отесанной на два канта, и для прямоугольной пасадки. Вездѣ проведенъ тотъ принципъ, чтобъ перерубленныя въ пасадкахъ волокна имѣли упоръ на сваѣ. Въ двухъ варіантахъ перваго типа и во второмъ типѣ имѣется по три шипа, а въ четвертомъ одинъ шипъ въ $\frac{1}{3}$ толщины. Первый варіантъ имѣетъ тотъ недостатокъ, что въ пасадкѣ перерублено много волоконъ.

Сросты частей всѣхъ стоекъ, находящихся выше поверхности земли, слѣдуетъ дѣлать въ одномъ уровнѣ (фиг. 216, табл. 27; фиг. 222, табл. 28; фиг. 230, табл. 30; фиг. 238, табл. 31), чтобы сосредоточить въ одномъ мѣстѣ помѣщеніе двухъ сближенныхъ рядовъ горизонтальныхъ поперечныхъ схватокъ, (фиг. 230, табл. 30), а иногда сверхъ того и двухъ рядовъ продольныхъ схватокъ (фиг. 238, табл. 31), что дѣлается для приданія сросту жесткости по всѣмъ направленіямъ. При устройствѣ временныхъ мостовъ отъ этого правила часто отступаютъ.

Ниже поверхности земли сросты по необходимости оказываются на различныхъ уровняхъ, въ зависимости отъ сопротивленія сваи при ея забивкѣ. Во всякомъ случаѣ желательно, чтобы сросты приходились ниже линіи промерзанія; иначе при замерзаніи влаги, попавшей въ сростъ, происходитъ выпираніе вверхъ нарощенной части стойки, что при неодинаковости величины выпиранія въ различныхъ стойкахъ вызываетъ вредное перекашиваніе всего моста *). Указанныя неблагопріятныя обстоятельства усугубляются по своимъ послѣдствіямъ, если сваи забиты въ глинистый пучистый грунтъ, который, выпучиваясь при промерзаніи, выпираетъ сваи вверхъ **). Это неблагопріятное явленіе замѣчается и въ томъ случаѣ, когда сроста не имѣется, но сваи забиты неглубоко; поэтому въ такихъ случаяхъ необходима возможно глубокая забивка свай ниже линіи промерзанія, дабы треніе о нижнюю часть сваи было болѣе силы, стремящейся приподнять сваю и приложенной къ верхней ея части ***). Можетъ быть было бы полезно

*) Въ деревянномъ мосту на Портовой вѣтви Николаевской ж. дороги черезъ Московское шоссе, нынѣ уже замѣненномъ желѣзнымъ мостомъ, обнаружилось ранней весной 1895 г. сильное перекашиваніе полотна моста. Когда отрыты были сваи, то оказалось, что сростъ свай, находившійся на 0,5 с. ниже поверхности земли, сдѣланный въ полдерева и стянутый двумя бугелями, разошелся въ вертикальномъ направленіи на 0,015 с., при чемъ въ сростѣ оказался слой льда толщиною въ 0,015 с.

**) Въ высокихъ деревянныхъ віадукахъ Пермскаго участка Пермь-Тюменской ж. дороги, нынѣ уже замѣненныхъ насыпями съ каменными трубами, отдѣльныя опоры приподнимались зимой отъ 0,015 с. до 0,03 с., что заставляло примѣнять на мосту деревянныя высокія подкладки подъ рельсами.

***) На Средне-Сибирской ж. дорогѣ, гдѣ каждая промежуточная опора состоитъ (фиг. 230, табл. 30) изъ 8 коренныхъ свай и изъ 8 откосныхъ свай, въ нѣкоторыхъ мостахъ при высотѣ насыпи до 3 саж. обнаружилось (1895 г.) приподнятіе одной стороны опоры до 0,03 с., сопровождавшееся соотвѣтственнымъ искривленіемъ моста въ планѣ. Коренныя сваи забиты на глубину 4 саж., а откосныя—на глубину 3 саж.; откосныя не имѣютъ сроста, въ коренныхъ же сдѣланъ сростъ въ полдерева, *выше* поверхности земли, перекрытый поперечными горизонтальными схватками. Въ этомъ сростѣ въ низовыхъ коренныхъ сваяхъ обнаружено было приподнятіе верхней части (надставки) до 0,03 с.; соотвѣтственный конецъ горизонтальной поперечной схватки былъ также приподнятъ; укосина между откосной и коренной сваями оказалась въ значительной степени вдавленной въ сваю. Въ данномъ случаѣ произошло вѣроятно приподнятіе откосной сваи хотя цѣльной, но недостаточно глубоко забитой; это приподнятіе помощью укосины передалось на надставку коренной сваи и приподняло надставку. Укосина была вслѣдъ за тѣмъ надрублена на 0,03 с. и дѣйствіемъ тяжести проходящихъ поѣздовъ надставка осажена, хотя и не вплотную.

примѣнять при сростѣ скобы съ заершенными согнутыми подъ угломъ зубьями для лучшей связи надставки со сваей; въ противномъ случаѣ при отдѣленіи надставки отъ свай пропадаетъ безъ пользы достигнутый съ большими затратами малый отказъ свай.

Въ опорахъ, разбираемыхъ на время ледохода, сростъ устраивается такимъ образомъ, чтобы опъ былъ легко разбираемъ и вмѣстѣ съ тѣмъ представлялъ достаточное сопротивленіе боковому отклоненію. На фиг. 214, табл. 27 (правый рисунокъ) показанъ типъ подобнаго сроста, примѣненный въ опорахъ эстакады, примыкающей къ плашкоутному мосту черезъ р. Оку въ Нижнемъ-Новгородѣ. Въ поперечномъ къ оси моста направленіи забиты на извѣстномъ взаимномъ разстояніи группы тройныхъ свай (*a*, *b*, *a*). Средняя свая *b* срѣзана выше горизонта низкихъ водъ, по на 1 саж. ниже крайнихъ свай *a*, срѣзанныхъ въ свою очередь ниже горизонта ледохода. Всѣ сваи стянуты двумя рядами поперечныхъ горизонтальныхъ схватокъ: одинъ рядъ въ уровнѣ вершины свай *a*, а другой въ уровнѣ вершины сваи *b*. Въ промежутокъ между сваями *a* вставляется съемная стойка *b'*, упирающаяся непосредственно на торецъ сваи *b*. Работа эта довольно кропотливая, такъ какъ производится тотчасъ по проходѣ ледохода, когда горизонтъ воды постоянно поднимается и слѣдовательно приходится ощупью отыскивать мѣсто для постановки стойки *b'*.

Въ американскихъ типахъ опоръ встрѣчаются иногда сросты стоекъ, скрѣпленные желѣзными накладками и болтами (фиг. 259, табл. 34).

Детали врубокъ подкосовъ въ сваи и подбалки. Для уменьшенія свободнаго пролета прогоновъ моста послѣдніе подпираются иногда подкосами. При временныхъ мостахъ, а иногда и при постоянныхъ, подкосы врубаются частью въ сваю, а частью опираются на поперечную схватку; врубку въ одну сваю не слѣдуетъ допускать въ виду значительнаго ослабленія сваи. Въ мѣстахъ врубки подкосовъ въ сваи слѣдуетъ всегда помѣщать поперечныя и продольныя схватки.

На фиг. 215, табл. 27, показана деталь врубки подкоса въ сваю и въ схватку: въ подкосѣ сдѣланы три шипа съ соотвѣтственными гнѣздами въ сваѣ; вмѣсто трехъ шиповъ дѣлаютъ большею частью одинъ шипъ въ $\frac{1}{3}$ толщины; схватка врублена въ сваю такъ, что имѣется присѣкъ, т. е. схватка не только обжимаетъ сваю, но и опирается на нее, что безусловно необходимо во избѣжаніе изгиба, или срѣзыванія стяжныхъ болтовъ при передачѣ вертикальнаго давленія отъ подкоса на сваю.

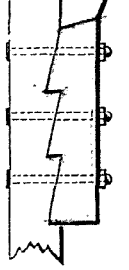


Рис. 567.

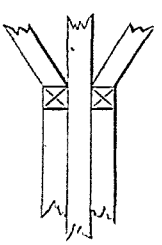


Рис. 568.

Если по расчету окажется, что сопротивленіе смятію одной врубки недостаточно, то подкосъ упираютъ въ особую подушку, соединенную со сваею нѣсколькими не глубокими зубьями или шпонками и болтами (рис. 567, фиг. 233 и фиг. 238*e*, табл. 31). Такой способъ упора подкосовъ имѣетъ то преимущество, что свая ослабляется очень незначительно.

Вмѣсто того, чтобы передавать при помощи подушки давленіе на сваю рядомъ нѣсколькихъ врубокъ, расположенныхъ непосредственно одна подъ другой, пользуются иногда для сего врубками нѣсколькихъ рядовъ поперечныхъ и продольныхъ схватокъ. Такъ напр., на фиг. 230, табл. 30 изображена

такая деталь. Тройные подкосы врублены въ поперечную схватку, которая въ свою очередь врублена на 2 д. въ сваю; подъ этой схваткой располагается продольная схватка, обжимающая сваю, но не врубленная въ нее; подъ нею находится вторая поперечная схватка, врубленная въ сваю, а ниже ея—вторая короткая продольная полусхватка, также врубленная въ сваю. Такимъ образомъ давленіе отъ подкоса передается на сваю тремя врубками при помощи двухъ поперечныхъ схватокъ и одной продольной полусхватки; врубки расположены въ шахматномъ порядкѣ на всѣхъ четырехъ сторонахъ свай.

На фиг. 233, табл. 31 показано примѣненіе смѣшаннаго типа: давленіе отъ подкосовъ на сваю передается врубкамъ подушками и продольными схватками.

При постоянныхъ же мостахъ, какъ сказано было раньше, лучше упирать подкосы въ отдѣльныя сваи (рис. 568), забитыя рядомъ со сваей быка, такъ какъ при неисправномъ состояніи желѣзныхъ связей (гаекъ, болтовъ и проч.) схватки могутъ отстать отъ сваи, и подкосъ не будетъ имѣть упора. Деталь врубки подкосовъ въ подбалки указана на фиг. 215, табл. 27.

Детали врубокъ схватокъ. Схватки должны быть такъ врублены, чтобъ при наименьшемъ ослабленіи сваи, схватка опиралась на сваю во избѣжаніе изгиба стяжного болта (фиг. 238*г*, табл. 31). Если схватка должна служить и для закрѣпленія сроста свай, то онѣ врубаются сверхъ того лапой (фиг. 238*д*, табл. 31), и стягиваются горизонтальными и вертикальными болтами.

Деревянные быки на лежняхъ, на каменномъ фундаментѣ и съ чугунными вставками. Въ плотныхъ щебенистыхъ грунтахъ, гдѣ забивка свай затруднительна, помимо примѣненія ряжевыхъ опоръ, о чемъ сказано будетъ ниже, нерѣдко опираютъ деревянныя стойки опоръ на лежни (фиг. 229, табл. 30), подъ которые для передачи давленія на большую площадь подкладываютъ рядъ коротышей; въ результатѣ сего получается такъ называемый типъ опоръ—рамъ. Лежни закладываютъ на достаточной глубинѣ, чтобы предохранить опоры отъ подмыва, и сдѣланный для сего ровъ заполняется крупнымъ камнемъ. Ту же систему примѣняютъ часто для дешевизны при устройствѣ подмостей и при обыкновенныхъ болѣе сжимаемыхъ грунтахъ (фиг. 228, табл. 30), принявъ мѣры противъ возможности подмыва и обезпечивъ передачу давленія на большую площадь.

Въ Америкѣ также очень часто примѣняется этотъ типъ при устройствѣ деревянныхъ высокихъ віадуковъ (trestle-works) (фиг. 260, табл. 34), при переходѣ овраговъ, особенно въ тѣхъ частяхъ віадука, гдѣ опоры приходятся на отлогостяхъ оврага и гдѣ, слѣдовательно, нельзя ожидать постояннаго сильнаго протока водъ.

Деревянныя опоры имѣютъ тотъ существенный недостатокъ, что части опоры, находящіяся въ поясѣ перемѣннаго стоянія уровня воды, начинаютъ скоро гнить, между тѣмъ какъ верхняя и нижняя части опоры сохраняются сравнительно долго. Въ віадукахъ, устраиваемыхъ надъ дорогами или въ мостахъ черезъ овраги со случайными водами этотъ поясъ находится *вблизи* поверхности земли. Съ этою цѣлью вполнѣ раціонально устраивать деревянныя опоры на каменномъ фундаментѣ (фиг. 219, табл. 28), на каковомъ и располагаются лежни. Въ изображенномъ на фиг. 219 примѣрѣ, на каменный фундаментъ уложенъ парный лежень, въ который врублены парныя стойки, перекрытыя насадкой; между стойками пропущена одиночная укосина, врубленная въ парные лежень и насадку.

На Николаевской ж. дорогѣ при устройствѣ переѣздовъ не въ уровнѣ съ полотномъ дороги примѣнены деревянные віадуки, опоры которыхъ поддерживаются

отдѣльными каменными столбами при помощи прикрѣпленныхъ къ каменному столбу чугунныхъ башмаковъ, въ которые вставлены стойки.

Другой примѣръ подобнаго же типа указанъ на фиг. 220, табл. 28, примѣненный на узкоколейной горной Чіатурской ж. дорогѣ; подъ коренныя стойки и подъ укосины выведено по каменному столбу, къ которому прикрѣиленъ болтами лежень, а въ этотъ послѣдній вставлены шипами коренныя стойки и укосины опоры; стойки парныя, разставленныя и взаимно связанныя системой стяжекъ и крестовъ. Примѣненіе въ данномъ случаѣ каменныхъ столбовъ вызвано было еще другими соображеніями, а именно—чтобы не подвергать деревянныя опоры удару влекомыхъ потокомъ крупныхъ камней и проч.

Если поясъ перемѣннаго горизонта находится *выше* дна рѣки (что имѣетъ мѣсто во всѣхъ мостахъ черезъ рѣки), то въ предѣлахъ этого пояса, по предложенію Базена, примѣнялись прежде чугунныя вставки (фиг. 246, табл. 32); на вершину свай надѣвалась чугунная цилиндрическая полая надставка, которая помощью наружныхъ и внутреннихъ закраинъ, а также чугуннаго диска, ис женнаго на вершину опоры, передавала полученное давленіе на сваю; вер часть надставки была также снабжена наружными и внутренними закра ми, приспособленными для пріема давленія отъ деревянной верхней части опоры. Вершина свай была обдѣлана въ видѣ толстаго цилиндрическаго шипа, а нижс въ видѣ наклонной врубки для помѣщенія двухъ рядовъ горизонтальныхъ схватокъ, препятствующихъ подпятію чугунной надставки; основаніе верхней деревянной надставки было также обжато схватками, опиравшимися на ре борду.

Приспособленія на кривыхъ и на уклонахъ. Если мостъ приходится на кривыхъ частяхъ пути, то сваи срѣзываются въ одномъ уровнѣ, и необхо имый поперечный уклонъ достигается примѣненіемъ насадки перемѣнной высо , или же сваи срѣзываются наклонно (фиг. 260, табл. 34) и перекрываются паса кой одно-образной высоты. Если продольный уклонъ не великъ и протяженіе моста не большое, то всѣ опоры устраиваются на одной высотѣ и необходи ый уклонъ достигается измѣненіемъ высоты поперечинъ или постепеннымъ утол неніемъ прогоновъ. При значительной длинѣ моста уклонъ достигается постепеннымъ увеличеніемъ высоты опоръ съ расположеніемъ прогоновъ по уклону.

Примѣры. Приведемъ описаніе нѣсколькихъ опоръ разсматриваемаго типа.

На фиг. 206 показанъ типъ опоръ, примѣненный на Западно-Сибирской ж. дорогѣ. Каждая опора состоитъ изъ восьми коренныхъ свай; по ширинѣ моста имѣются двѣ коренныя сваи, а по длинѣ—четыре, которыя забиты по двѣ вплотную и пары разставлены на 1,35 с. Изъ забитыхъ рядомъ вплотную свай, одна доходитъ до верху, а другая до уровня пятъ подкосовъ, и служитъ для пріема давленія отъ подкосовъ; высокія и низкія сваи перекрыты насадками, на которыя опираются прогоны моста и подкосы фермъ. Въ линіи двухъ поперечныхъ рядовъ коренныхъ свай забиты еще съ каждой стороны опоры по три откосныхъ сваи въ каждомъ ряду, на разстояніи въ 0,75 с. По высотѣ сваи связаны тремя парными рядами поперечныхъ схватокъ; верхній рядъ состоитъ изъ парной и одиночной схватки; одиночная схватка служитъ вмѣстѣ съ тѣмъ насадкой для двухъ низкихъ свай. Такъ какъ только коренныя сваи—двойныя, а откосныя—одиночныя, то въ мѣстахъ обжима горизонтальными схватками откосныхъ свай подложена прокладка толщиною равною толщинѣ короткой сваи. Въ промежуткѣ между горизонтальными схватками помѣщены діагональныя полусхватки; укосины помѣщены какъ по наружному очертанію опоры, такъ и въ нижнемъ промежуткѣ между первой и второй откосной сваей. Въ продольномъ направленіи разставленныя сваи опоры связаны по высотѣ короткими продольными схватками, по одному ряду вверху и по два ряда—внизу, между которыми помѣщены кресты, упирающіеся въ поперечныя горизонтальныя схватки. Смежныя опоры связаны горизонтальными схватками, помѣщенными вблизи пятъ подкосовъ; около

опоръ схватки прерываются и взаимно связаны короткой схваткой, служащей одновременно стяжкой для опоры. На насадки опоры помѣщена двойная подбалка, а выше—двойной прогонъ; оба стыка прогона сдѣланы въ предѣлахъ опоры. Четверной брусъ надъ опорой обжатъ вертикальными схватками, между которыми зажаты кресты, препятствующіе опрокидыванію высокихъ фермъ. Пролетная часть въ 3 саж. перекрыта подкосными фермами. Сваи 6 вершковыя, горизонтальныя схватки и укосина—изъ 5 верш лѣса, діагональныя полусхватки изъ 5 верш. пластинъ, насадки и прогоны моста изъ 8 верш. лѣса. Устой того же типа, какъ и средняя часть быка. Къ достоинствамъ этого типа опоръ слѣдуетъ отнести значительную жесткость, передачу давленія отъ подкосовъ на самостоятельныя сваи; къ недостаткамъ же относится примѣненіе только двухъ рядовъ коренвыхъ свай съ двумя прогонами очень высокими и поэтому валкими; кромѣ того, типъ подкоснаго моста съ ригелемъ неудаченъ въ смыслѣ искаженія вида фермы при частной загрузкѣ пролета.

На фиг. 216, табл. 27, показанъ быкъ прежняго моста черезъ р. Любовшу на Лиепской узкоколейной дорогѣ, замѣненнаго нынѣ желѣзнымъ мостомъ. Всѣ сваи сращены по шведскому способу; въ мѣстахъ сроста помѣщены схватки. Каждый быкъ состоитъ изъ двухъ рядовъ свай, соединенныхъ короткими горизонтальными схватками и раскошенныхъ крестами. Двѣ внутреннія сваи назначены для поддержанія пути, а двѣ наружныя—для поддержанія тротуара. Нижняя часть приведена въ неизмѣняемую систему двумя крестообразными полусхватками. Вверху кромѣ такого же креста имѣется еще по два упорныхъ подкоса, упирающихся въ верхнюю схватку.

На фиг. 217, табл. 28 изображенъ одинъ изъ заграничныхъ типовъ деревянныхъ опоръ. Каждая промежуточная опора состоитъ изъ двѣнадцати коренныхъ свай (всего три группы свай по числу прогоновъ моста), забитыхъ наклонно; вверху каждая пара свай перекрыта короткой продольной насадкой, на которой уложена двойная поперечная насадка, служащая въ свою очередь опорой для прогоновъ моста. Съ верховой и низовой стороны забиты еще наклонныя откосныя сваи, зажатыя сверху между двумя насадками; въ уровнѣ высокихъ водъ помѣщены двѣ поперечныя схватки, связывающія одновременно какъ откосныя, такъ и коренныя сваи; ниже поперечныхъ схватокъ положены короткія продольныя схватки, и затѣмъ все въ предѣлахъ перемѣннаго горизонта обшито досками, чтобы между отдѣльными сваями не попадали плавающія тѣла. Пролеты моста неодинаковой длины: по величинѣ пролета, каждый изъ трехъ составныхъ прогоновъ состоитъ изъ трехъ, четырехъ и пяти брусьевъ; вблизи опоръ, гдѣ имѣетъ мѣсто наибольшее скалываніе при изгибѣ, чинки и болты помѣщены болѣе часто; въ одной плоскости съ поперечинами моста поставлены внизу поперечныя стяжки, врубленныя въ прогоны и стянутыя болтами съ поперечинами; на опорахъ высокіе прогоны обжаты вертикальными схватками, между которыми помѣщены кресты, врубленные въ схватки и прикрѣпленные къ нимъ болтами. Если бы поперечная насадка была длиннѣе, то для лучшаго сопротивленія опрокидыванію крайнихъ прогоновъ внаружу полезно было бы помѣстить подкосы. Поверхъ лежней слѣдовало бы прикрѣпить шпалы, а къ нимъ уже рельсы. Этотъ типъ опоръ при балочныхъ прогонахъ при незначительной вышинѣ опоръ—вполнѣ раціоналенъ.

На фиг. 218, табл. 28 показанъ типъ опоры моста на Пермскомъ участкѣ Пермь-Тюменской ж. дороги. Въ виду того, что фермы подкосныя, и въ уровнѣ пятъ подкосовъ нельзя было помѣстить продольныхъ схватокъ,—опора проектирована съ разставленными по длинѣ моста сваями. Всего забито 8 коренныхъ свай и четыре откосныхъ; всѣ сваи и укосины обжаты по высотѣ тремя парами схватокъ, замѣняющихъ вверху насадку; кромѣ горизонтальныхъ схватокъ имѣются діагональныя полусхватки; верхній конецъ укосины обжатъ горизонтальными схватками, а нижній упирается въ продольную схватку, врубленную въ откосную сваю; четыре двойныхъ прогона опираются непосредственно на сваи.

На фиг. 223*а*, *б* и *в*, табл. 28 показано нѣсколько типовъ примѣняемыхъ заграницею деревянныхъ опоръ временныхъ мостовъ. Въ типѣ (фиг. 223*а*) забиты восемь коренныхъ наклонныхъ свай, сближенныхъ въ поперечномъ направленіи и раздвинутыхъ въ продольномъ направленіи. Затѣмъ имѣется 4 наружныхъ и двѣ внутреннихъ короткихъ откосныхъ вертикальныхъ сваи, забитыхъ въ одну линію; на эти короткія откосныя сваи опираются укосины. Коренныя сваи перекрыты вверху поперечными насадками, обжимающими сверхъ того вершину укосинъ. На насадки опираются балочныя фермы, изъ которыхъ каждая состоитъ изъ парнаго составного изъ трехъ брусьевъ прогона съ подбалкою; фермы обжаты висячими схватками, между которыми зажаты кресты. (На попе-

речномъ разрѣзѣ верхнія схватки должны быть замѣнены насадками на коренныхъ сваяхъ). Коренныя сваи связаны системою поперечныхъ и продольныхъ схватокъ.

На фиг. 223*б* показанъ такой же типъ опоръ, съ тѣмъ лишь отличіемъ, что какъ коренныя, такъ и откосныя сваи забиты наклонно, укосины также расположены въ двухъ наклонныхъ граняхъ. Вершины укосинъ покрыты продольными насадками, обжимающими вершины коренныхъ свай, на которыхъ нарублены поперечныя насадки, служащія опорою для фермъ. (Поперечный разрѣзъ сдѣланъ по серединѣ фермы; такимъ образомъ, показанный на разрѣзѣ двойной поперечный брусъ изображаетъ нижнюю связь и насадку въ фасадѣ). Въ продольномъ направленіи опора раскошена стяжками и крестами. Въ крайнюю откосную сваю упирается укосина, доходящая до верхняго пояса фермы, обезпечивающая фермы (безъ горизонтальныхъ связей) отъ опрокидыванія.

На фиг. 223*в* показана опора изъ двухъ коренныхъ вертикальныхъ свай и изъ двухъ боковыхъ короткихъ наклонныхъ свай, перекрытыхъ насадкой, на которую опираются подкосы подбалки.

На фиг. 230, табл. 30 изображены опоры и фасадъ подкоснаго моста съ пролетомъ въ 3 саж. на Средне-Сибирской ж. дорогѣ. Каждая опора состоитъ по фасаду изъ двухъ рядовъ свай. Въ каждомъ изъ рядовъ въ поперечномъ направленіи имѣются четыре коренныя сваи и четыре откосныя сваи, отвѣчающія уклону укосинъ въ 1 : 2. Коренныя сваи перекрыты вверху насадкой и сверхъ того парной схваткой; затѣмъ по высотѣ имѣются еще три ряда поперечныхъ схватокъ изъ которыхъ два нижнихъ, приходящихся противъ сроста свай,—двойные. Въ верхней части опоры укосины помѣщены между первой откосной сваей и крайней коренной, а въ нижней части опоры имѣется двѣ пары укосинъ; коренныя и откосныя сваи, а также и укосины стянуты сверхъ того діагональными полусхватками; въ мѣстахъ упора укосинъ помѣщены продольныя схватки. Сростъ свай сдѣланъ въ полдерева и стянутъ двумя бугелями; кромѣ того стыкъ обжатъ двумя рядами продольныхъ и поперечныхъ схватокъ, врубленныхъ лапой и стянутыхъ болтами. Для упора подкосовъ не имѣется самостоятельной сваи, а давленіе передается на коренныя сваи цѣлой системой схватокъ, врубленныхъ въ сваю и обжимающихъ ее по всѣмъ направленіямъ. А именно, подушка, въ видѣ толстой полусхватки, передаетъ давленіе, получаемое отъ подкосовъ, на нижележащую продольную схватку, отъ нея на поперечную и далѣе на короткую продольную схватку. (Детали сходны съ приведенными для типа, указаннаго на фиг. 229). Смежныя опоры стянуты однимъ рядомъ тройныхъ схватокъ, при чемъ въ смежныхъ пролетахъ схватки помѣщены не въ одну линію, а въ разбѣжку. Схватки, помѣщенныя въ уровнѣ пятъ подкосовъ, не могли быть расположены въ разбѣжку, въ виду необходимости помѣстить подушки подъ пятами раскосовъ въ одномъ уровнѣ. Съ этою цѣлью въ одномъ изъ пролетовъ помѣщена только одна средняя схватка, а въ слѣдующемъ—только двѣ крайнія и т. д.; концы схватокъ продолжены за предѣлы опоръ, такъ что подъ подушкой всегда имѣются три схватки. Въ подкосной фермѣ имѣются двѣ системы взаимно перекрещивающихся подкосовъ, въ виду чего одинъ изъ подкосовъ одиночный, а другой—двойной; благодаря двойнымъ сближеннымъ кореннымъ сваямъ—двойные подкосы не выходятъ изъ-за наружнаго очертанія свай. Для удержанія подкосовъ въ неизмѣнномъ (относительно поперечнаго направленія) положеніи они обжаты парными схватками; въ предѣлахъ опоръ схватка тройная; средняя стяжка доходитъ только до толстаго одиночнаго подкоса, прерывается и дальше опять продолжается до слѣдующаго одиночнаго раскоса; для связи отдѣльныхъ частей схватокъ и для избѣжанія сроста ихъ наружныя полусхватки помѣщены лишь въ предѣлахъ опоры, продолжены за двойные подкосы и соединены въ концѣ болтами съ одиночной средней прерывной схваткой, при чемъ образующійся зазоръ между наружной схваткой и одиночной подкосной заполненъ вкладышемъ. Прогоны состоятъ изъ одиночныхъ брусьевъ; стыки помѣщены въ разбѣжку надъ подбалкой. Пролетныя части проектированы болѣе раціонально, чѣмъ въ примѣрѣ, указанномъ на фиг. 206, такъ какъ вмѣсто двухъ прогоновъ имѣются четыре прогона; подкосная ферма безъ ригеля, чѣмъ достигается значительная устойчивость и жесткость фермы и устранено неизбѣжное при проходѣ поѣзда перекашиваніе ея; но съ другой стороны къ слабымъ сторонамъ слѣдуетъ отнести передачу давленія отъ подкосовъ не на отдѣльныя сваи, а на коренныя при помощи системъ схватокъ; въ данномъ случаѣ устойчивость пролетныхъ частей, не смотря на солидную конструкцію, вполнѣ зависитъ, какъ отъ качества исполненія врубокъ подкосовъ въ схватки и послѣднихъ въ сваи, такъ и отъ исправнаго состоянія стяжныхъ болтовъ и гаекъ, скрѣпляющихъ схватку со сваей.

На фиг. 229, табл. 30 изображенъ типъ опоры на Средне-Сибирской ж. дорогѣ, примѣненный въ щебенистыхъ грунтахъ. — Этотъ типъ оноры имѣетъ много общаго съ предыдущимъ; разница та, что въ продольномъ направленіи сваи сближены почти вплотную съ прокладкой тройныхъ поперечныхъ схватокъ. (Показанные въ правомъ верхнемъ углу детали относятся къ фиг. 229).

На фиг. 231—237, табл. 31 показанъ фасадъ, разрѣзъ и детали деревянныхъ опоръ на Московско-Казанской ж. дорогѣ. Опоры со сближенными и раздвинутыми стойками чередуются; каждая опора состоитъ изъ 8 коренныхъ свай и такого же числа откосныхъ свай; діагональныхъ полусхватокъ не имѣется; между коренными сваями помѣщены кресты, а между коренными и откосными, и между откосными — укосины. Коренныя сваи перекрыты вверху насадками, на которыя опираются подбалки, а на послѣднихъ два прогона изъ двойного составного бруса; прогоны подперты въ двухъ точкахъ двумя системами раскосовъ, изъ которыхъ одинъ двойной, а другой одиночный; на фиг. 237 показано въ планѣ направленіе двойныхъ раскосовъ, расходящихся въ основаніи и сходящихся въ вершинѣ, гдѣ они врублены въ поперечную подушку. На фиг. 233 показана деталь сопряженія подкосовъ со сваей въ типѣ сближенныхъ свай, а на фиг. 234 — та же деталь въ типѣ раздвинутыхъ свай. Подкосы врубаются въ горизонтальную подушку въ видѣ схватки, которая передаетъ давленіе двумъ вертикальнымъ подушкамъ, врѣзаннымъ въ сваю зубьями, и двумъ продольнымъ схваткамъ, врубленнымъ съ другой стороны въ сваю; между сваями помѣщена промежуточная поперечная схватка, которая тянется во всю ширину моста (фиг. 236). Врубка этой схватки въ обѣ сваи показана на фиг. 237. Подъ нею (фиг. 233) вставлена между сваями вертикальная подушка, соединенная со сваями шпонками. Сростъ продольныхъ схватокъ сдѣланъ въ одномъ случаѣ замкомъ и усиленъ сверхъ того стыковой накладкой (брусомъ), соединенной со схваткой шпонками и болтами (фиг. 233 и 234); въ другомъ случаѣ сростъ сдѣланъ въ нахлестку (фиг. 235). На фиг. 235 показана деталь сопряженія прогоновъ съ насадкой. Эта послѣдняя нарублена на двѣ коренныя сваи и на укосину, притянута хомутомъ къ сваямъ, такъ какъ укосина врублена въ насадку; одна изъ вѣтвей хомута обжимаетъ деревянную кобылку, прижатую съ боку къ подбалкѣ и препятствующую опрокидыванію прогона; въ плоскости соприкасанія подбалки съ нижней поверхностью прогона врублены деревянныя поперечины, играющія кромѣ того роль шпонокъ; прогоны обжаты по длинѣ вертикальными висячими схватками, сквозь которыя пропущены стяжные болты; въ висячія схватки въ горизонтальной плоскости врублены досчатые раскосы (одиночные и двойные), такъ что въ горизонтальной плоскости эта связь представляетъ ферму Гау. Всѣ схватки стянуты болтами діаметромъ отъ $^3/_4$ до $^7/_8$ д.

На фиг. 259, табл. 34 показанъ оригинальный типъ опоры, въ которомъ горизонтальная и діагональныя схватки помѣщены внутри между парными стойками. По ширинѣ опоры забиты три короткія коренныя и четыре откосныя сваи. Три коренныя сваи перекрыты насадкой, поверхъ которой положены двойныя насадки, служащія одновременно схватками для откосныхъ свай. Надъ двойной насадкой положена одиночная насадка, которая обжимается пятью парными стойками сѣченія $6'' \times 10''$, стыки которыхъ срощены желѣзными планками съ болтами. Въ промежуткахъ между стойками вставлены діагональныя внутреннія полусхватки $3'' \times 10''$ и горизонтальныя схватки $6'' \times 10''$. Парныя стойки перекрыты вверху насадками, которыя прикрѣплены къ стойкамъ желѣзными планками. На насадкѣ расположены тройные прогоны балочнаго моста. Продольная связь между опорами достигается продольными схватками по серединѣ высоты и жесткими діагоналями, упирающимися торцемъ въ верхнюю, среднюю и нижнюю насадки и прикрѣпленныя сверхъ того болтами къ парнымъ стойкамъ.

На фиг. 238*а*, 238*б*, табл. 31, показана опора временнаго моста во время возстановленія трубы на Кукуевскомъ оврагѣ Моск.-Кур. ж. д. Сваи опоры въ продольномъ направленіи раздвинуты на 1 саж. Кромѣ 6 коренныхъ свай (по три въ каждомъ поперечномъ ряду) имѣется еще 4 откосныхъ сваи неодинаковой высоты; помимо укосинъ между откосными сваями и между крайней коренной и средней откосной сваей помѣщены кресты; коренныя сваи обжаты діагональными полусхватками. Сростъ свай со стойками сдѣланъ въ уровнѣ нижнихъ схватокъ; второй сростъ стоекъ — въ горизонтѣ среднихъ схватокъ; эти схватки состоятъ изъ четырехъ брусьевъ; остальные три ряда поперечныхъ схватокъ составлены изъ двухъ брусьевъ, за исключеніемъ средней части, прилегающей къ кореннымъ сваямъ, гдѣ онѣ также состоятъ изъ четырехъ брусьевъ. Сваи опоры связаны кромѣ

того продольными схватками (въ пяти мѣстахъ по высотѣ опоры), при чемъ верхнія схватки составлены изъ двухъ брусьевъ, а остальныя—изъ четырехъ расположенныхъ непосредственно выше и ниже поперечныхъ схватокъ. Всѣ схватки стянуты болтами, помѣщенными по обѣ стороны свай. Для большей связи смежныхъ опоръ и для увеличенія устойчивости—смежныя опоры связаны продольными схватками (три по высотѣ опоры), и кромѣ того въ плоскости, параллельной продольной оси моста, помѣщены подкосы, упирающіеся въ особыя подкосныя сваи, забитыя въ промежуткѣ между опорами. Коренныя сваи перекрыты поперечными насадками, на которыхъ нарублены подбалки, а поверхъ нихъ расположены прогоны, составленные изъ трехъ брусьевъ. Середина прогона подперта двумя подкосами. На фиг. 238*в* и 238*е* — показано соединеніе укосинъ съ откосной сваей; концы укосины упираются въ торецъ подушки, соединенной со сваей шпонками и болтами; двойная схватка при соединеніи со сваей имѣетъ присѣкъ, при чемъ схватка захватываетъ сваю наклоннымъ шипомъ шириною около $^1/_3$ толщины свай и врубленнымъ въ лапу.

На фиг. 238*г* — изображено соединеніе одиночныхъ схватокъ со сваей; въ сваѣ сдѣлано два гнѣзда для пріема соотвѣтственныхъ шиповъ схватки; примѣненная врубка препятствуетъ поперечному перемѣщенію схватки и отчасти удерживаетъ схватки отъ опусканія ихъ внизъ, облегчая этимъ работу стяжныхъ болтовъ. Фиг. 238*д* — представляетъ деталь сроста свай или стоекъ; въ торцы сращиваемыхъ стоекъ забитъ заершенный штырь; для предупрежденія отклоненія въ сторону и отдѣленія верхней нарощенной части—сростъ обжатъ по двумъ перпендикулярнымъ направленіямъ схватками, при чемъ схватки врублены въ лапу съ присѣкомъ и имѣютъ наклонные шипы. На фиг. 238*ж*, табл. 32, показано соединеніе подкоса фермы со стойкой. Подкосъ врубленъ частью въ сваю и опирается на подушку, связанную шпонками и болтами со сваей. Пяты подкосовъ обжаты схватками, при чемъ короткая и концы длинныхъ схватокъ образуютъ какъ бы двойную схватку; ниже поперечныхъ схватокъ помѣщена третья схватка. Фиг. 238*з* — представляетъ деталь сроста прогоновъ моста помощью сложной врубки и дубоваго клина — соединенія, называемаго замкомъ. На фиг. 238*и* — показана врубка въ подушкѣ, въ которую упираются подкосы фермы; боковыя грани скошены нормально къ направленію раскосовъ; въ граняхъ сдѣланы гнѣзда для шиповъ подкосовъ; въ верхней грани подушки, для помѣщенія прогоновъ фермы, имѣется вырубка съ присѣками по краямъ; подобнымъ расположеніемъ достигается крайне незначительное ослабленіе прогона и уничтожается возможность бокового перемѣщенія его.

На фиг. 239*а*, табл. 32—показаны быки постоянныхъ подмостей для сборки фермъ Волжскаго моста Оренбургской желѣзной дороги. Въ планѣ подмости имѣютъ ферму буквы $\overline{\Pi}$ (фиг. 239*б*). Средняя часть устроена на берегу, а крайнія выступаютъ въ рѣку; промежутокъ между выступающими частями около 40 саж. *); ширина выступающихъ частей около 9 саж. Каждый отдѣльный быкъ состоитъ изъ 24 свай, изъ которыхъ 12 свай служатъ для принятія давленія отъ катковъ движущейся фермы; остальныя сваи имѣютъ назначеніе откосныхъ свай. Разстояніе между смеж-

*) Упомянемъ здѣсь объ употребленномъ на Волжскомъ мосту способѣ установки фермъ на каменныя опоры. Въ пространствѣ между выступающими частями (фиг. 239*б*) установлено 7 барокъ длиною 22 саж. и шириною 4 саж. непзмѣнно между собою связанныхъ, на которыхъ устроены подмости въ одномъ почти горизонтѣ съ постоянными подмостями. Подъемная сила пловучихъ подмостей 83020 пуд. Вышина подмостей (около 11,5 саж. надъ меженними водами и 1,75 саж. надъ берегомъ) такъ расчитана, что она соотвѣтствуетъ возможности установки фермъ во время меженняго горизонта Волги. На каждой изъ выступающихъ частей постоянныхъ подмостей, имѣющихъ въ планѣ очертаніе буквы $\overline{\Pi}$, уложено по 4 тройныхъ рельсовыхъ пути съ такимъ расчетомъ, чтобы они приходились подъ стойками; въ концѣ каждаго изъ тройныхъ путей установлена лебедка. Фермы собирались на берегу на средней части подмостей, которая имѣла такую ширину (около 30 саж.), что позволяла одновременную сборку 5 пролетовъ. Для перевода фермъ съ постоянныхъ подмостей на пловучія зацѣпляли свободный конецъ цѣпи лебедки за ферму, къ нижнему поясу которой прикрѣплены подъ стойками катки, соотвѣтствующіе положенію рельсовыхъ путей. Затѣмъ усиліемъ 16 человѣкъ (по 2 на лебедку) фермы накатывались на выступающія части постоянныхъ подмостей. Во время накатки барки подвижныхъ подмостей были на столько затоплены водою, что эти подмости не касались нижняго пояса средней части фермы. Окончивъ накатку фермы на выступающія части, приступали къ одновременному выкачиванію воды изъ всѣхъ 7 барокъ при помощи локомобиля съ однимъ общимъ приводомъ ко всѣмъ

пыми быками 1,5 саж. Какъ въ поперечномъ, такъ и въ продольномъ направленіи сваи быковъ связаны горизонтальными схватками и креостообразными схватками въ вертикальной плоскости. Сваи наращены врубкой и стянуты въ стыкѣ бугелями.

На рис. 569 изображенъ оригинальный типъ деревянныхъ опоръ, поддерживающихъ металлическія пролетныя части и кругъ катанія поворотнаго моста черезъ р. Atchafalaya, рукава Миссисипи, близъ Мексиканскаго залива. Мостъ имѣетъ девять пролетовъ по 158 ф. = 22,57 саж. и двухрукав-

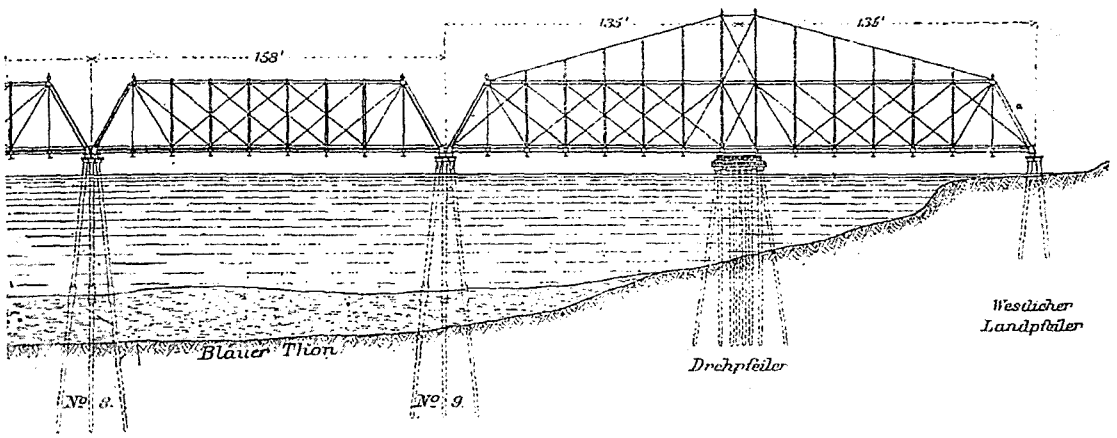


Рис. 569 *а*.

ную поворотную часть при величинѣ каждаго пролета въ 135 ф. Нормальная глубина рѣки 50 ф., скорость теченія 13 ф. въ 1 сек.; дно покрыто толстымъ слоемъ ила подъ которымъ залегаетъ синяя глина на глубинѣ до 90 ф. ниже уровня пути. Опоры деревянныя и состоятъ каждая изъ 24 свай, 12 свай подъ смежными концами двухъ фермъ. Въ поперечномъ направленіи (рис. 569 *б*, *в*, *г*)

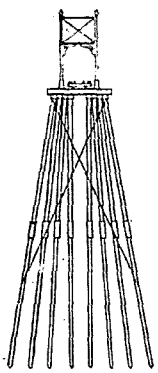


Рис. 569*б*.

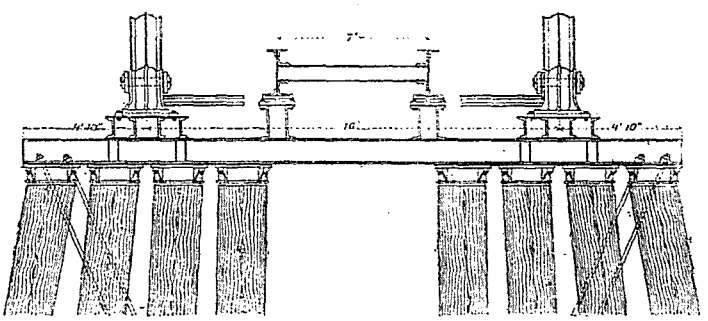


Рис. 569 *в*.

8 свай; среднія — отвѣсныя, остальныя — наклонныя; вершины каждой группы 12 свай перекрыты металлическими цилиндрическими оголовками, прикрѣпленными въ свою очередь къ металлической толстой доскѣ. Поверхъ досокъ расположены во всю длину опоры три двутавровыя балки,

насосамъ (съ качающимися поршнями). Этимъ достигался подъемъ подвижныхъ подмостей на столько, что концы фермъ приподнимались съ выступающихъ частей постоянныхъ подмостей и ферма опиралась своею среднею частью на подвижныя подмости на протяженіи 40 с. (Во избѣжаніе прогиба свѣшивающихся концовъ фермы плоскіе раскосы были обжаты деревянными брусьями, вставленными между поясами). Затѣмъ пароходъ бралъ на буксиръ 7 барокъ съ находящимися на нихъ подмостями и фермами и заводилъ ихъ въ требуемый пролетъ. По установкѣ баржъ въ пролетѣ, накачивали воду въ баржи до тѣхъ поръ, пока концы фермъ не осѣдали на подферменные камни. Дальнѣйшее накачиваніе воды освобождало подмости изъ-подъ фермы, и пароходъ уводилъ ихъ на свое мѣсто. Высота подмостей отъ меженняго горизонта около 12 саж.; на сооруженіе ихъ потребовалось около 60000 бревенъ.

на которыхъ установлены подушки. Длина нѣкоторыхъ свай доходила до 135 ф., которая составлялась по длинѣ изъ двухъ бревенъ; срост сдѣланъ въ притыкъ (рис. 568*е*) со питыремъ длиною 27 д. и діаметромъ 3 д. и скрѣпленъ желѣзной муфтой высотою 7 ф. изъ $^1/_2$ дюймоваго желѣза; муфта состоитъ изъ двухъ частей, представляющихъ въ сѣченіи не полную полуокружность и окаймленныхъ уголкомъ. Въ виду значительной глубины рѣки поперечная и продольная связь между сваями опоръ устроена помощью наклонныхъ металлическихъ тяжей, нижній конецъ которыхъ былъ прикрѣпленъ къ сваямъ до забивки; верхній конецъ тяжей закрѣпленъ въ металлической доскѣ. Опора поворотнаго моста

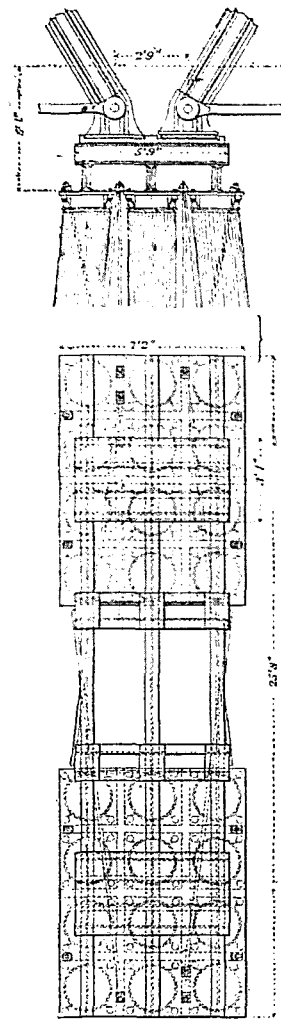


Рис. 569*г*.

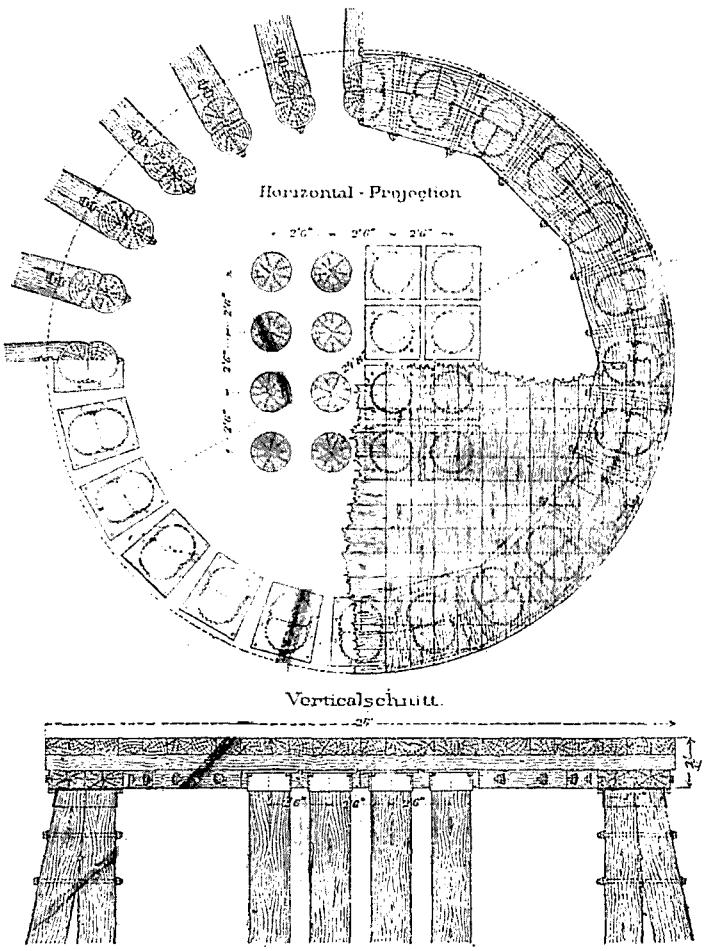


Рис. 569*д*.

(рис. 569*д*) состоитъ изъ 16 свай подъ осью вращенія и 52 свай подъ кругомъ катанія діаметромъ 24′ 8″; сван подъ кругомъ катанія—парныя, одна свая вертикальная, а другая—наклонная, и сван перекрыты металлическими оголовками, поверхъ которыхъ расположенъ брусчатый кругъ катанія, перекрытый двойнымъ брусчатымъ настиломъ; общая толщина круга катанія и двойного настила 2 ф.

2) *Многоярусныя опоры.* Въ этомъ типѣ опоръ сростъ сваи раздѣляется поперечными пасадками или схватками, въ которыя вставляются шипами стойки; число кореппыхъ стоекъ въ смежныхъ этажахъ одинаковое, или уменьшается по мѣрѣ приближенія къ вершинѣ опоры. Въ первомъ случаѣ этажи подраздѣляются поперечными (относительно оси моста) пасадками (фиг. 222, табл. 28, фиг. 258—260, табл. 34) и выше лежапція стойки составляютъ какъ бы продолженіе стоекъ

нижняго яруса; во второмъ же случаѣ—этажи подраздѣляются короткими продольными насадками (фиг. 205, табл. 25, фиг. 213*ж*, 214, табл. 27), или поперечными схватками (рис. 570 и 571; фиг. 225, табл. 29) и стойки верхнихъ этажей располагаются или въ одной вертикальной линіи съ нѣкоторыми изъ стоекъ нижняго яруса (фиг. 205, табл. 25) или же проходятъ въ промежуткѣ между ними (фиг. 225 и фиг. 226, табл. 29). Второй ярусъ начинается обыкновенно на 1—1,5 фута ниже низкаго горизонта воды. Высота слѣдующихъ этажей опредѣляется длиною имѣющихся бревенъ, отъ 3-хъ до 4-хъ сажепъ длины.

Детали соединенія стоекъ съ насадками и схватками. Насадки, под-

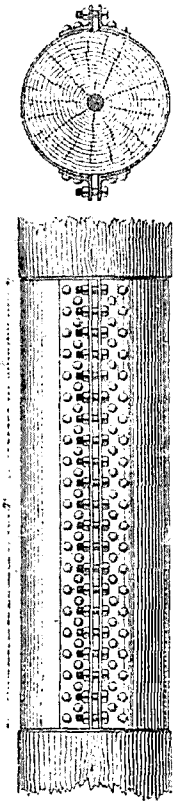


Рис. 569*е*.

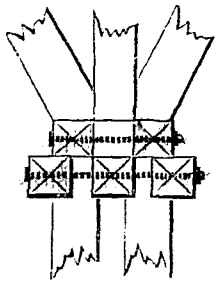


Рис. 570.

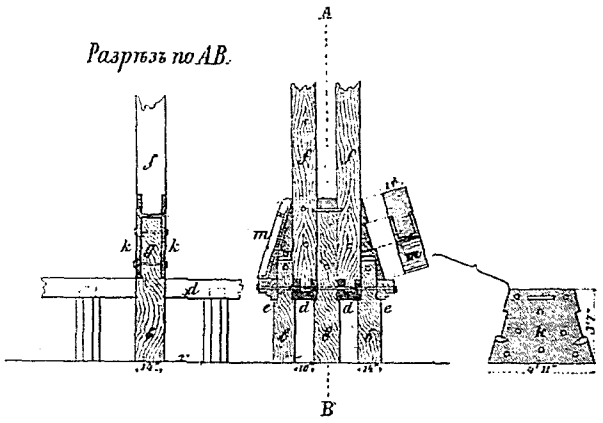


Рис. 571.

раздѣляющія этажи, дѣлаются одиночныя (фиг. 228*б*, табл. 30, фиг. 258, табл. 34) или двойныя (фиг. 222, табл. 28) и тройныя; между двойными насадками оставляютъ иногда промежутокъ и непосредственно подъ стойками прокладываютъ въ промежуткѣ поперечные бруски, врубленные въ насадки и служащіе одновременно связью между смежными опорами (фиг. 260, табл. 34); соотвѣтственныя стойки смежныхъ этажей соединяются, какъ между собою, такъ и со сваями желѣзными планками и болтами (фиг. 222, табл. 28), штырями толщиною $^7/_8$ д. (фиг. 260, табл. 34), деревянными накладками (фиг. 228*б*, табл. 30), удерживающими стойки отъ опрокидыванія. Если насадки не соединяются со сваями скобами, то во избѣжаніе поднятія насадокъ водою, шипы на сваѣ нарубаются прямые, а гнѣздо въ насадкѣ дѣлается въ видѣ ласточкина хвоста. Затѣмъ на шипы устанавливается дубовый клинъ (фиг. 226*б*, табл. 29) и при осаживаніи насадки клинъ забивается въ шипъ, раздвигая его сообразно очертанію гнѣзда. Иногда гнѣздо дѣлаютъ сквознымъ, такъ что шипъ проходитъ во всю высоту насадки и затѣмъ въ шипъ загоняется клинъ.

Если стойки одного яруса отдѣляются отъ стоекъ слѣдующаго короткими продольными насадками (фиг. 205, табл. 25) или поперечными схватками (фиг. 213*ж*, табл. 27, фиг. 226*а*, табл. 29), то число стоекъ выше лежащаго яруса обыкновенно менѣе, чѣмъ въ предыдущемъ ярусѣ. Этотъ типъ большею частью примѣняется для опоръ подкосныхъ и арочныхъ мостовъ, когда нужно имѣть для упора подкосовъ или арки широкую верхнюю поверхность опоры.

Въ типѣ, изображенномъ на фиг. 205, табл. 25 на тройной рядъ свай нижняго яруса нарублены поперечныя насадки, поверхъ которыхъ расположены ко-

роткіе продольные бруски. Въ эти послѣдніе врублены одиночныя стойки, обжатыя двумя схватками, на которыя поставлены деревянныя подушки, принимающія на себя давленіе отъ арки

Если стойки верхняго яруса нарубаются на поперечныя схватки, то обыкновенно стойки нижняго яруса (рис. 569; фиг. 213*ж*, табл. 27) обжимаются вверху схватками; въ среднюю вставляются шипомъ стойки слѣдующаго яруса и обжимаются въ основаніи двумя поперечными схватками, которыя одновременно служатъ насадками для свай и могутъ служить для принятія давленія отъ подкосовъ или арки фермы. Этотъ типъ по своему назначенію можетъ замѣнить типъ, изображенный на фиг. 213*е*, табл. 27 со сбереженіемъ одной сваи. Къ недостаткамъ указаннаго типа относится то, что основаніемъ стойки верхняго яруса служитъ схватка, которая опирается на двѣ сваи только двумя кромками; въ случаѣ неисправнаго состоянія стяжныхъ болтовъ, коренныя сваи могутъ разойтись, и стойки опустятся. Въ этихъ видахъ въ поперечномъ направленіи въ промежуткахъ между парными сваями забиваютъ рядъ одиночныхъ свай (фиг. 213*з*, табл. 27), приходящихся подъ средней схваткой. Для большей устойчивости среднюю стойку опускаютъ иногда ниже вершины свай нижняго яруса. Такъ напр., на Уссурійской жел. дор. между выступающими надъ поверхностью грунта вершинами двухъ коренныхъ свай (фиг. 214, табл. 27 лѣвый чертежъ) помѣщена промежуточная схватка, въ которую вставлена средняя стойка. Рядомъ со стойкой поставлены вплотную двѣ другія, нарубленныя въ полдерева на нижнія коренныя сваи такъ, что образуется непосредственный сростъ сваи со стойками; сростъ этотъ обжимается двумя парами поперечныхъ и одной парой продольныхъ схватокъ.

На рис. 571 изображено соединеніе трехъ коренныхъ свай съ двумя стойками второго этажа, примѣненное въ прежнемъ Каменноостровскомъ мосту въ Петербургѣ. Средняя коренная свая выше двухъ крайнихъ, что сдѣлано для лучшаго укрѣпленія основанія парныхъ стоекъ. На вершины крайнихъ коренныхъ свай и на наружныя схватки поставлены двѣ деревянныя прокладки. Верхняя прокладка имѣетъ небольшой вырѣзъ, соотвѣтственно двумъ приливамъ въ чугунной подушкѣ *m*, располагаемой поверхъ прокладокъ и служащей для упора пяты арки. Помощью этихъ приливовъ подушка опирается на крайнія сваи; верхняя поверхность подушки снабжена боковыми ребордами. Для удержанія стоекъ отъ опрокидыванія, основанія ихъ скрѣплены двумя чугунными досками *k*, взаимно связанными болтами; въ доскахъ имѣются приливы, помощью которыхъ онѣ опираются на среднія и крайнія сваи.

На фиг. 266*а* и 266*в*, табл. 29 показано подобное же соединеніе съ переходомъ отъ трехъ 9 вершк. сваи нижняго яруса къ двумъ 5 вершк. стойкамъ верхняго яруса, примѣненное для опоры подкоснаго моста, при чемъ нѣкоторыя части фермы упираются въ стойку, другія — въ насадки и схватки. Шипы на крайнихъ сваяхъ нарублены не по оси сваи; въ средней сваѣ шипъ толще и выше, что сдѣлано ради возможности образованія самостоятельнаго шипа для средней насадки. Крайнія насадки лежатъ свободно на сваяхъ и схваткахъ для того, чтобы при завинчиваніи ихъ болтами онѣ могли крѣпко обхватить стойки. Какъ вырубки въ схваткахъ, такъ и шипы на сваяхъ сдѣланы съ присѣкомъ (съ подтеской) около $^1/_2$ вершка. При сопряженіи подкоса со стойкой, на послѣдней нарубленъ шипъ толщиною 2 вершка, а въ подкосѣ сдѣлана соотвѣтственная вырубка (фиг. 226*в*, табл. 29).

Примѣры. Приведемъ нѣсколько примѣровъ этого типа.

Фиг. 222, табл. 28. По средней поперечной линіи быка забитъ двойной рядъ вертикальныхъ свай въ слѣдующемъ числѣ: 3, 1, 2, 2, 2, 1 и 3; по двумъ крайнимъ поперечнымъ линіямъ забитъ одиночный рядъ свай въ томъ же числѣ, но только по наклоиному направленію. Всѣ четыре ряда свай перекрыты двойной насадкой, въ которую вставлены шипами стойки и подкосы 2-го яруса, при чемъ стойки и подкосы среднихъ граней расположены въ вертикальной поперечной плоскости, а крайнихъ граней—въ наклоиной плоскости; на высотѣ 8,3 метр. отъ нижняго ряда насадокъ помѣщенъ второй рядъ двойныхъ насадокъ и поставленъ 3 ярусъ. Полная высота опоры 21 мет. Непосредственно подъ фермами имѣются въ каждой изъ четырехъ граней парныя стойки и кромѣ того парная стойка по оси опоры только во 2-мъ ярусѣ. Наружныхъ укосинъ двѣ:—крайняя во 2-мъ и 3-мъ ярусѣ двойная, вторая наружная—во 2-мъ ярусѣ—одиночная. Затѣмъ поставлены еще въ обоихъ ярусахъ внутреннія одиночныя укосины. Въ вершинѣ опоры двойная коренная стойка, приходящаяся непосредственно подъ фермою моста, двойная наружная укосина и одиночная внутренняя укосина перекрыты одной общей чугунной доской съ ребордами и сверхъ того обжаты схватками и стянуты болтами. Поверхъ чугунной доски положены четыре поперечныя насадки, на которыхъ покоятся фермы. Основанія и вершины стоекъ и укосинъ каждаго этажа скрѣплены схватками, стянутыми болтами; по высотѣ этажа помѣщено еще два ряда продольныхъ и поперечныхъ схватокъ. Соотвѣтственныя стойки различныхъ этажей соединяются какъ между собою, такъ и со сваями желѣзными планками и болтами. Въ плоскости, параллельной продольной оси моста, помѣщены крестообразныя распорки со стяжными болтами. Въ плоскости насадокъ имѣются подобныя же горизонтальныя распорки съ болтами. Нижняя часть быка засыпана камнемъ; бока обшиты досками.

На фиг. 225, табл. 29 показана опора 3 саж. подкоснаго моста на Пермскомъ участкѣ Пермь-Тюменской жел. дор. Опора двухъярусная съ раздѣленіемъ этажей поперечными схватками. Опора состоитъ изъ двухъ рядовъ коренныхъ свай и шести рядовъ откосныхъ свай; коренныя сваи и ближайшій рядъ откосныхъ свай представляетъ въ продольномъ направленіи три сближенныя сваи, а два остальные ряда откосныхъ свай—двѣ сближеныя сваи; внизу, по серединѣ и не доходя до верху сваи обжаты четырьмя поперечными горизонтальными схватками; въ верхнія среднія схватки вставлены шипами парныя стойки второго этажа, обжатыя въ основаніи насадками трехъ свай. Парныя стойки перекрыты насадками, на которыхъ покоятся прогоны. Въ верхнемъ этажѣ парныя укосины помѣщены противъ стоекъ, а во второмъ и первомъ этажѣ противъ крайнихъ свай. Между коренными сваями поставлены кресты, и сверхъ того всѣ сваи обжаты діагональными полусхватками. Въ продольномъ направленіи коренныя сваи и первыя откосныя сваи смежныхъ оноръ связаны четырьмя рядами продольныхъ схватокъ, верхній рядъ имѣетъ назначеніе препятствовать боковому отклоненію подкосовъ; для облегченія работы болтовъ, прикрѣпляющихъ схватку къ подкосамъ, эта схватка подвѣшена къ прогону двумя подкѣсками съ хомутами. Прогонъ подпирается въ двухъ точкахъ двумя системами раскосовъ, передающихъ давленіе непосредственно на опоры; перекрещивающіеся подкосы врублены одинъ въ другой въ полдерева и упираются одинъ въ насадку, а другой въ схватку.

На фиг. 224, табл. 29 представлена опора віадука американскаго типа, высотою около 25 метр. Въ поперечномъ ряду забиты короткія двѣ коренныя и шесть откосныхъ свай, перекрытыя насадкой, прикрѣпленной заершеннымъ штыремъ. Въ насадку врублены шипами двѣ вертикальныя стойки и нюсть взаимно параллельныхъ укосинъ, срощенныхъ по длинѣ; крайнія укосины и коренныя стойки перекрыты вверху насадкой; длина насадки 3,658 м., что позволило расположить четыре прогона непосредственно подъ рельсовый путь и еще два прогона надъ укосиною; поперечины длиною 3,658 м. опираются на всѣ шесть прогоновъ; рельсовый путь огражденъ внутренними и внѣшними охранными брусьями, предупреждающими паденіе поѣзда съ моста на случай схода съ рельсовъ; величина про-

лета 4,572 м.; смежныя опоры связаны тремя рядами продольныхъ схватокъ и черезъ пролетъ діагональными полусхватками въ плоскости коренныхъ свай и крайнихъ укосинъ. На фиг. 224 показано приспособленіе для перекрытія стыка прогона на насадкѣ, препятствующее вмѣстѣ съ тѣмъ продольному перемѣщенію.

На фиг. 227, табл. 29, показано устройство быка временнаго моста до 9-ти саж. высоты, примѣненнаго при сооруженіи Либавскаго участка Либаво-Роменской желѣзной дороги. Три коренныя свап и шесть откосныхъ; послѣднія перекрываются укосиной въ видѣ наклонной насадки. Сваи въ продольномъ направленіи раздвинуты на 0,75 с. Въ нижней части сдѣлано продольное въ полдерева сращиваніе свай со стойками, а средняя часть отдѣляется отъ верхней поперечной насадкой, въ которую вставлены стойки, обжатыя въ основаніи поперечными и продольными схватками. По высотѣ опора стянута шестью рядами поперечныхъ схватокъ и тремя рядами продольныхъ схватокъ. Прогоны нарублены непосредственно на сваи. Пролетъ въ 4,5 саж, подраздѣленъ четырьмя подкосами на пять частей. Въ продольномъ направленіи разставленныя сваи опоръ связаны въ плоскости коренныхъ и первыхъ откосныхъ свай крестами и стяжками. Пунктиромъ показаны части, которыя прибавляются для устройства подмостей желѣзнаго моста, собиравшагося рядомъ съ временнымъ мостомъ. На фиг. 227*а* показано общее расположеніе временнаго моста, каменнаго устоя, подмостей и деревяннаго ледорѣза.

На фиг. 228*б*, табл. 30, показаны опоры подмостей для сборки желѣзнаго моста съ ѣздою по верху (Бюлерскій віадукъ) на одной изъ Виртембергскихъ желѣзныхъ дорогъ, а на фиг. 228*а*—подмости для кладки опоръ и временный мостъ, служившій для подвоза каменныхъ матеріаловъ и желѣзныхъ частей фермы. Движенія паровозовъ по мосту не было. Въ подмостяхъ стойки, вертикальныя по оси и наклонныя по бокамъ, опираются на деревянныя подушки; на высотѣ онѣ подраздѣляются поперечными насадками; стойки смежныхъ этажей связаны деревянными накладками. Средняя стойка развѣтвляется вверху на двѣ наклонныя стойки; всѣ стойки перекрыты вверху двойной насадкой, на свѣшивающихся концахъ которой поставлены стойки и укосины, поддерживающія верхніе прогоны съ подбалками, по которымъ перемѣщали мостовой кранъ. Къ стойкамъ, перекрытымъ двойной насадкой, прикрѣплены деревянныя накладки, обжимающія насадку. Въ опорахъ временнаго моста (фиг. 228*а*) стойки отдѣльныхъ этажей перекрыты сначала поперечной насадкой, затѣмъ продольной, послѣ второй поперечины, въ которую вставляется стойка шипомъ. Опоры связаны діагональными полусхватками какъ въ продольномъ, такъ и въ поперечномъ направленіи.

На фиг. 258, табл. 34 показанъ типъ опоры американскаго віадука высотою около 9 саж. при величинѣ отдѣльныхъ пролетовъ въ 15 ф. Двѣ коренныя и двѣ откосныя сваи перекрыты насадкой, въ которую укрѣплены двѣ стойки и двѣ укосины, перекрытыя на высотѣ 4,75 с. второй насадкой и наконецъ въ вершинѣ третьей насадкой, на которой расположены прогоны. Въ поперечномъ и въ продольномъ направленіи имѣются полусхватки. Интересна деталь прикрѣпленія стоекъ къ насадкамъ; на нижнюю сваю надѣвается металлическая цилиндрическая выкружка A съ плоскимъ верхомъ, ребордами и шипомъ; на эту выкружку насаживается насадка, такъ что шипъ входитъ внутрь насадки; въ насадку въ свою очередь врѣзается четыреугольная планка C съ ребордами и шипомъ, на который насаживается слѣдующая стойка. Если насадка кладется на стойку прямоугольнаго сѣченія, то выкружка замѣняется планкой B, въ которой кромѣ наружныхъ ребордъ имѣется еще средняя поперечная, врѣзывающаяся въ торецъ стойки.

На фиг. 260, табл. 34 представленъ типъ примѣняемой въ Америкѣ опоры высотою 152 ф. $=$ $= 21^5/_7$ саж., состоящей изъ пяти этажей. Каждый этажъ можетъ быть собранъ предварительно и поставленъ на мѣстѣ въ собранномъ видѣ; между парными насадками (нижней и верхней) проложены дубовыя прокладки подъ стойками и укосинами для свободнаго доступа воздуха. Вмѣсто указаннаго сроста нѣкоторые рекомендуютъ и для этого типа опоръ,—непосредственный продольный сростъ или же сростъ помощью чугунныхъ коробокъ, какъ указано на фиг. 258, табл. 34.

3) *Раскосные быки. Детали соединенія раскосовъ съ ребрами. Способы прикрѣпленія къ каменной кладкѣ.* Эти быки (въ большинствѣ случаевъ пирамидальные) устраиваются преимущественно на каменномъ фундаментѣ, который, въ виду трудности ремонта этихъ быковъ, выводится выше горизонта высокихъ водъ.

Наименьшее число реберъ 4. Между ребрами помѣщаются раскосы и стяжные болты какъ въ плоскости горизонтальной, такъ и въ плоскости граней. Во избѣжаніе опрокидыванія отъ давленія вѣтра наружныя грани прочно скрѣпляются съ каменной кладкой. На фиг. 240, табл. 32 показано устройство такого быка. Двѣнадцать реберъ: два среднихъ вертикальныя, остальныя — наклонныя; въ верхней части быка только шесть реберъ, такъ какъ по три боковыхъ сливаются со средними; каждое ребро состоитъ изъ 4-хъ брусьевъ, стыки расположены въ разбѣжку; брусья соединены шпонками и стянуты четырьмя болтами, размѣщенными попарно по двумъ направленіямъ. Въ плоскости граней помѣщена раскосная рѣшетка со стяжными болтами; начала панелей въ граняхъ вдоль оси моста приходятся противъ средины панелей рѣшетки въ граняхъ поперекъ моста; въ послѣднихъ граняхъ раскосы упираются въ чугунныя подушки; въ рѣшеткѣ граней вдоль моста раскосы упираются поперемѣнно въ чугунныя подушки и деревянный брусъ, прикрѣпленный къ ребрамъ. Назначеніе этого деревяннаго бруса—доставить возможность помѣстить крестообразную связь въ горизонтальной плоскости; какъ видно изъ сѣченія по *EF*, къ верхней и нижней грани упомянутаго бруса прикрѣплены болтами два раскоса, расположенные по діагонали. Въ каменную кладку вдѣланы чугунные башмаки, въ которые вставлены ребра быка; для предупрежденія опрокидыванія нижнія части крайнихъ реберъ соединены шпонками съ двойными брусьями, перекрытыми общей насадкой. Въ плоскости соприкасанія брусьевъ двойного бруса пропущенъ болтъ, проходящій во внутрь каменной кладки, въ которой оставлена горизонтальная галлерея. Завинчивая гайки поверхъ насадки и подъ брусомъ, помѣщеннымъ въ галлереѣ для передачи давленія отъ гайки болта на бо́льшую площадь кладки, получаемъ прочное закрѣпленіе ребра съ каменной кладкой.

Въ деревянныхъ раскосныхъ быкахъ деревяннаго Мстинскаго моста (фиг. 241 и 242, табл. 32), замѣненнаго нынѣ желѣзнымъ, имѣлось 15 реберъ для трехъ фермъ подъ два пути; три среднихъ стойки вертикальныя, остальныя — наклонныя; ребра доходили до самаго верха, не соприкасаясь между собою; каждое ребро состояло изъ 4-хъ брусьевъ, соединенныхъ шпонками; раскосы были врублены въ дубовыя подушки. Основаніемъ опоры служила деревянная рама, прикрѣпленная болтами къ кладкѣ. Детали этихъ быковъ показаны на фиг. 242. Иногда вмѣсто стяжныхъ болтовъ употребляютъ схватки, какъ показано на фиг. 242.

При высокихъ быкахъ слѣдуетъ вообще избѣгать подкосовъ въ пролетной части моста въ виду значительнаго опрокидывающаго момента при неравномѣрной нагрузкѣ пролетовъ. При небольшихъ распорахъ отъ подкосовъ можно ихъ оставлять вверху быка, въ противномъ случаѣ слѣдуетъ по возможности понижать точку приложенія распора.

4) *Ряжевыя промежуточныя опоры.* Когда въ грунтъ нельзя забивать сваи и глубина рѣки незначительна, быкъ составляютъ изъ ряжевыхъ ящиковъ, заполняя все внутреннее пространство камнемъ. Если грунтъ допускаетъ забивку свай, то при сильныхъ ледоходахъ, для приданія быку большей устойчивости, онъ составляется изъ сплошного ряда свай (фиг. 243, табл. 32), съ заполненіемъ внутренняго пространства камнемъ. При тѣхъ же условіяхъ нижняя часть быка состоитъ иногда изъ сплошныхъ шпунтовыхъ свай, поверхъ которыхъ располагается ряжевая стѣна, связанная сжимами и горизонтальными схватками; внутреннее пространство заполняется камнемъ.

Деревянные ледорѣзы. Полную высоту, низшую и высшую точку деревянныхъ

ледорѣзовъ опредѣляютъ такъ же, какъ и высоту каменныхъ ледорѣзовъ, придавая уклонъ въ 1, $1^1/_2$ и 2. Деревянные ледорѣзы всегда помѣщаются отдѣльно отъ деревянныхъ быковъ съ цѣлью оградить мостовое сооруженіе отъ ударовъ льдинъ. Смотря по силѣ напора льда деревянные ледорѣзы устраиваются различно. Самый простой ледорѣзъ, состоящій изъ одного ряда свай, представленъ на фиг. 247, табл. 32. На круглыя сваи, соединенныя схватками ниже горизонта низкихъ водъ, насаженъ брусъ подъ полуторнымъ или двойнымъ уклономъ, смотря по скорости теченія; сваи подперты подкосами. На верхнемъ ребрѣ бруса прикрѣплена желѣзными обоймами желѣзная полоса, этими же обоймами соединенъ ледорѣзный брусъ со сваями; часть ледорѣза, находящаяся выше схватки, обшивается досками. При сильномъ ледоходѣ такой ледорѣзъ, по своей малой устойчивости особенно относительно боковыхъ напоровъ, не можетъ быть употребленъ; въ такомъ случаѣ устраиваютъ ледорѣзъ изъ двухъ и трехъ рядовъ свай, при чемъ верхній наклонный брусъ составляется изъ трехъ брусьевъ съ желѣзной полосой, или забиваютъ три ряда свай по тремъ направленіямъ, сходящимся въ одну точку (фиг. 249, табл. 32). Сваи *a*, расположенныя въ крайнихъ и въ среднемъ ряду, срѣзаны не на одинаковую высоту, при чемъ въ среднемъ ряду онѣ срѣзаны по болѣе крутому направленію. Крайніе ряды стянуты горизонтальными схватками, торецъ этихъ схватокъ защищенъ съ передней стороны концевой сваей *b*. Вершины крайнихъ и средняго ряда свай перекрыты насадками; въ насадки врублены брусья *c* на подобіе стропильныхъ ногъ и весь ледорѣзъ обшитъ досками.

На фиг. 250, табл. 32 показанъ ледорѣзъ Любовшинскаго моста на Ливенской желѣзной дорогѣ. Забито три ряда свай; съ верховой стороны имѣется кустъ изъ четырехъ свай. Крайніе ряды свай срѣзаны на одномъ уровнѣ, а среднie—наклонно, при чемъ среднie ряды свай въ поперечномъ направленіи не совпадаютъ съ наружными. Всѣ три ряда стянуты продольными схватками, а крайніе ряды горизонтальными схватками. На средній рядъ надѣта насадка, около которой расположены двѣ наклонныя схватки, подпираемыя подкосами, врубленными въ короткія сваи крайнихъ рядовъ. Боковыя грани обшиты досками.

На фиг. 248, табл. 42 изображенъ ледорѣзъ болѣе солидной конструкціи, допускающей загрузку ледорѣза камнемъ. Въ двухъ крайнихъ рядахъ свай забиты въ вершинѣ ледорѣза три сваи, образующія кустъ и затѣмъ, чередуясь, низкія и постепенно возвышающіяся сваи. Въ среднемъ ряду помѣщенъ рядъ свай еще болѣе высокихъ и срѣзанныхъ подъ болѣе крутымъ уклономъ. Короткія сваи въ боковыхъ рядахъ перекрыты поперечными насадками, поверхъ которыхъ положена горизонтальная продольная схватка, а выше ея второй рядъ схватокъ. Непосредственно надъ первымъ рядомъ продольныхъ схватокъ расположены поперечныя схватки, обжимающія сваи боковыхъ и средняго рядовъ; эти три ряда перекрыты вверху наклонными насадками, между которыми расположены стропильныя ноги. Верхняя наклонная насадка поднирается сверхъ того наклонными подкосами. Поверхъ поперечныхъ схватокъ расположенъ полъ, на которомъ располагается камень. Бока ледорѣза обшиты брусьями и стянуты желѣзными обоймами.

На фиг. 251, табл. 32, показанъ типъ ледорѣза для сильнаго ледохода. Стѣнки ледорѣза состоятъ изъ ряжей, посаженныхъ на сваи и связанныхъ сжимами *i* и горизонтальными стяжками, врубленными въ лапу. Наружныя стѣнки сплошныя, а внутренняя продольная и поперечныя стѣнки срублены съ просвѣтами; наружная и средняя стѣнка срѣзаны наклонно на одинаковую высоту и перекрыты наклонной насадкой *k*; на среднюю насадку поставлены стойки *l*, нормально къ насадкамъ, перекрытыя брусомъ *m*; въ этотъ же брусъ врублены стропильныя ноги, опирающіяся на крайнія насадки *k*. Верхній брусъ *m* поднирается сверхъ того сжимомъ *i* и подкосомъ *h*. Внутренность ледорѣза заполнена камнемъ, уложеннымъ на сплошномъ полу.

Иногда дѣлаютъ *ледорѣзы на палахъ*, т. е. на кустахъ свай, стянутыхъ вверху желѣзными бугелями (фиг. 252, табл. 32); въ этомъ случаѣ наклонный брусъ ледорѣза прикрѣпляется верхнимъ своимъ концомъ къ палamъ, а нижнимъ концомъ проходитъ между двумя сваями, поставленными въ головѣ ледорѣза. Эти сваи связываются между собою желѣзнымъ прутомъ или болтомъ, который проходитъ также черезъ проушину въ желѣзной поковкѣ, помѣщеніой на нижней грани наклоннаго бруса (фиг. 620, табл. 82) и составляетъ ось вращенія послѣдняго. Верхній конецъ бруса укрѣпляется къ палѣ посредствомъ желѣзной полосы или цѣпи. Сборка такого ледорѣза производится слѣдующимъ образомъ: сначала устраиваютъ палу и ставятъ двѣ сваи въ головѣ ледорѣза, къ нимъ прикрѣпляютъ надлежащимъ образомъ наклонный брусъ ледорѣза такъ, чтобы брусъ могъ вращаться. Переднія сваи забиваются не глубоко, такъ чтобы вершина ихъ была на одной высотѣ съ вершиною палы, и, когда ребро укрѣплено, забиваютъ ихъ окончательно до той глубины, при которой ребро приметъ надлежащій уклонъ. При этомъ забиваніи наклонный брусъ не будетъ мѣшать работѣ. Затѣмъ остается только связать брусъ съ палой посредствомъ цѣпи. Если же въ головѣ имѣется 4 сваи, то двѣ среднія забиваются сначала до надлежащей глубины (рис. 572) и затѣмъ остальныя—согласно предыдущему.

На фиг. 253, табл. 32 и на фиг. 625, табл. 83 показанъ ледорѣзъ Сампсоніевскаго моста въ Петербургѣ.

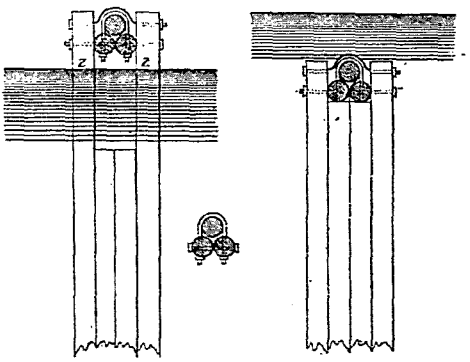


Рис. 572.

Иногда устраиваютъ ледорѣзы изъ старыхъ рельсовъ. Въ грунтъ забиваются три ряда попарно склепанныхъ рельсовъ; крайніе ряды сходящіеся; средній рядъ выше крайнихъ и покрывается насадкой изъ рельсовъ; къ рельсамъ крайнихъ рядовъ приклепаны изогнутые рельсы, огибающіе средній рядъ въ видѣ стропильныхъ ногъ. Къ этимъ послѣднимъ рельсамъ приклепанъ рядъ другихъ рельсовъ въ видѣ обрѣшетки кровли. Такіе ледорѣзы устроены между прочимъ на пристани въ Царицынѣ.

Производство работъ по устройству деревянныхъ опоръ. — Среднія единичныя цѣны по устройству деревянныхъ опоръ и деревянныхъ пролетныхъ частей балочной и подносной системъ.

Производство работъ. Заготовленныя для работъ бревна должны быть прямыя, не сучковатыя, не сухоподстойныя, сухія, не менѣе двухъ-трехъ лѣтъ послѣ срубки дерева, безъ синевы, нрямослойныя и мелкослойныя. Для свай, которыя будутъ постоянно въ водѣ, можетъ быть употребленъ и сырой лѣсъ. При ударѣ бревна должны издавать ясный звукъ, что служитъ признакомъ отсутствія дряблости; торецъ долженъ имѣть однообразный цвѣтъ, безъ рѣзкихъ перемѣнъ окраски. Въ особенности слѣдуетъ избѣгать горѣлаго лѣса, т. е. пролежавшаго послѣ срубки въ сыромъ мѣстѣ, а также бревенъ, съ которыхъ снята была кора не вскорѣ послѣ срубки дерева. Здоровый лѣсъ имѣетъ особый запахъ, рѣзко отличающій его отъ горѣлаго лѣса съ запахомъ плесени.

Для моетовъ преимущественно употребляется сосна, одинаково удобная какъ для свай, такъ и для прогоновъ моста, схватокъ и проч. Въ сѣверной полосѣ Россіи—ель очень хорошихъ качествъ и поэтому нерѣдко также идетъ въ дѣло.

особенно для второстепенныхъ частей моста. Лиственница, имѣя прямой стволъ и обладая значительнымъ сопротивленіемъ, представляетъ собою вполнѣ пригодный матеріалъ для мостовыхъ сооруженій. Дубъ—въ виду нѣкоторой кривизны почти не употребляется для свай; но, обладая большимъ сопротивленіемъ въ отношеніи вытягиванія, сжатія и особенно смятія, употребляется для прогоновъ моста, для подушекъ, насадокъ и проч.

Чѣмъ медленнѣе растетъ дерево, тѣмъ оно крѣпче; поэтому мелкослойный лѣсъ предпочтительнѣе крупнослойнаго. На томъ же основаніи лѣсъ на югѣ, какъ болѣе быстро растущій, менѣе проченъ и недолговѣчепъ, чѣмъ лѣсъ сѣверныхъ странъ.

По подвозкѣ лѣса къ мѣсту работъ начинается правка лѣса, обтеска круглышемъ, въ правильные цилиндры, конусы, на два или на четыре канта съ острыми ребрами, или съ обливинами. Одновременно съ этимъ происходитъ заготовка копровъ и разбивка моста.

Обозначивъ продольную ось моста (способами, указанными въ главѣ о каменныхъ опорахъ), приступаютъ къ забивкѣ свай,—зимою со льда, а лѣтомъ съ барокъ. Если забивка свай производится зимою, что во всякомъ случаѣ удобнѣе,—провѣшиваютъ по льду продольную ось моста, отмѣчаютъ величины пролетовъ и обозначаютъ вѣхами оси быковъ при помощи эккера или другого инструмента, затѣмъ обозначаютъ на льду колышками мѣста свай. Пробивъ пѣшнями на этихъ мѣстахъ ледъ, забиваютъ сваи копромъ, который ставится на ледъ съ прокладкою подъ него брусьевъ для болѣе удобнаго передвиженія копра. Если же забивка свай производится лѣтомъ, тогда для точнаго обозначенія мѣстъ свай устраиваютъ кругомъ предполагаемыхъ быковъ легкія подмости и вдоль моста—временный мостъ. На нихъ разбиваютъ болѣе точнымъ образомъ величины пролетовъ, продольныя оси быковъ, опредѣляютъ мѣста для свай, дѣлая необходимыя отмѣтки на подмостяхъ. Копры ставятъ на подмостяхъ или на баркахъ (рис. 254, табл. 33) *).

При устройствѣ опоры на сушѣ—разбивка менѣе сложна.

Нерѣдко, для болѣе точной забивки свай, устанавливаютъ на льду или на землѣ четыреугольную раму, на которой начерчено направленіе продольныхъ и поперечныхъ рядовъ свай каждой опоры. Рамы устанавливаютъ, ориентируясь съ продольными осями моста и быка, для чего, натянувъ шнуръ по направленію этихъ осей, раму передвигаютъ до тѣхъ поръ, пока отвѣсъ не совпадетъ съ осью, начерченной на рамѣ.

Послѣ каждаго передвиженія копра, правильность положенія рамы повѣряется тѣмъ же способомъ.

При забивкѣ свай слѣдуетъ обращать вниманіе, чтобы свая была постоянно отвѣсна; въ случаѣ же наклоненія сваи она обвязывается канатомъ, который закручивается аншпугомъ, и закоперщикъ, надавливая на одинъ конецъ аншпуга, отклоняетъ сваю въ ту или другую сторону, имѣя точку опоры въ вертикальныхъ стойкахъ копра.

Если нѣкоторыя сваи приходится забивать наклонно, то для сего пользуются копромъ, въ которомъ передніе стойки укрѣплены внизу на шарнирѣ и могутъ принимать произвольное наклоненіе (фиг. 315, табл. 44).

---

*) Замѣтимъ здѣсь, что при забивкѣ грунтовыхъ свай подъ основаніе каменной опоры пользуются иногда заранѣе забитыми шпунтовыми рядами, которые перекрываютъ брусьями въ видѣ насадки и прикрѣпляютъ къ нимъ рельсы, по которымъ перемѣщается мостовой кранъ съ находящимся на немъ копромъ. Равнымъ образомъ устанавливаютъ коперъ на бревнахъ, опирающихся на шпунтовыя стѣнки.

Изображенный на фиг. 315 копёръ былъ употребленъ при забивкѣ наклонныхъ свай подмостей при сооруженіи моста черезъ р. Рейнъ близъ Гермерсгейма. На двухъ понтонахъ былъ установленъ паровой копёръ, рамные брусья коего имѣли возможность вращаться въ плоскости передней грани копра, и кромѣ того весь копёръ могъ вращаться въ плоскости передней грани; по обоимъ направленіямъ тангенсъ угла наклоненія составлялъ около $\frac{1}{4}$. Копёръ закрѣплялся въ томъ, либо другомъ положеніи тяжами съ двойной муфтой. Въ общихъ чертахъ устройство копра состояло въ слѣдующемъ: на составномъ брусѣ, перекинутомъ черезъ оба понтона и усиленномъ тяжами, по серединѣ длины его была прикрѣплена чугунная подушка съ двумя вертикальными ребрами, срѣзанными по дугѣ; къ нижнему ребру горизонтальнаго бруса, основанія двухъ направляющихъ стоекъ и косинъ копра, была прикрѣплена чугунная подушка съ однимъ вертикальнымъ ребромъ, также срѣзаннымъ по дугѣ; это ребро входило въ промежутокъ между двумя ребрами нижней подушки; взаимное соединеніе шарниромъ допускало возможность вращенія копра въ плоскости передней его грани. Для того, чтобы копёръ могъ вращаться и въ плоскости нормальной къ передней грани стойки, рама и укосины были укрѣплены такъ, какъ указано на детали α, т. е. основанія стоекъ и укосинъ, обжатыя металлическими планками, были прикрѣплены къ ребрамъ чугунной подушки горизонтальнымъ болтомъ, и слѣдовательно, могли около него вращаться.

Во время забивки ведется особый журналъ для каждой сваи, въ которомъ заносится № сваи (соотвѣтственно плану), число ударовъ въ залогѣ, высота паденія, вѣсъ бабы и величина погруженія сваи послѣ каждаго залога. Величина погруженія отмѣчается чертой, проводимой на передней стойкѣ копра по линейкѣ, прилагаемой къ вершинѣ сваи, или линейка прикладывается къ опредѣленному мѣсту стойки копра, и черта отмѣчается на сваяхъ. Сваи слѣдуетъ забивать до тѣхъ поръ, пока не получится назначенная заранѣе величина погруженія отъ опредѣленнаго числа ударовъ (отказъ сваи) *). Въ песчаныхъ грунтахъ работа по забивкѣ свай идетъ очень медленно. Употребляютъ иногда слѣдующій пріемъ для облегченія погруженія сваи: съ наружной стороны сваи прикрѣпляютъ металлическую трубку, конецъ которой загнутъ сообразно острію сваи; пропуская по трубѣ струю воды подъ большимъ давленіемъ, достигаютъ того, что вода разрыхляетъ и выноситъ часть грунта, способствуя погруженію сваи.

Если свая, забитая во всю свою длину не представляетъ еще требуемаго отказа, необходимо ее наростить: вершина стягивается бугелемъ и въ торецъ забивается заершенный штырь, на который насаживается надставка, также стянутая внизу бугелемъ. Подобный сростъ долженъ еще приходиться подъ землей не менѣе, какъ на 2 аршина.

Окончивъ забивку свай, выравниваютъ сваи одного поперечнаго ряда (на сколько это возможно) въ одну линію и затѣмъ укладываютъ горизонтальныя поперечныя схватки. Эти послѣднія причерчиваются на мѣстѣ сообразно съ толщиною и относительнымъ положеніемъ свай Врубки дѣлаются всегда такъ, чтобы свая была наименѣе ослаблена, при чемъ необходимо, чтобы схватка опиралась частью на сваю и захватывала ее съ боковъ (фиг. 238, табл. 31), что достигается врубкой съ потемкой или съ приемкомъ.

Наложивъ схватки, стягиваютъ ихъ болтами, помѣщаемыми по обѣ стороны сваи. (Иногда болты пропускаются чрезъ сваи). Послѣ сего срѣзываютъ сваи подъ одинъ уровень и перекрываютъ ихъ однимъ изъ способовъ, указанныхъ ранѣе.

Если сваи должны быть перекрыты насадкой, отбиваютъ намѣленнымъ шнуромъ положеніе шиповъ на всѣхъ сваяхъ и подрѣзаютъ сваи съ боковъ, на вы-

*) Для облегченія подъема бабы полезно увеличивать діаметръ шкива, черезъ который перекинутъ канатъ.

шину шипа, который затѣмъ легко додѣлывается топоромъ. Гнѣзда въ насадкѣ выдалбливаютъ на мѣстѣ, сообразно относительному положенію шиповъ. Часто шипы дѣлаютъ сквозные во всю высоту насадки и затѣмъ ихъ расклиниваютъ клиньями. По наложеніи насадки вырубаютъ въ ней гнѣзда для шиповъ стоекъ слѣдующаго яруса и т. д.

Когда сваи необходимо связать схватками ниже поверхности воды, приготовляютъ парныя схватки стянутыя болтами съ извѣстнымъ промежуткомъ между схваткамя и съ соотвѣтственными врубками для свай и затѣмъ постепенными ударами (пользуясь подбабкомъ) осаживаютъ схватки до необходимой глубины.

Подобный же пріемъ употребляется при наложеніи насадокъ ниже уровня воды. Приготовляется шапочный брусъ изъ трехъ брусьевъ: изъ двухъ схватокъ

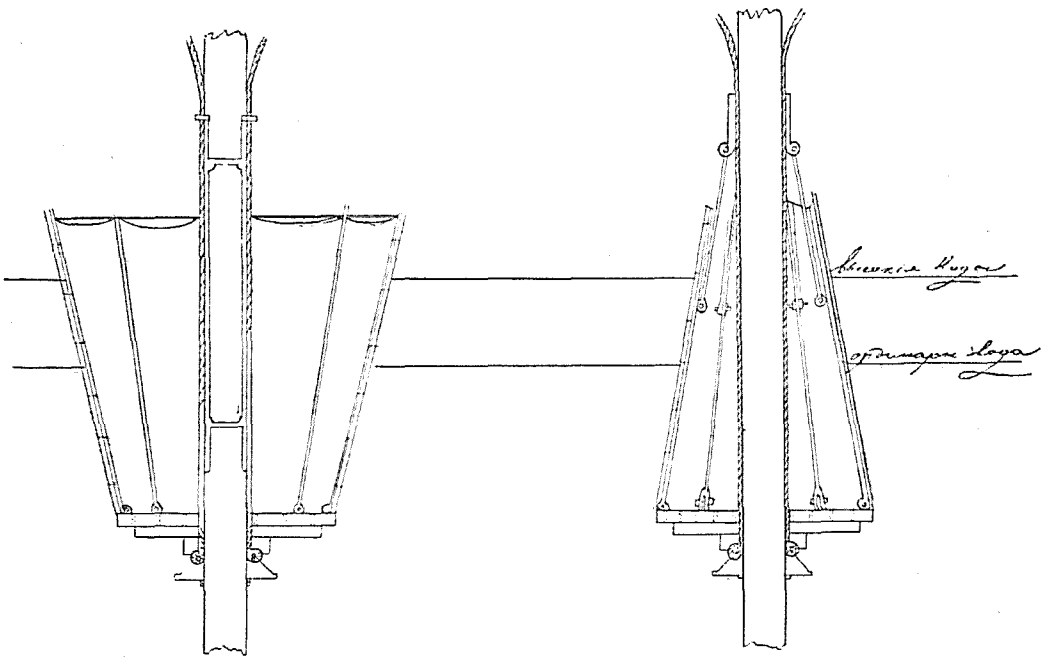


Рис. 573. — Приспособленіе для спиливанія свай подъ водою.

и промежуточнаго бруса (насадки), стянутыхъ горизонтальными болтами. Средній брусъ немного выступаетъ изъ-за боковыхъ схватокъ. Положивъ этотъ тройной брусъ на вершины свай, прикрѣпляютъ его къ торцамъ свай заершенными гвоздями, вбиваемыми помощью подбабка въ средній брусъ.

Такъ какъ рѣдко сваи одного ряда оказываются забитыми по одной линіи, то сдѣланіе вырубокъ въ схваткахъ требуетъ точнаго знанія относительно положенія сваи надъ водой. Для сего забиваютъ по оси свай желѣзные штыри, выступающіе изъ-за поверхности воды, и затѣмъ точно опредѣляютъ относительное положеніе свай. Этими же штырями можно пользоваться и для направленія шапочнаго бруса при опусканіи его: приготовивъ отверстіе въ среднемъ брусѣ, шапочный брусъ надѣваютъ на штыри и опускаютъ; затѣмъ штыри выдергиваются и замѣняются заершенными гвоздями, а брусъ осаживается подбабкомъ.

Для спиливанія свай подъ водой пользуются круглой пилой или показанной на фиг. 255, табл. 33 *). Трое рабочихъ спиливаютъ въ 12 часовъ 15 свай.

*) По предложенію Базена, примѣнялось у насъ прежде слѣдующее приспособленіе для епиливанія свай подъ водою (рис. 573) и для установки предложенныхъ имъ чугунныхъ

На рис. 574 изображена употребляемая въ Америкѣ круглая пила съ паровымъ приводомъ; на одномъ концѣ барки установленъ котелъ, а на другомъ родъ остова копра, къ которому прикрѣпленъ опускающійся въ воду на опредѣленную глубину брусъ (двойной въ верхней части); къ этому брусу прикрѣплены въ нѣсколькихъ мѣстахъ металлическія обоймы, поддерживающія металлическую ось

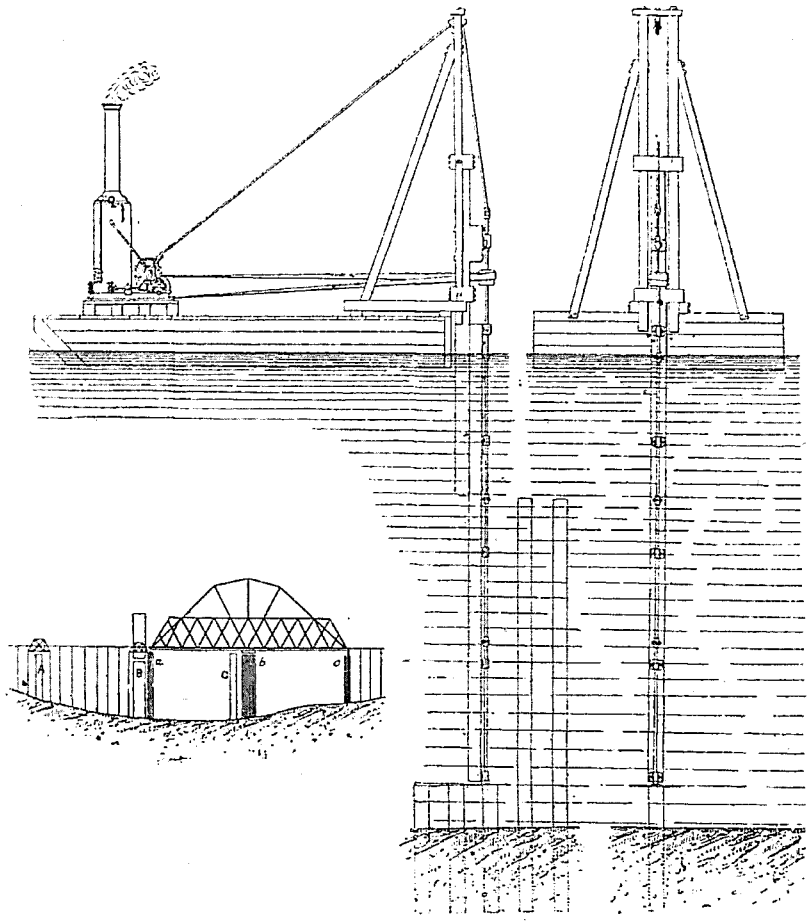


Рис. 575*а*.

Рис. 574.

круглой пилы; вершина оси помощью стремени подвѣшена къ канату, перекинутому чрезъ шкивъ и закрѣпленіому на оси лебедки. На ось пилы насаженъ наглухо барабанъ, приводимый во вращательное движеніе безконечнымъ ремнемъ.

На (рис. 575*б*) показана опора поворотнаго моста на р. St.-John близъ озера Монгоё, основаннаго на сваяхъ, срѣзанныхъ на глубинѣ 9 метр. вышеописанной пилой. Опора прежняго деревяннаго по-

---

звеньевъ. При забивкѣ свай на нее насаживалось металлическое кольцо съ прикрѣпленнымъ къ нему кожанымъ мѣшкомъ, имѣвшимъ форму обращеннаго внизъ усѣченнаго конуса. Кольцо прикрѣплялось на такой высотѣ, чтобы при забивкѣ свай до необходимаго отказа — кольцо находилось фута на два ниже самаго низкаго горизонта; высота же мѣшка сообразовалась съ тѣмъ, чтобы верхній край его былъ на одинъ или два фута выше предположеннаго горизонта воды во время работъ. Во время забивки мѣшокъ облегалъ плотно сваю, располагаясь около нея складками. По забивкѣ свай, спускался сверху по сваѣ прикрѣпленный къ двумъ кольцамъ металлическій каркасъ на шарнирахъ, принимавшій форму усѣченной пирамиды. Опустивъ нижнее кольцо каркаса до дна мѣшка, раздвигали ребра каркаса, при чемъ мѣшокъ принималъ форму фонаря. Рабочіе опускались въ мѣшокъ, спиливали сваю и насаживали чугунное звено, будучи защищеннымп отъ воды непроницаемымъ кожанымъ футляромъ.

воротнаго моста пришла въ неудовлетворительное состояніе, и необходимо было рядомъ построить другую опору, не прекращая движенія. Расположеніе опоръ прежняго поворотнаго моста показано на рисункѣ 575*a* буквами *a*, *b*, *c* — а новаго моста буквами *A*, *B*, *C*—такъ что средняя опора *B* приходится сзади крайней опоры *a*. Планъ работъ состоялъ въ слѣдующемъ: часть опоръ существовавшей деревянной эстакады въ мѣстѣ расположенія будущихъ опоръ *A* и *B*— замѣнить временно фермами и начать выводить подъ ними и подъ фермами поворотнаго моста опоры *A*, *B*, *C*—не доводя ихъ до уровня эстакады. Металлическія фермы новаго поворотнаго моста собрать на подмостяхъ по направленію перпендикулярному къ *B* и по одну сторону этой опоры. Между *b* и *c* — устроить эстакаду, а также и противъ опоры *b* — въ направленіи перпендикулярномъ къ оси пути, устроивъ на подмостяхъ наклонныя плоскости по обѣ стороны опоры. Послѣ того, какъ опоры были выведены и ферма собрана, установили механизмъ на опорѣ *B*, поставили старый мостъ перпендикулярно къ оси пути, приподняли, перерѣзали по серединѣ пояса деревянной фермы, которая скатилась двумя половинами въ обѣ стороны по наклонной плоскости. Затѣмъ передвинули по подмостямъ новыя фермы поворотнаго моста, установили ихъ на опорѣ *B*, срѣзали вершины опоръ эстакады между *A* и *B* и, вращая мостъ, установили его вдоль оси пути. Движеніе было прекращено только на 6 часовъ. Средняя опора новаго моста — цилиндрическая діаметромъ 6,10 м., состоитъ изъ металлической оболочки, заполненной бетономъ, и опирается на ростверкъ свай. Предварительно забито было въ квадратѣ до 100 свай, срѣзанныхъ на одномъ уровнѣ. По угламъ квадрата забиты по двѣ сваи, перекрытыя вверху насадками; смежныя насадки перекрыты въ углахъ парными брусьями, къ которымъ прикрѣпленъ безконечный винтъ. По этому винту опускался понтонный ящикъ, ко-

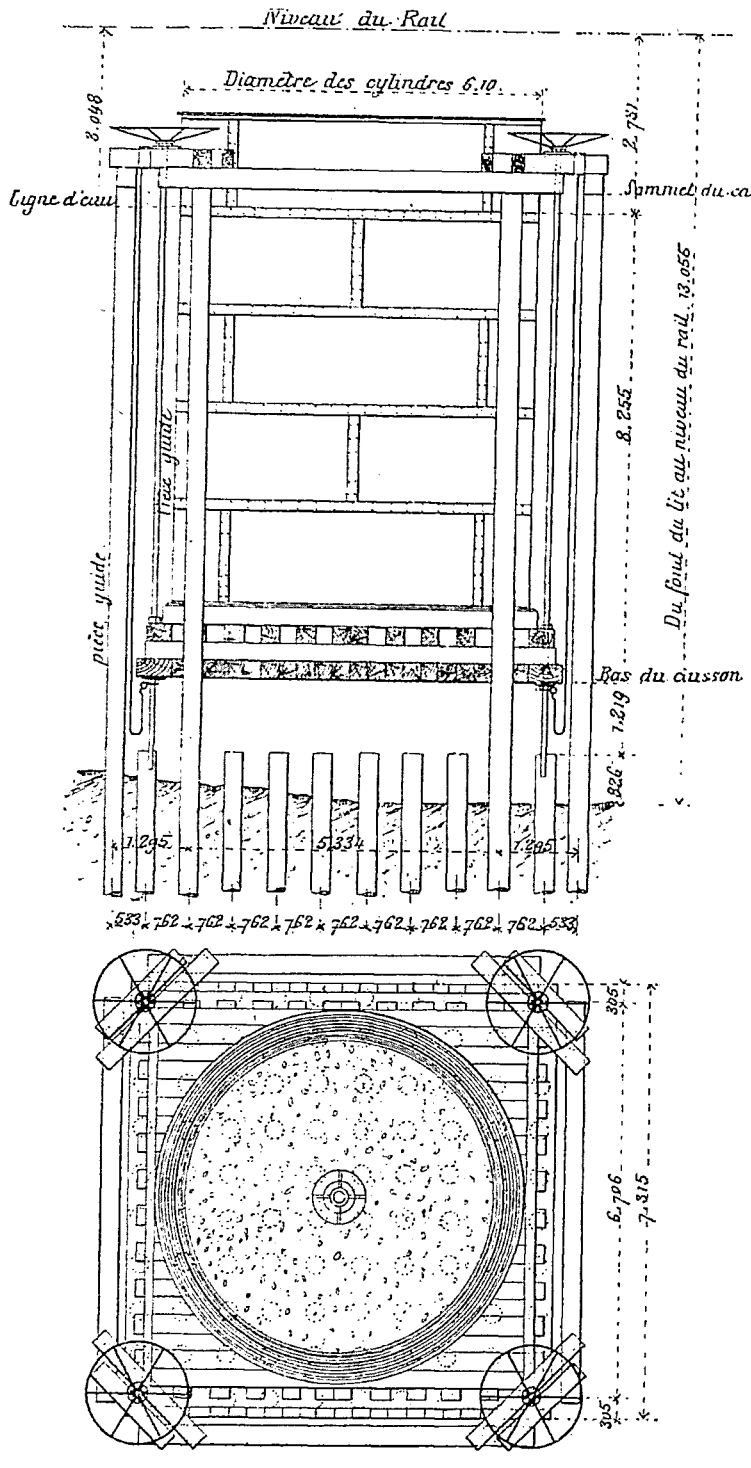


Рис. 575*б*.

торый состоялъ изъ наращиваемыхъ постепенно металлическихъ поясовъ толщиною 9,5 мм. съ прикрѣпленнымъ къ нижнему звену тройнымъ брусчатымъ поломъ.

Если свая расщепилась или неправильно забита и требуется ее выдернуть, то можно примѣнить приспособленіе, изображенное на фиг. 257, табл. 33, при чемъ концы обоихъ канатовъ навиваются на воротъ или на лебедку, поставленные на подмостяхъ; другое приспособленіе показано на фиг. 256, табл. 32. Предварительно сваю расшатываютъ ударами въ разныя стороны, что уменьшаетъ сопротивленіе выдергиванію. Раскосы (кресты) и подкосы вставляются шипами, при чемъ шипъ нарубается на средней трети торца.

Для предупрежденія порчи дерева въ сопряженіяхъ и врубкахъ, всѣ сопряженія схватокъ между собою, со сваями, сопряженія насадокъ и подкосовъ со стойками, шипы и гнѣзда должны быть просмолены горячею каменноугольною смолою, которая имѣетъ свойство впитываться въ дерево и предохранять его отъ гніенія.

Какъ въ опорахъ со сращенными стойками, такъ и съ насадками, до положенія горизонтальныхъ и діагональныхъ схватокъ, сваи и стойки приводятся въ неизмѣняемую систему временными діагональными схватками изъ горбыпъ, пользуясь для прикрѣпленія полукорабельными гвоздями.

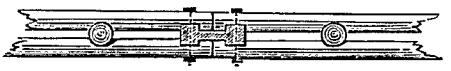


Рис. 576.

Поперечныя и продольныя схватки сращиваются по длинѣ зубомъ, замкомъ, или между парными схватками вставляютъ въ стыкѣ вкладышъ и наружныя накладки съ соотвѣтственными вырубками и стяжными болтами (рис. 576).

Опорами подмостей чаще всего служатъ нижнія части постоянной опоры; только въ исключительныхъ случаахъ устраиваютъ отдѣльныя опоры для подмостей.

Подробности устройства раскосныхъ опоръ могутъ быть почерпнуты изъ описанія работъ по устройству фермъ системы Гау.

Къ окраскѣ опоръ слѣдуетъ приступить только послѣ совершенной просушки лѣса. На первый годъ достаточно проолифить, что ие препятствуетъ испаренію.

Вмѣсто краски часто пользуются каменноугольной смолой.

Среднія единичныя цѣны. Приблизительная стоимость пог. саж. лѣса въ дѣлѣ въ опорѣ, въ томъ числѣ и стоимость забивки свай, составляетъ отъ 2,00 р. — 2,75 руб., включая въ общее число погонныхъ саж.: сваи, схватки, кресты, діагональныя схватки и проч., и около 5 руб. за пудъ металлическихъ скрѣпленій, считая на опору, въ зависимости отъ высоты ея, отъ 10 до 30 пуд. Если выдѣлить стоимость свай, то стоимость остальныхъ частей опоры около 1,50 — 2,00 руб. за пог. саж. въ дѣлѣ. Работа безъ матеріаловъ цѣнится отъ 0,75 до 1,00 р. за пог. саж. въ дѣлѣ.

Стоимость опоръ увеличивается вмѣстѣ съ высотою и при малыхъ пролетахъ, отъ 1 до 3 саж., составляетъ наиболѣе существенную часть стоимости всего моста.

Приведемъ нѣкоторыя данныя о стоимости балочныхъ и подкосныхъ желѣзнодорожныхъ мостовъ подъ одинъ путь отверстіемъ до 3 саж., безъ раздѣленія на стоимость опоръ и пролетной части.

1) По Сальмоновичу:

Высота насыпи отъ — до	Стоимость	
	На 1 пог. саж. по верху.	На 1 пог. саж. отверстія.
0,30 с. — 0,75 с.	106,32 руб.	350,0 руб.
0,76 „ — 1,50 „	150,10 „	610,0 „
1,60 „ — 1,98 „	201,04 „	845,0 „
2,0 „ — 2,50 „	259,26 „	1425,0 „
2,55 „ — 2,73 „	323,68 „	1360,0 „

2) По существующимъ разцѣнкамъ вѣроятная стоимость пог. саж. деревянныхъ мостовъ при величинѣ отдѣльныхъ пролетовъ до 3 саж.:

Высота.	Кіево-Воронеж. узкокол.	Ростово-Владик.	Москов.-Казанск.	Москов.-Арханг. узкокол.	Рязан.-Уральск.		Зап.-Спб.
					Широк.	Узкокол.	Стоимость работы безъ матеріала.
до 1 с.	145 руб.	—	—	—	145—190	160	111
„ 2 „	165 „	225	150	150	230—210	210	128
„ 3 „	—	300	250	200	535	245—270	151
„ 4 „	235 „	325	—	300	—	—	177
бол. 4 „	—	—	400	350	225—615	400—480	194

3) Чтобъ видѣть насколько вліяетъ высота опоръ и величина отдѣльныхъ пролетовъ, приведемъ подробную стоимость двухъ мостовъ на одномъ и томъ же участкѣ Западно-Сибирской жел. дор. — одного высотою 8,81 с. при величинѣ отдѣльныхъ пролетовъ въ 3 с., типа, указаннаго на фиг. 206, табл. 26, и другого при высотѣ насыпи въ 0,91 с. и при величинѣ пролетовъ въ 1,00. саж.

НАИМЕНОВАНІЯ.	Мостъ чрезъ рѣку Чикъ 1297 пер. Наибольшая высота моста 8,81 саж. Отверстіе по низу 20 саж. Величина отдѣльныхъ пролетовъ 3 саж. Длина по верху 31,60 пог. саж.		Мостъ на 1.205 верстѣ пик. 101. Наибольшая высота 0,91 саж. Отверстіе по низу 2,00 саж. Величина отдѣльныхъ пролетовъ 1,00 саж. Длина по верху 5,71 саж.	
	Количество.	На сумму.	Количество.	На сумму.
Работа.		Рубли.		Рубли.
Забивка и наращиваніе свай	148	1.515,38	28	162,35
Плотничныя работы по установкѣ балокъ, схватокъ, подкосовъ и проч.	—	3.627,91	—	241,70
Мелкія кузнечныя работы.	—	29,75	—	—
Загрунтовка. . . . . пог. саж.	3.980	597,00 5.770,04	141	21,15 425,20
Матеріалы.				
Бревенъ отъ 4 до 8 вер. . . . . пог. саж.	4.684	2.323,39	141,33	112,47
Брусковъ отъ 3″×3″ до 12″×7″ . „ „	976	412,38	152,96	120,74
Пластинъ. . . . . „ „	338	101,93	21	9,45
Досокъ . . . . . „ „	434,5	86,90	87,50	17,50
Поковки желѣзныя.				
Хомутовъ, болтовъ и пр. . . . . нуд.	515	2.464,15	28,85	136,55
Смолы. . . . . „	30	19,50	—	—
Мелкіе расходы	—	82,38	—	0,50
Перевозка матеріаловъ къ мѣсту работъ .	—	649,62	—	127,04
Общіе расходы	—	714,58	—	56,96
	—	12.614,37	—	1.006,38
или на пог. саж. длины по верху:	$\frac{12.614,37}{31,60}=399,19$		или на пог. с. $\frac{1.006,38}{5,71}=176,25$	

На томъ же участкѣ при высотѣ насыпи въ 5,27 с. и при длинѣ моста по верху въ 39 саж.— стоимость работы составляла 200 руб. на пог. саж., а съ матеріаломъ—413 руб. Для другого моста

при высотѣ насыпи въ 0,81 с. и при длинѣ по верху въ 5 саж. стоимость работы на пог. саж.— 134 р., а съ матеріаломъ—236 руб.

На Средне-Сибирской ж. д. средняя цѣна пог. саж. опредѣлилась для балочныхъ мостовъ при величинѣ пролетовъ до 2 с.:

при высотѣ насыпи	до 1 саж.	205 руб.
» » »	отъ 1 до 2 саж.	250 »
» » »	» 2 » 3 »	360 »

Для подкосныхъ мостовъ при величинѣ пролетовъ до 3,5 с.:

при высотѣ насыпи	до 4 саж.	410 »
» » »	отъ 4 до 5 саж.	480 »
» » »	» 5 » 6 »	560 »

4) При сооруженіи деревянныхъ устоевъ временнаго моста подъ два пути, черезъ Обводный каналъ въ С.-Петербургѣ на Царскосельской жел. дорогѣ съ желѣзными 6 саж. балочными фермами, при наибольшей высотѣ устоевъ въ 4 саж., общая стоимость двухъ устоевъ опредѣлилась въ 18.700 руб., что при длинѣ каждаго устоя въ 7,38 с.—составляетъ 1,270 руб. на пог. саж. двойного пути. Стоимость дерева составляла 10.300 руб., металлическихъ скрѣпленій — 2.600 руб., работа—5.800 руб.

Единичныя стоимости матеріаловъ и работъ опредѣлились въ слѣдующихъ размѣрахъ:

Бревна сосновыя:

длиною	3	саж.	толщиною	4	верш.	со	штуки.	.	1 р.	20 к.	—	1 р.	50 к.
»	3	»	»	5	»	»	»	. .	2 »	20 »	—	2 »	50 »
»	3	»	»	6	»	»	»	. .	4 »	— »	—	4 »	50 »
»	4	»	»	4	»	»	»	. .	— »	— »	—	2 »	— »
»	4	»	»	5	»	»	»	. .	4 »	— »	—	4 »	50 »
»	4	»	»	6	»	»	»	. .	5 »	50 »	—	6 »	— »
»	6	»	»	6	»	»	»	. .	— »	— »	—	25 »	— »

Болты за пудъ	3 р. 60 к.
Гвозди	2 » 50 »
Смола	1 » — »

За положеніе въ дѣло (кромѣ забивки) съ обтеской, кантовкой, остружкой, пригонкой, нарубаніемъ шиповъ и проч.:

1 пог. саж. круглаго лѣса менѣе 5 верш.	85 к.
1 » » » » болѣе 5 »	95 »

Тоже, съ кантовкой на 4 канта:

1 пог. саж. изъ лѣса менѣе 5 верш.	— р. 90 к. — 1 р. — к.
1 » » » » болѣе 5 »	1 » — » — 1 » 10 »

Забивка 6 верш. свай длиною 3—4 саж., (съ устройствомъ копра) . . . 8—10 руб.

За постановку на мѣсто болтовъ съ высверливаніемъ отверстій . . . . 20 коп. со штуки.

5) Что касается стоимости мостовъ подъ обыкновенную дорогу, то таковую правильнѣе относить на кв. саж. полотна. Если имѣть въ виду, что ширина полотна желѣзнодорожнаго моста подъ одинъ путь около 2 саж., и что въ обоихъ случаяхъ число откосныхъ свай и укосинъ будетъ одно и то же независимо отъ ширины моста, при чемъ стоимость таковыхъ въ желѣзнодорожномъ мосту составляетъ около 25% отъ стоимости пог. саж. моста, — то приблизительная стоимость кв. саж. моста подъ обык. дор. можетъ быть опредѣлена изъ вышеприведенныхъ данныхъ, по формулѣ:

$$\frac{0{,}75\,a}{2} = 0{,}38\,a \sim 0{,}4a,$$

гдѣ a—стоимость пог. саж. желѣзнодорожнаго моста подъ одинъ путь.

6) При сооруженіи подкоснаго моста подъ экипажный проѣздъ, черезъ Обводный каналъ въ Петербургѣ, при наибольшей высотѣ въ 4 саж., величинѣ пролета въ 6 с., при длинѣ моста по верху въ 19 с. и ширинѣ проѣзда въ 6 саж.—общая стоимость опредѣлилась въ 12.300 руб., что

на кв. саж. полотна составляетъ 108 руб. Въ этой стоимости: дерева было употреблено на сумму 6.500 руб., желѣзныхъ скрѣпленій на сумму 1.000 руб. и стоимость работъ—4.800 руб.

Единичныя цѣны были тѣ же, какъ и выше приведенныя.

Къ сему слѣдуетъ прибавить, что стоимость укладки одиночнаго настила—2 руб. съ кв. саж.; а двойного—4 руб. съ кв. саж.

7) При послѣднемъ возобновленіи Каменноостровскаго моста въ Петербургѣ длиной 72 саж., шириною 7 с., вышиною 3 саж., при величинѣ отдѣльныхъ пролетовъ до 8 саж. — общая стоимость моста опредѣлилась въ 70.000 руб., что составляетъ на кв. саж. около 140 руб., а за вычетомъ стоимости подъемной части 12.000 руб. при величинѣ пролета въ 8 саж.—стоимость кв. саж.—130 руб. Стоимость кв. саж. Елагинскаго моста—включая и подъемную часть—190 руб.

XI.

Типы металличеекихъ опоръ.

Общія соображенія.—Четыре класса металлическихъ опоръ: 1) металлическія стойки (колонны), 2) металлическія сваи, 3) металлическія трубчатыя опоры и 4) раскосныя опоры.

Общія соображенія. Металлическія опоры, служащія для поддержанія металлическихъ фермъ, примѣняются преимущественно въ тѣхъ случаяхъ, когда ради дешевизны, ради умепьшенія давленія па грунтъ при высокихъ опорахъ или ради экономіи мѣста—(напр. віадукп иадъ городскими улицами) — сплопныя камеиныя опоры,—несравненно болѣе долговѣчныя и устойчивыя,—являются ие вполиѣ умѣстными. Къ металлическимъ опорамъ прибѣгаютъ и въ тѣхъ случаяхъ, когда, благодаря своеобразному и пе вполпѣ изученному характеру рѣкъ, пе имѣется увѣренности въ достаточности пазначеннаго отверстія и переходятъ рѣку мостомъ, состоящимъ изъ ряда небольшихъ пролетовъ, перекрытыхъ балочными фермами иа металлическихъ сваяхъ, что допускаетъ свободное увеличепіе отверстій. Такъ напр. поступили при сооруженіи Поти-Тифлисской жел. дороги, гдѣ почти всѣ горныя рѣки, влекущія значительное количество наносовъ, были перекрыты подобными мостами; въ настоящее время оии замѣнены мостами съ большими пролетами на каменныхъ или трубчатыхъ опорахъ. Типы металлическихъ опоръ имѣютъ много общаго съ типами деревянныхъ опоръ: такъ типы деревянныхъ свайныхъ опоръ, деревянныхъ опоръ иа каменномъ фундаментѣ и типы раскосныхъ опоръ могутъ быть цѣликомъ примѣнимы и къ металлическимъ опорамъ съ замѣною дерева металломъ; кромѣ того встрѣчаются типы металлическихъ опоръ отличные отъ деревянныхъ и приближающіеся болѣе къ типу каменныхъ цилиндрическихъ столбовъ, или же встрѣчаются вполнѣ своеобразные типы, какъ напр. качающіяся опоры, или опоры коническаго башеннаго очертапія (въ цѣпныхъ мостахъ) и проч. Въ отличіе отъ опоръ деревянныхъ и каменныхъ при выработкѣ конструкціи металлическихъ опоръ слѣдуетъ въ извѣстныхъ случаяхъ принимать во внимапіе вліяніе температуры, а при высокихъ опорахъ, состоящихъ изъ одного поиеречпаго ряда стоекъ (плоскія опоры) принимать какія либо мѣры (шарнирныя опоры, примѣнепіе иеразрѣзныхъ балокъ съ промежуточными подвижными опорами) къ умепьшепію изгиба стоекъ въ продольномъ паправлепіи отъ тормажепія поѣзда, отъ измѣнепія длины верхняго пролетнаго строенія отъ дѣйствія температуры; равнымъ образомъ при опредѣлепіи поперечной жесткости опоры слѣдуетъ брать во вниманіе не только давлепіе вѣтра, по и цептробѣжную силу и проч. Особенное вниманіе въ этомъ отношеніи должно быть обращено въ металлическихъ опорахъ городскихъ віаду-

ковъ, расположенныхъ поперекъ или вдоль улицъ (дороги высокаго уровня, elevated railroad), когда по условіямъ свободнаго проѣзда не вездѣ можно помѣстить необходимыя связи.

Первоначально металлическія опоры употреблялись исключительно для цѣпныхъ мостовъ. Начиная съ 30-хъ годовъ прошлаго XIX столѣтія, встрѣчаются подобныя опоры и въ мостахъ другихъ системъ. Не касаясь пока описанія металлическихъ опоръ цѣпныхъ мостовъ, о чемъ сказано будетъ въ своемъ мѣстѣ, замѣтимъ, что металлическія оноры можно раздѣлить на четыре класса:

1) *металлическія стойки;* 2) *металлическія сваи, забиваемыя или завинчиваемыя въ грунтъ;* 3) *металлическія трубчатыя опоры, состоящія изъ опущенныхъ въ грунтъ трубъ съ каменнымъ или бетоннымъ заполненіемъ,* и 4) *металлическія раскосныя опоры.*

Металлическія стойки, закрѣпленныя въ основаніи и качающіяся стойки. — Типы чугунныхъ стоекъ, закрѣпленныхъ въ основаніи. — Типы желѣзныхъ стоекъ, закрѣпленныхъ въ основаніи. — Примѣры. — Типы чугунныхъ качающихся стоекъ. — Типы желѣзныхъ качающихся стоекъ.

Металлическія стойки, закрѣпленныя въ основаніи и качающіяся стойки. Металлическія стойки опираются обыкновенно на каменный фундаментъ. Въ исключительныхъ случаяхъ, во второстепенныхъ мостахъ подъ обыкновенную дорогу, рельсовыя стойки, состоящія изъ двухъ взаимно склепанныхъ рельсовъ, опираются иногда непосредственно на грунтъ, причемъ для увеличенія площади передачи давленія рельсы ниже поверхности земли разгибаются, заканчиваясь горизонтальнымъ колѣномъ; горизонтальныя части соединяются приклепанной къ нимъ рельсовой затяжкой, къ которой въ свою очередь приклепываются нѣсколько поперечныхъ рельсовыхъ коротышей; уширенное такимъ образомъ основаніе стойки засыпается землей или лучше щебнемъ съ плотной утрамбовкой.

Вообще въ металлическихъ стойкахъ, опирающихся на каменный фундаментъ, слѣдуетъ различать три элемента: *основаніе* ея (базу), т. е. часть, сопрягающуюся съ каменнымъ фундаментомъ, *стержень* стойки и *вершину*,—капитель съ различными приспособленіями для принятія давленія отъ фермъ моста. Такія стойки принадлежатъ къ типу плоскихъ опоръ, т. е. состоятъ изъ одного поперечнаго ряда опоръ. Въ зависимости отъ рода сопряженія съ фундаментомъ и съ фермами—*жесткаго* или *шарнирнаго*, металлическія стойки раздѣляются на два главныхъ типа: а) *на закрѣпленныя на глухо въ основаніи*, и b) *на качающіяся опоры съ шарнирнымъ сосдинснісмъ въ основаніи.* Каждый изъ этихъ двухъ типовъ можетъ имѣть или закрѣпленную на глухо съ фермами вершину или свободную, въ частномъ случаѣ, соединенную шарниромъ съ фермою. Въ отношеніи продольнаго изгиба, при всѣхъ прочихъ одинаковыхъ условіяхъ, наибольшее напряженіе получается въ типѣ качающихся опоръ съ обѣими шарнирными оконечностями; наименьшее — въ типѣ стоекъ съ обѣими на глухо закрѣпленными оконечностями; среднее между ними мѣсто занимаетъ типъ опоръ съ закрѣпленнымъ основаніемъ и свободной вершиной (въ частномъ случаѣ съ шарнирнымъ соединеніемъ) или тождественно типъ съ шарнирнымъ основаніемъ и глухимъ соединеніемъ съ фермами.

Разсмотримъ предварительно первый типъ.

Чугунныя стойки, закрѣпленныя въ основаніи. Чугунныя стойки (колонны) употребляются вышиною отъ 3 до 6 м. и имѣютъ преимущественно кольцевое

сѣченіе при внѣшнемъ діаметрѣ отъ 20 до 40 сант.; діаметръ сохраняется однообразнымъ или увеличивается по мѣрѣ приближенія къ серединѣ высоты. Толщина стѣнки дѣлается не менѣе 2—2,5 сап. и для обезпеченія однообразной толщины стѣнокъ колонны отливаются всегда стоймя. Три основные элемента стойки — основаніе, стержень и капитель въ мѣстахъ взаимнаго соединенія обдѣлываются въ видѣ втулокъ и снабжаются приливами (рис. 577 и 578), которымъ придаютъ цилиндрическое или для болѣе плотнаго соединенія коническое очертаніе. Основаніе прикрѣпляется къ фундаменту болтами и подливается на слоѣ цемента толщиною не менѣе 1 сант. или укладывается на свинцовой прокладкѣ толщиною 2 — 3 мм. Основаніе обыкновенно нѣсколько втапливается въ подфермепный камень, или же на нижней поверхности основанія дѣлаютъ крестообразныя реборды. Цилиндрическая часть основанія (базы) соединяется съ днищемъ ребордами; въ мѣстахъ размѣщенія болтовыхъ отверстій дѣлаютъ утолщенія. Сопряженіе капители со стержнемъ колонны дѣлается также помощью приливовъ (рис. 577 и 578); высота регулируется помощью клиньевъ. Если пролеты небольшіе, такъ что стрѣла прогиба фермъ незначительна, то не принимаютъ мѣръ для обезпеченія равномѣрной передачи давленія на колонну, какъ это напр. указано въ типѣ фиг. 577, представляющей капитель колонны віадука подъ обыкновенную дорогу съ деревянными фермами (на жел. дор. изъ Парижа въ С.-Жерменъ). При значительныхъ пролетахъ, а особенно въ случаѣ желѣзнодорожныхъ мостовъ, необходимо обезпечить равномѣрную передачу давленія на опору. Такъ напр. показанная на рис. 578 капитель опоры путепровода въ Оснабрюкѣ состоитъ изъ двухъ частей: нижней неподвижной и верхней балансиріой подушки, способной слѣдить за прогибомъ фермы, при чемъ не вызывается изгибающаго момента въ стойкѣ; балансиріая подушка имѣетъ по серединѣ выемку, соотвѣтствующую выступу въ нижней части подушки, что препятствуетъ сдвигу фермы въ поперечномъ направленіи отъ дѣйствія вѣтра или отъ центробѣжной силы.

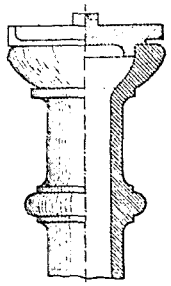


Рис. 577.

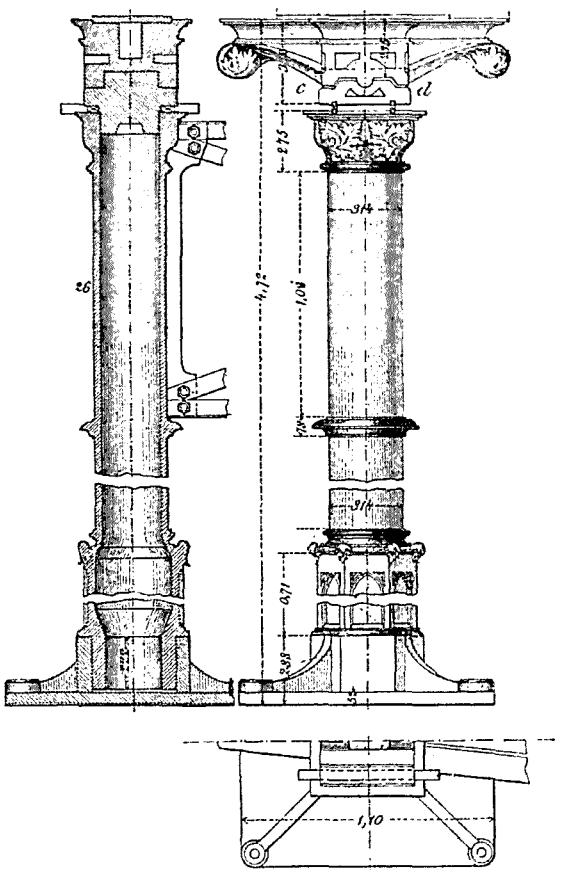


Рис. 578.

Для возможности прикрѣпленія связей отливаютъ колонны съ вертикальными ребордами (рис. 578), къ которымъ прикрѣпляютъ болтами связи.

Въ слѣд. таблицѣ приведены нѣкоторыя данныя относительно существующихъ мостовъ съ чугунными колоннами.

НАЗВАНІЕ МОСТОВЪ.	Пролетъ метр.	Высота колоннъ h метр.	Число колоннъ въ опорѣ	Число путей или ширина моста метр.	Система фермъ.	Наибольшій діаметръ колоннъ d м.м.	Наименьшій діаметръ колоннъ d м.м.	Отношеніе $\frac{d}{h}$	Толщина стѣнки.
	Желѣзнодорожные мосты.								
Віадукъ на Берлинъ-Ангальтской жел. дорогѣ въ Дёличѣ .	7,47	4,39	6	16,3	Сплошная стѣнка.	287	209	0,065	26
Віадукъ на австрійской Сѣверо-Западной ж. дорогѣ .	10,18	2,88	24	3 пути	Сплошная стѣнка.	274	274	0,161	—
Віадукъ въ Штетинѣ	10,85	4,55	8—11	2 пути	—	471	—	—	—
Віадукъ на австрійской правит. ж. дор. въ Вѣнскомъ пратерѣ	12,64	3,87	12	2	Рѣшетч.	316	253	0,082	34
	Мосты подъ обынновенную дорогу.								
Мостъ въ Женевѣ .	7,10	5,50	5	9,8	Сплошная стѣнка.	230	—	0,042	—
Віадукъ черезъ С.-Жерменскую ж. д.	7,15	4,10	5	8,0	Деревянныя балки.	150	120	0,037	20
Мостъ черезъ Рону въ Женевѣ	10,4	—	5	9,7	Сплошная стѣнка.	—	—	—	—
Мостъ въ Берлинѣ .	12,55	2,67	2	4,08	Деревянныя балки.	314	262	0,118	—

Къ этому же типу опоръ слѣдуетъ отнести чугунныя—коническія или пирамидальныя опоры цѣпныхъ мостовъ (о чемъ подробно сказано будетъ въ своемъ мѣстѣ) и состоящія изъ осевого стержня (массивнаго или иолаго), соединеннаго радіальными связями съ конической или пирамидальной оболочкой, составленной въ свою очередь изъ сплошныхъ или сквозныхъ чугунныхъ косяковъ, плитъ, взаимно свинченныхъ (рис. 579).

Желѣзныя стойки, закрѣпленныя въ основаніи, бываютъ весьма разнообразныхъ сѣченій. Опишемъ нѣсколько типовъ.

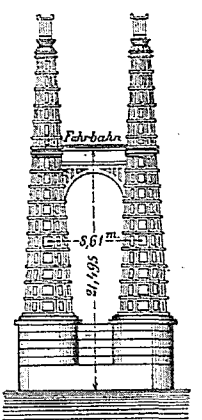


Рис. 579.—Опоры висячаго моста черезъ р. Дордонь близъ Кюбзака.

На фиг. 263, табл. 36 показаны опоры, состоящія изъ двухъ рельсовъ Брюнеля, склепанныхъ между собою. Между обоими рельсами зажата поперечная балка, усиленная консолями и на которой расположены продольныя главныя фермы. Въ основаніи стойки опираются на чугунную подушку, такъ отлитую, что ядро подушки входитъ внутрь стойки. Въ нѣкоторыхъ типахъ, продольная главная ферма непосредственно упирается на стойку (фиг. 264). И въ этомъ примѣрѣ между обоими рельсами зажата вверху треугольная прокладка (консоль) съ двумя уголками по верхнему ребру; на листъ консоли опираются какъ главная ферма, такъ и поперечныя балки.

На рис. 580—587 показаны общій видъ и детали устройства стоекъ и подкосныхъ фермъ изъ желѣзныхъ рельсовъ Виньоля. Взаимное соединеніе рельсовъ пятами (рис. 580—585) облегчаетъ склепку, дѣлаетъ соединеніе болѣе прочнымъ, но затрудняетъ прикрѣпленіе поперечинъ проѣзжей части; при сближеніи же рельсовъ головками (рис. 586 — 587) взаимное соединеніе менѣе прочно, но прикрѣпленіе поперечинъ къ широкой грани пяты болѣе удобно. Въ изображенномъ на рис. 580 типѣ оба рельса стойки сближены не вплотную, а съ оставленіемъ промежутка (съ примѣненіемъ по линіи заклепокъ—прокладокъ), что даетъ возможность (рис. 581) помѣстить мѣстами фасонныя прокладки и къ нимъ приклепать связи въ поперечномъ направленіи. На рис. 582 изображена

чугунная подушка, въ которую вставляется рельсовая стойка. На извѣстной высотѣ рельсы разгибаются и переходятъ въ ригель (рис. 583), поверхъ котораго помѣщаются рельсы прогона. Для того, чтобы прогонъ былъ двойной по всей длинѣ и для того, чтобы отогнутые концы рельсовъ стойки не могли разойтись, помѣщена въ промежуткѣ между подкосами треугольная рама изъ согнутаго рельса, склепаннаго съ горизонтальнымъ короткимъ рельсомъ. Другой типъ—гдѣ подкосы не состаРис. 580.

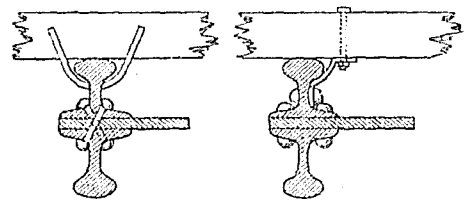


Рис. 581.

вляютъ продолженія рельсовыхъ стоекъ и стойки доведены до верху—показанъ на рис. 584 и 585. Въ первомъ изъ нихъ—прогонъ двойной во всю длину, а во второмъ—прогонъ одиночный; соединеніе подкоса со стойкой и прогономъ сдѣлано помощью двухъ накладокъ, для чего сняты предварительно выступающія боковыя части головокъ рельса до размѣровъ толщины шейки рельса. Въ виду значительной дороговизны остругиванія иногда сплющиваютъ головки рельса (желѣзнаго) въ горячемъ со-

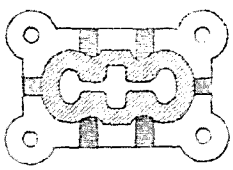


Рис. 582.

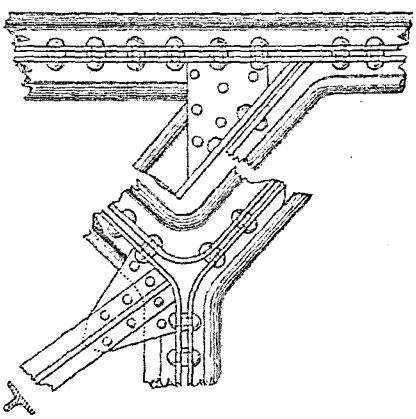


Рис. 583.

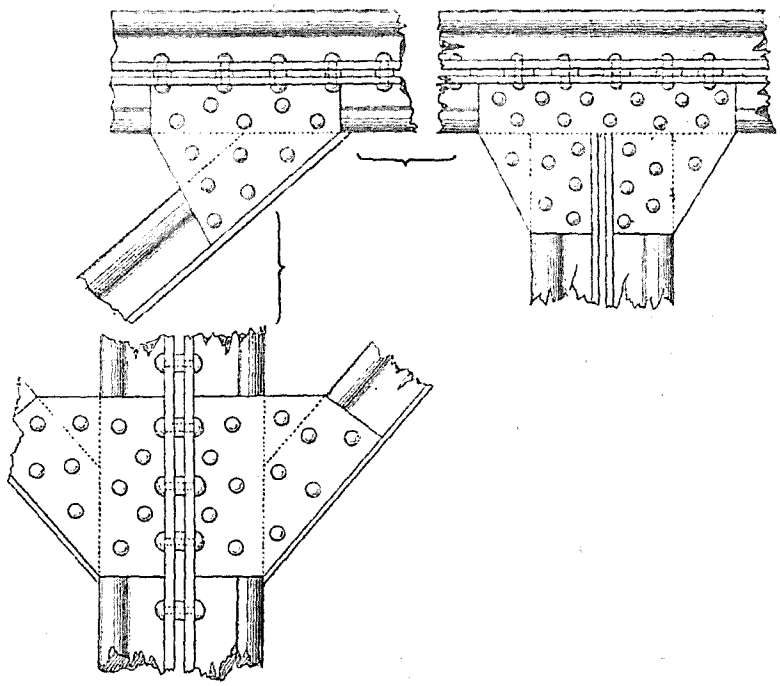


Рис. 584.

стояніи. На рис. 581 показаны прикрѣпленія деревянныхъ поперечинъ помощью скобъ изъ круглаго желѣза, пропущенныхъ чрезъ отверстіе въ шейкѣ рельса, или помощью болтовъ, прикрѣпленныхъ къ приклепаннымъ къ рельсу фасоннымъ уголкамъ. Стыки рельсовъ перекрываются обыкновенными накладками (отрѣзавъ предварительно концы рельса съ овальными отверстіями) съ помѣщеніемъ прокладокъ. Стыки пять перекрываются отдѣльными накладками, помѣщенными въ промежуткѣ между рельсами. На фиг. 586—587 показанъ другой типъ стоекъ изъ рельсовъ съ взаимно обращенными головками; перекрытіе стыковъ одной общей широкой накладкой, плоской съ прокладками или изогнутой, прикрѣпленіе прогона къ стойкѣ и прикрѣпленіе поперечинъ къ прогону—менѣе сложно, чѣмъ въ предыдущемъ типѣ.

На фиг. 261, табл. 35 показана металлическая опора одного изъ мостовъ Николаевской желѣзной дороги *). Подъ каждую изъ четырехъ фермъ моста поставлено по отдѣльной стойкѣ, которымъ придана такая ширина по длинѣ моста, чтобы на одной стойкѣ могли помѣститься оконечности двухъ смежныхъ фермъ. Стойки прямоугольнаго, трубчатаго еѣченія. Двѣ стороны прямоугольника—сплошныя, а двѣ остальныя—сквозныя. Сплошная стѣнка состоитъ изъ листа и четырехъ уголковъ; между внутренними уголками помѣщена рѣшетка сквозной стѣнки; сплошные листы выступаютъ изъ-за очертанія уголковъ для возможности прикрѣпленія къ листу накладокъ, къ которымъ приклепываются связи, соединяющія всѣ стойки. Въ верхней и нижней части стойки сквозное заполненіе замѣнено сплошнымъ листомъ. Верхняя опорная чугунная подушка опирается на ребра стойки и прикрѣплена болтами со втопленіями головками къ горизонтальнымъ полкамъ уголковъ, приклепанныхъ съ внутренней стороны ко всѣмъ четыремъ гранямъ верхней части стойки. Въ вершинѣ по серединѣ ширины стойки приклепанъ

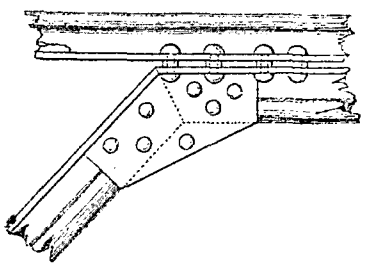


Рис. 585.

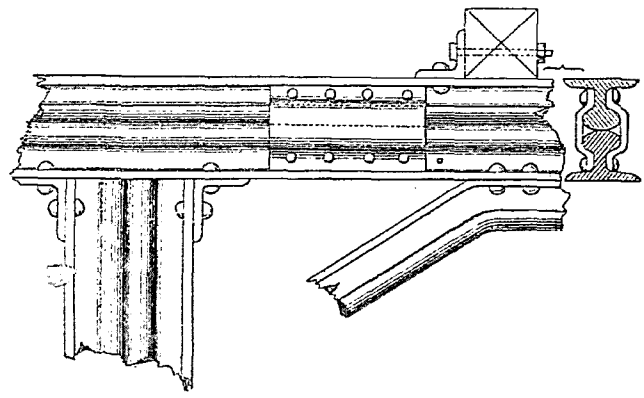


Рис. 586.

поперечный уголокъ, къ которому также прикрѣплена подушка. Одинъ конецъ фермы — подвижной, другой — неподвижный; поэтому въ этой послѣдней фермѣ пропущены болты чрезъ листы пояса фермы, чугунную подушку и полку окаймляющаго уголка. Въ виду малаго сопротивленія чугуна изгибу полезно было бы (какъ это встрѣчается въ другихъ примѣрахъ) помѣстить вверху двѣ накрестъ расположенныя діафрагмы, окаймить ихъ уголками, покрыть вершину сплошнымъ желѣзнымъ толстымъ листомъ ($^1/_2$ д.), прикрѣпленнымъ потайными заклепками къ полкамъ уголковъ, а къ листу уже прикрѣпить чугунную подушку. Передача давленія на каменную кладку сдѣлана помощью чугунныхъ башмаковъ, прикрѣпленныхъ къ кладкѣ семи-футовыми болтами, задѣланными въ кладку. Чугунная подушка имѣетъ только двѣ вертикальныя стѣнки съ ребордами, соотвѣтствующія сквознымъ стѣнкамъ стойки, имѣющимъ въ нижнихъ частяхъ, взамѣнъ сквознаго заполненія, сплошной листъ толщиною $^1/_2$″. Сквозь эти листы и стѣнки подушки пропущены горизонтальные болты, прикрѣпляющіе стѣнку къ опорной подушкѣ. Остальныя двѣ сплошныя стѣнки стойки опираются непосредственно на днище подушки и для болѣе совершенной передачи давленія подклинены клиньями; во избѣжаніе смятія кромокъ листовъ нижней части стѣнокъ къ нимъ приклепаны съ обѣихъ сторонъ полудюймовые листы.

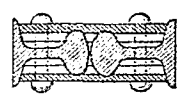


Рис. 587.

*) Опоры проектированы профессоромъ Н. А. Бѣлелюбскимъ.

На фиг. 262, табл. 35 показаны металлическія стойки віадука подъ Ярославскимъ шоссе въ Москвѣ *). Стойка представляетъ въ сѣченіи прямоугольникъ и состоитъ изъ 4-хъ уголковъ $3^1/_2 \times 3^1/_2 \times {}^3/_8''$, къ каждой полкѣ которыхъ приклепанъ листъ шириною $6^1/_2''$; затѣмъ всѣ 4 уголка съ приклепанными къ нимъ листами взаимно соединены рѣшеткой изъ жесткихъ уголковъ и образуютъ трубчатую стойку со сквозными стѣнками. Вверху, внизу и по серединѣ рѣшетка замѣнена сплошнымъ листомъ, какъ для возможности прикрѣпленія связей, такъ и для увеличенія жесткости. Для принятія давленія отъ верхней чугунной подушки къ верхнему краю стойки, съ внутренней стороны приклепаны двѣ узкія полосы и уголокъ; затѣмъ между двумя взаимно противоположными стѣнками помѣщена вертикальная діафрагма; къ горизонтальнымъ полкамъ уголковъ діафрагмы и уголковъ, окаймляющихъ верхній край стойки, приклепанъ сплошной котельный листъ, къ которому уже прикрѣплена чугунная подушка. Къ нижнимъ краямъ стойки приклепаны уголки, горизонтальныя полки которыхъ соединены заклепками со сплошнымъ листомъ толщиною ${}^3/_4''$, который образуетъ такимъ образомъ днище стойки; сквозь этотъ листъ проходятъ семи-футовые болты, заложенные въ кладку. Проѣзжая часть устроена слѣдующимъ образомъ: на поперечныхъ балкахъ положено желѣзо Zorès, промежутки между которыми заполнены асфальтовой мастикой со щебнемъ, поверхъ котораго расположенъ слой бетона, покрытый тонкимъ слоемъ асфальта, а затѣмъ уже устроено обыкновенное шоссе. Для тротуаровъ желѣзо Zorès замѣнено волнистымъ желѣзомъ, оцинкованнымъ съ двухъ сторонъ.

Къ этому же типу желѣзныхъ трубчатыхъ стоекъ принадлежитъ опора (рис. 588) моста черезъ р. Рейнъ въ Майнцѣ съ фермами системы Паули. Высота опоры 6,31 м.; каждая изъ промежуточныхъ опоръ, предназначенныхъ для установки на ней подвижной и неподвижной опорныхъ подушекъ, состоитъ изъ 24 уголковъ, расположенныхъ въ трехъ граняхъ (по 6, 12 и 6 уголковъ) и взаимно связанныхъ сплошными листами въ трехъ граняхъ, нормальныхъ къ оси пути, и сквозной рѣшеткой въ трехъ граняхъ, параллельныхъ оси пути. База состоитъ изъ чугунной коробки съ шестью вертикальными и четырьмя наклонными стѣнками. Сплошныя стѣнки стоекъ поставлены на ребро чугунныхъ стѣнокъ и связаны съ ними при помощи накладокъ и болтовъ. Чугунная коробка прикрѣплена къ каменной кладкѣ болтами, пропущенными частью чрезъ днище подушки и частью чрезъ наклонныя ея грани. Вершины стоекъ подъ обѣими фермами связаны вверху двумя поперечными балками, расположенными въ плоскости наружныхъ сплошныхъ граней; съ этою цѣлью и въ виду того, что длина катковъ оказалась болѣе ширины стоекъ, сплошной листъ вверху замѣненъ консолью, переходящей въ составъ стѣнки поперечной балки. Непосредственно подъ опорными подушками прибавлена еще третья продольная промежуточная стѣнка и внутренняя поперечная стѣнка; всѣ стѣнки окаймлены уголками и узкими листами, поверхъ которыхъ расположены чугунныя доски, прикрѣпленныя потайными болтами къ уголкамъ. Поперечные размѣры опоры по направленію вдоль моста 1,4 м., а поперекъ моста—внизу 0,85 м. и вверху 0,75 м.

Американскіе типы металлическихъ опоръ мостовъ на городскихъ высокаго уровня (возвышенныхъ) дорогахъ (Elevated viaducts). Для сбереженія мѣста нерѣдко устанавливаютъ подъ путь одну только опору или двѣ опоры подъ два

*) Этотъ віадукъ построенъ по проекту профессора Н. А. Бѣлелюбскаго.

пути (рис. 589) съ безусловно солиднымъ закрѣпленіемъ въ основаніи. Въ указанномъ примѣрѣ віадука въ Чикаго, съ пролетами отъ 35 ф. до 50 ф. опора

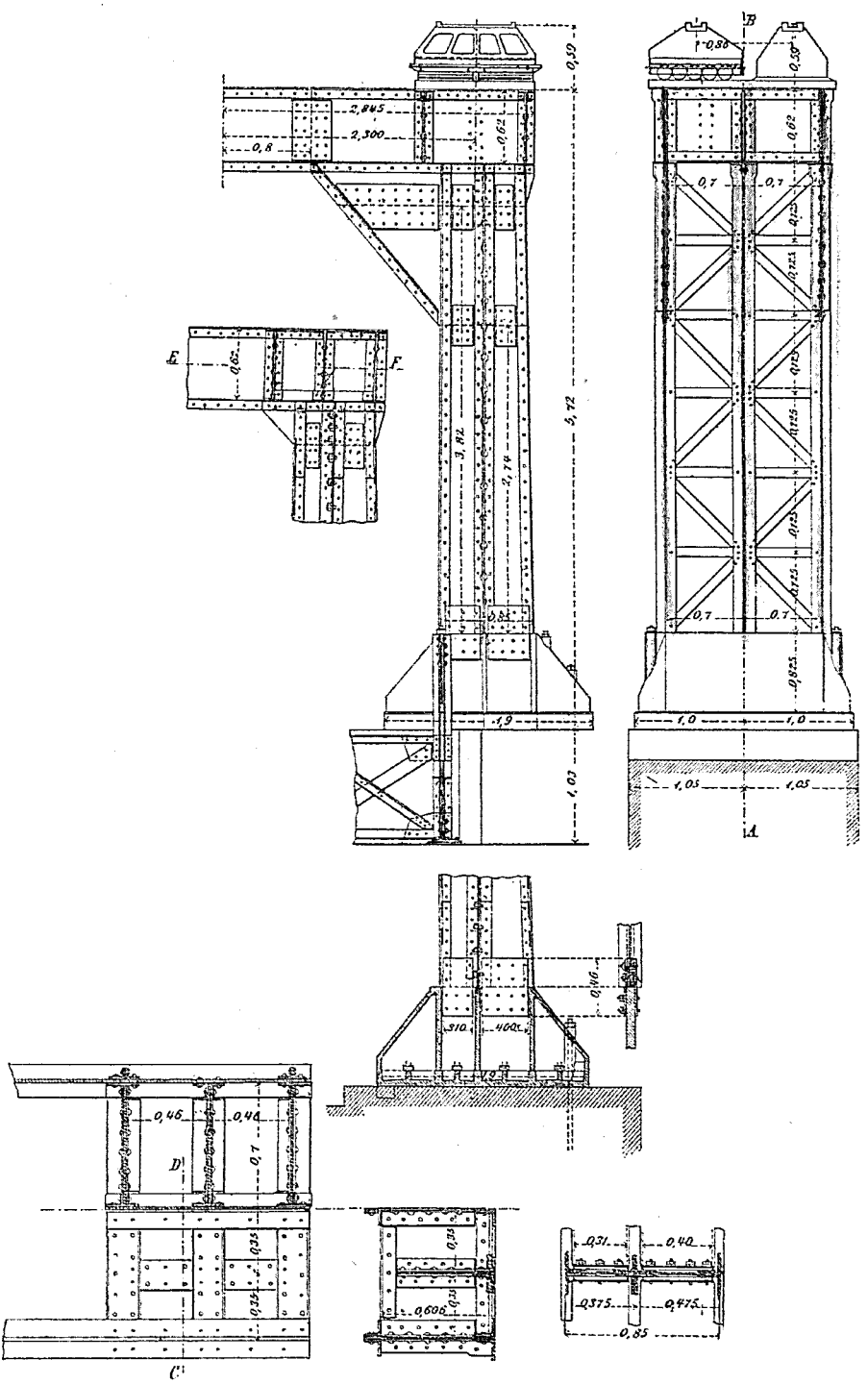


Рис. 588. — Опоры моста черезъ р. Рейнъ въ Майнцѣ.

трубчатаго сѣченія, настолько расширяющаяся къ верху, что на ней можно помѣстить двѣ фермы. По направленію параллельному къ продольной оси моста опора — однообразной ширины, отвѣчающей возможности помѣстить по подвижной и неподвижной опорной подушкѣ. Нижняя площадь каменнаго основанія,

заложеннаго на глубину 10 ф., имѣетъ 7 фут. въ сторонѣ; верхняя часть каменнаго основанія заканчивается чугуннымъ башмакомъ высотою 2 ф., въ который вставленъ низъ стойки, прикрѣпленный болтами къ стѣнкамъ башмака. Для того, чтобы листы граней стойки опирались, кромѣ того, непосредственно на днище башмака и чтобы не оставалось зазора,— втрамбованъ во внутренность башмака особаго рода растворъ изъ металлическихъ опилокъ и нашатыря. Башмакъ прикрѣпленъ къ кладкѣ четырьмя болтами діаметромъ $1^1/_4$ д.

На рис. 590 показанъ другой типъ опоръ и фермъ віадука желѣзной дороги высокаго уровня, примѣненный въ Нью-Іоркѣ. Двойной путь рѣшено было уложить надъ среднею частью улицы, не загораживая однако эту часть улицы опорами, которыя въ виду сего были установлены около тротуаровъ; опоры соединены парными поперечными балками, на которыя въ свою очередь опираются три фермы двойного пути.— Фермы со сквозной стѣнкой, со срѣзанными концами и опираются верхнимъ поясомъ на поперечную балку. Этотъ типъ, одинъ изъ первыхъ (1887), оказался однако недостаточно жесткимъ. Несравненно совершеннѣе типъ, указанный на фиг. 264′, табл. 36 и примѣненный также въ Нью-Іоркѣ (1893). Четыре пути поддерживаются тремя фермами, опирающимися на три стойки; величина пролета 9 саж. Опоры — трубчатаго сѣченія съ двумя сплошными и двумя сквозными гранями; связей между опорами не имѣется, взамѣнъ чего поставлены солидныя поперечныя связи между фермами; верхняя часть опоры снабжена восемью консолями, окаймленными уголками и покрытыми сплошнымъ листомъ, поверхъ котораго надъ вершиной колонны расположенъ листъ, размѣровъ 991 × 610 мм.; на этотъ листъ опираются неподвижная и подвижная опоры смежныхъ фермъ. База колонны, заканчивающаяся сплошнымъ листомъ, приболчена къ чугунной подушкѣ, помѣщенной ниже уровня улицы и прикрѣпленной къ каменному основанію; база колонны защищена чугуннымъ колоколомъ отъ удара колесъ. Промежутокъ между гранями колонны въ основаніи, а также внутреннее пространство чугуннаго колокола заполнено цементнымъ растворомъ. Проѣзжая часть состоитъ изъ сплошного металлическаго пола,—изъ составного волнистаго желѣза; высота волны 17 д., ширина 15 д., и толщина $^3/_8$ д.

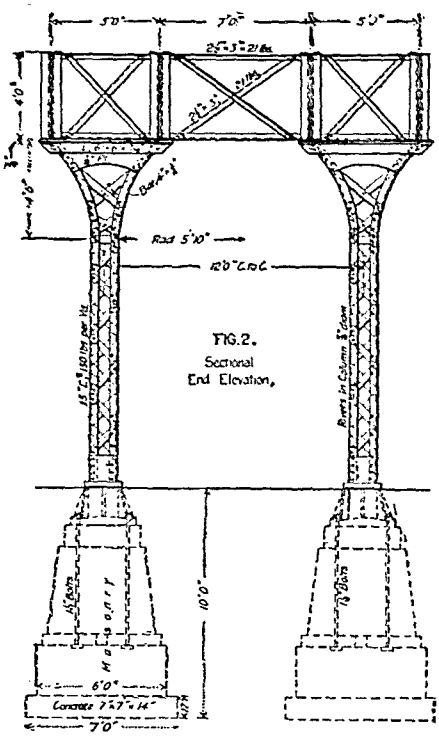
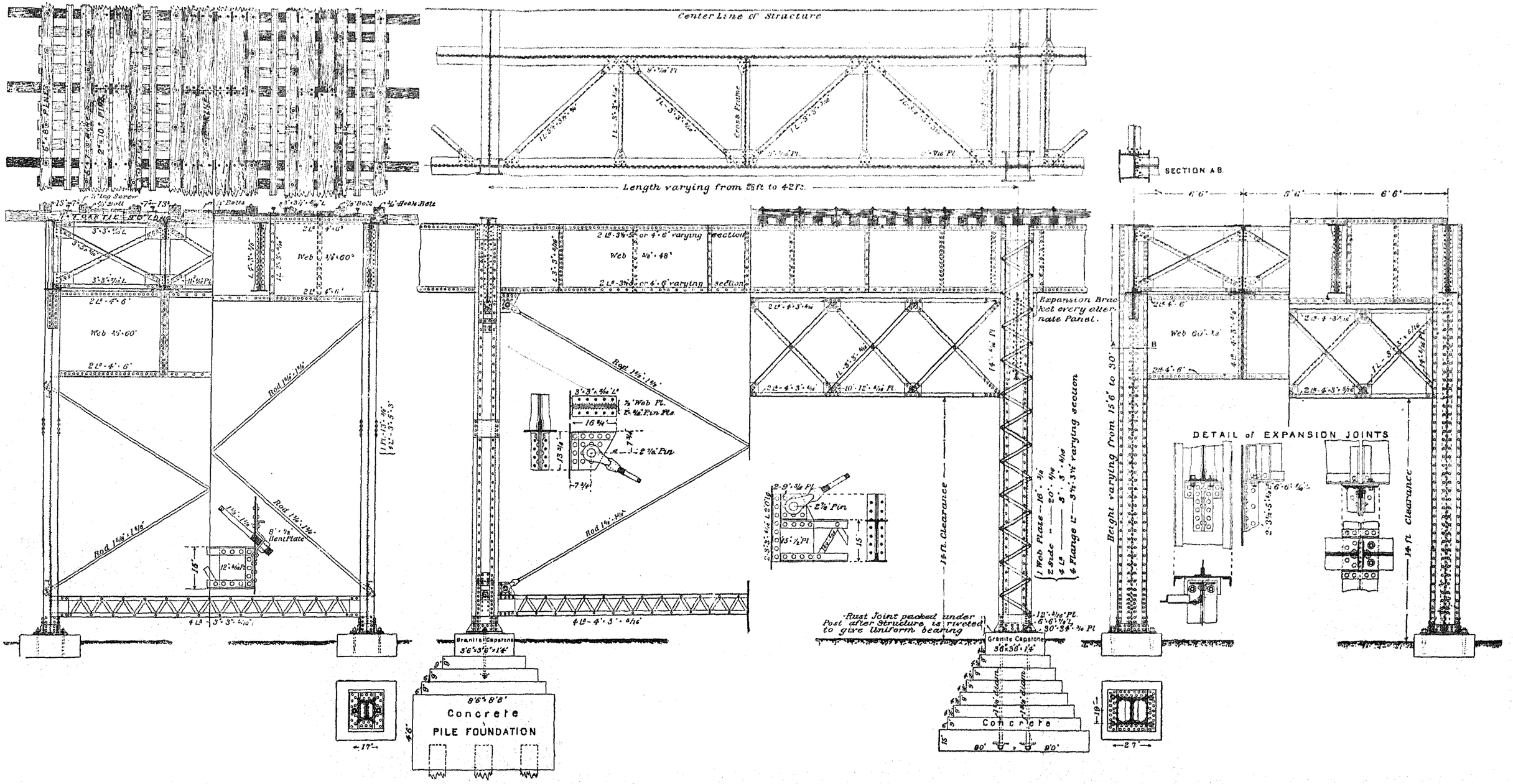


Рис. 589.— Опоры дороги высокаго уровня въ Чикаго.

На рис. 591 изображены металлическія опоры двухпутнаго віадука въ С. Луи. Величина отдѣльныхъ пролетовъ измѣняется отъ 28 фут. до 42 фут. Въ пролетахъ черезъ одинъ одна изъ оконечностей фермъ подвижная, слѣдовательно въ одной серіи пролетовъ оба конца фермъ неподвижные, а въ другой—одинъ конецъ неподвижный, а другой—подвижной. Въ тѣхъ пролетахъ, гдѣ оба конца фермъ неподвижные, основаніе и вершина металлическихъ колоннъ находятся въ условіяхъ наглухо закрѣпленныхъ стоекъ. Опоры высотою отъ 15,5 ф. до 30 ф. трубчатаго сѣченія; двѣ грани сплошного сѣченія, а остальныя—сквозныя; между сплошными стѣнками помѣщена еще внутренняя сплошная стѣнка, къ которой приклепана поперечная балка, служащая опорою для фермъ; поперечная балка помѣщена въ одной парѣ опоръ—въ вершинѣ оноры, а въ слѣдующей—ниже на высоту главныхъ фермъ и такъ далѣе, постоянно чередуясь. На понижепной поперечной балкѣ



Л. Ѳ. Николаи.

Рис. 591.— Опоры дороги высокаго уровня въ С. Луи.

Къ стр. 758.

устроены подвижныя опоры двухъ среднихъ главныхъ фермъ. Такимъ образомъ, двѣ промежуточныя главныя фермы однимъ концомъ приклепаны къ приподнятой поперечной балкѣ, а другимъ опираются на пониженную поперечную балку, при чемъ конецъ одной фермы приклепанъ заклепками наглухо, а конецъ другой фермы прикрѣпленъ болтами къ увеличеннымъ отверстіямъ, допускающимъ свободное удлиненіе фермъ. Что же касается обѣихъ крайнихъ фермъ, то во всѣхъ пролетахъ неподвижные концы фермъ приклепаны къ наружной сплошной стѣнкѣ, подвижной же конецъ фермъ, устроенный также черезъ пролетъ, опирается на особый горизонтальный уголокъ, вертикальная полка котораго приклепана двойнымъ рядомъ заклепокъ; для облегченія работы горизонтальной полки уголка, подъ нею приклепаны два вертикальныхъ уголка; подвижной конецъ фермы при-

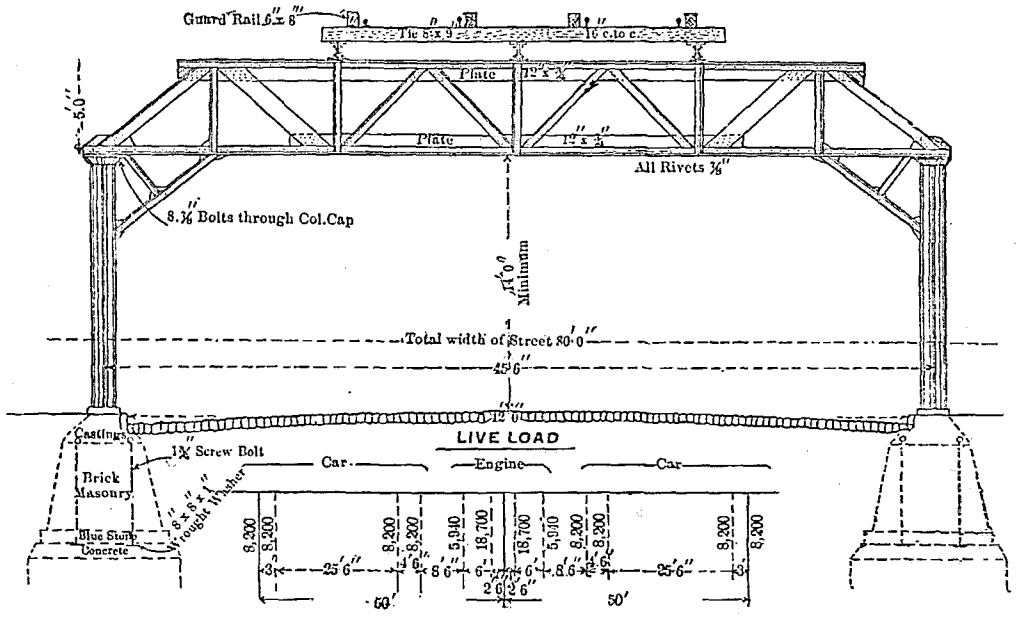


Рис. 590.— Опоры дороги высокаго уровня въ Нью-Іоркѣ.

крѣпленъ къ горизонтальной полкѣ помощью болтовъ съ отверстіями увеличеннаго діаметра. Продольныя и поперечныя связи помѣщены въ тѣхъ пролетахъ, гдѣ не было надобности оставлять свободный проѣздъ; тамъ же, гдѣ это оказалось невозможнымъ, помѣщены рѣшетчатыя поперечныя распорки съ оставленіемъ свободнаго просвѣта высотою 14 ф.

По американскимъ даннымъ для возвышенныхъ желѣзныхъ дорогъ, при чистой высотѣ проѣзда около 14 ф., наиболѣе выгодная величина пролета измѣняется отъ 40 до 50 ф, если ферма со сплошной стѣнкой, и отъ 50 до 60 ф. для фермъ со сквозной стѣнкой.

Чугунныя качающіяся опоры. Чугунныя качающіяся опоры примѣняются при невысокихъ опорахъ и малыхъ пролетахъ и когда нѣтъ основанія опасаться появленія изгиба или боковыхъ ударовъ отъ проѣзжающихъ подъ віадукомъ фуръ. Эти колонны, благодаря удобству, представляемому отливкой, могутъ быть очень богато и красиво отдѣланы при соотвѣтственномъ выборѣ рисунка, и поэтому чугунныя качающіяся опоры нерѣдко примѣняются для желѣзнодорожныхъ невысокихъ віадуковъ въ городахъ. Колонны большею частью полаго круглаго сѣченія съ однообразнымъ или перемѣннымъ внѣшнимъ діаметромъ. База, стержень и капитель составляютъ вполнѣ независимыя части, свободно опираются одна на

другую съ приспособленіями, допускающими вращеніе между частями безъ поперечнаго перемѣщенія. Если имѣется въ виду вращеніе только въ плоскости параллельной продольной оси моста, то примѣняются цилиндрическіе шарниры, а въ противномъ случаѣ—шаровые шарниры. Указанныя далѣе нѣкоторыя особенности желѣзныхъ качающихся стоекъ вполнѣ примѣнимы очевидно и къ чугуннымъ стойкамъ. На рис. 592 показана чугунная качающаяся опора съ шаровыми шарнирами віадука надъ набережными близъ Ангальтскаго вокзала въ Берлинѣ съ трехпролетными неразрѣзными фермами въ 6,15 и 6 метр. при отрицательныхъ опорныхъ сопротивленіяхъ на крайнихъ опорахъ. Къ каменному основанію прикрѣплена болтами чугунная доска съ цилиндрическимъ углубленіемъ по серединѣ; въ это углубленіе вставленъ цилиндрическій шипъ шарового подпятника, который точно установленъ помощью клиньевъ. На подпятникъ опирается чугунная пята въ видѣ тарелки, входящая внутрь полаго стержня колонны. Стержень колонны прикрытъ сверху свободно вставленнымъ въ него шаровымъ подпятникомъ, служащимъ опорою для качающейся капители, къ которой наглухо прикрѣплена ферма. Къ нижней доскѣ привинченъ чугунный зонтъ, защищающій нижній подпятникъ отъ грязи и маскирующій шаровую пяту. Толщина стѣнки колонны, высотою 2,6 м., составляетъ 25 мм.; къ серединѣ высоты внутренній діаметръ постепенно увеличивается съ 140 мм. до 240 мм. Наибольшее допущенное напряженіе матеріала: 3,5 $\frac{\text{кил.}}{\text{мм.}^2}$

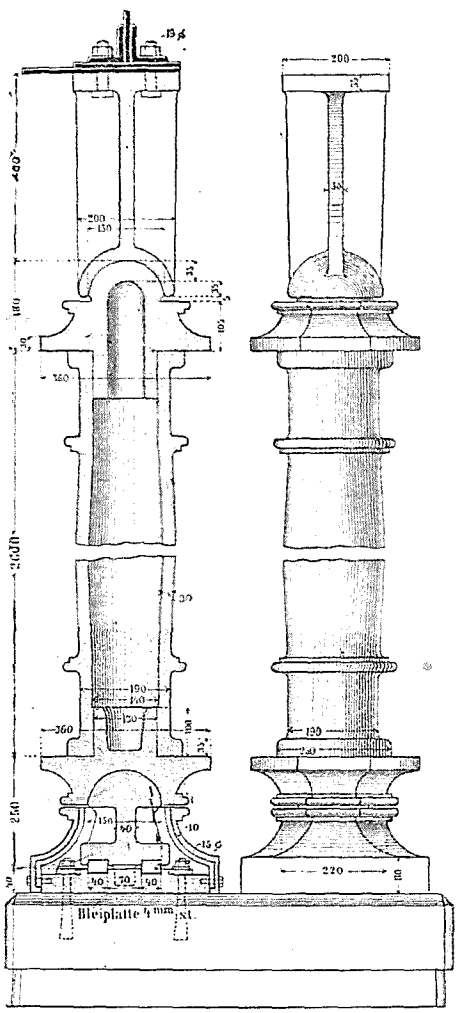


Рис. 592. — Опора віадука близъ Ангальтскаго вокзала въ Берлинѣ.

Желѣзныя качающіяся опоры. Если плоскія (изъ одного поперечнаго ряда стоекъ) опоры достаточно высоки (болѣе 5 метр.), то стойки съ закрѣпленнымъ основаніемъ оказываются уже не вполнѣ умѣстными, въ виду появленія значительнаго напряженія при изгибѣ стоекъ отъ удлиненія фермъ при измѣненіи температуры, отъ тормаженія поѣзда и проч. Переходъ къ качающимся стойкамъ является поэтому вполнѣ естественнымъ, если не желаютъ почему либо примѣнять типъ болѣе дорогихъ раскоспыхъ, пирамидальныхъ опоръ. Но, съ другой стороны, качающіяся плоскія стойки обладаютъ нѣсколькими недостатками: а) онѣ требуютъ, чтобы конецъ фермы на одномъ изъ устоевъ былъ настолько прочно скрѣпленъ съ устоемъ или съ другимъ какимъ-либо массивомъ, чтобы горизонтальная сила, развивающаяся при тормаженіи и проч., могла быть безопасно передана на этотъ массивъ; б) фермы смежныхъ пролетовъ должны имѣть общую опорную подушку (разрѣзныя или неразрѣзныя фермы) (фиг. 328г, табл. 46) или двѣ сближенныя подушки со взаимнымъ соединеніемъ фермъ (фиг. 333,

табл. 47); в) между опорами должны существовать солидныя поперечныя связи, препятствующія изгибу стоекъ въ поперечномъ паправленіи; изгибъ можетъ вызвать значительныя напряженія въ фермахъ моста, при изгибѣ ихъ въ горизонтальной плоскости. Первое изъ указанныхъ обстоятельствъ настолько существенно, что во избѣжаніе излишняго обремененія устоя въ смыслѣ увеличенія опрокидывающаго момента, тяга, идущая отъ конца фермы, закрѣпляется въ особомъ скрытомъ въ насыпи массивѣ, какъ это напр. сдѣлано (рис. 593) въ мостѣ черезъ р. Sarthe во Франціи. (Мостъ подъ обыкновенную и желѣзную дорогу, второстепеннаго значенія; общая длина шестипролетнаго моста составляетъ 96 метр. Фермы неразрѣзныя, числомъ три въ каждомъ пролетѣ; рельсовый путь уложенъ рядомъ съ полотномъ экипажнаго проѣзда. При тормаженіи поѣзда можетъ развиваться сила въ 20.000 кил., въ виду чего конецъ фермы на одномъ изъ устоевъ закрѣпленъ помощью тяги въ бетонномъ массивѣ, заложенномъ въ ядрѣ насыпи и удаленномъ на 30 м. отъ устоя). При длинныхъ віадукахъ въ виду измѣненія температуры на одной изъ крайнихъ опоръ (съ подвижной опорной подушкой) получается большой зазоръ; поэтому лучше ставить нѣсколько промежуточныхъ неподвижныхъ опоръ, металлическихъ или каменныхъ, какъ это напр. сдѣлано въ віадукѣ Oschütz близъ Weida въ Саксоніи.

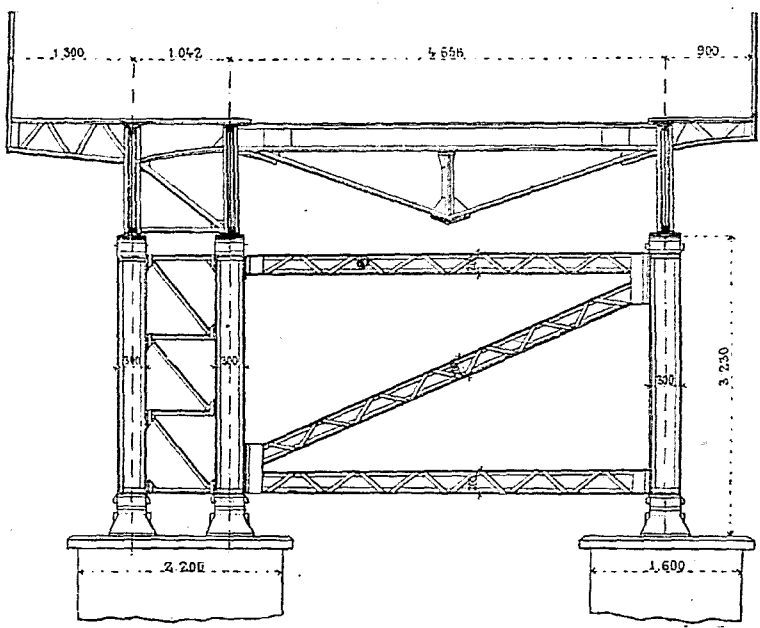


Рис. 593.—Качающіяся опоры моста черезъ р. Sarthe во Франціи.

Желѣзныя качающіяся опоры устраиваются большею частью въ видѣ бруса равнаго сопротивленія—сѣченія двутавроваго со сплошной или сквозной стѣнкой, коробчатаго, трубчатаго или иного, съ постепенно увеличивающейся къ серединѣ шириной въ плоскости параллельной продольной оси моста (фиг. 328 *б*, табл. 46); иногда же поперечные размѣры (т. е. ширина граней) увеличиваются по мѣрѣ приближенія къ вершинѣ, какъ это напр. сдѣлано въ віадукахъ Кёльнской станціи, на городской Берлинской ж. д. и проч. (рис. 594*а*, 594*б*, 594*в*).

При высокихъ опорахъ крайнія стойки, для увеличенія устойчивости въ поперечномъ направленіи, имѣютъ обыкновенно наклонное направленіе съ уклономъ около $^1/_8$ (фиг. 328 *б*, табл. 46). При двухъ стойкахъ въ ребрахъ ихъ близъ основанія предлагаютъ дѣлать перегибъ (фиг. 334 *C*, табл. 48), т. е. значительно увеличиваютъ разстояніе между стойками въ основаніи, оставляя сближенными объ стойки на остальномъ протяженіи. Стойки связываются по высотѣ солидными поперечными связями, что составляетъ крайне существенное условіе для устойчивости опоры. Величина отдѣльныхъ пролетовъ обыкновенно не превосхо-

дить 30—35 м. Соединеніе металлической опоры какъ съ фермами, такъ и съ основаніемъ дѣлается помощью цилиндрическаго шарнира (фиг. 328 *г*, табл. 46; фиг. 333, табл. 47; фиг. 328 *в*, (лѣвая верхняя) табл. 46; фиг. 334 *B*, табл. 48) или помощью шарового шарнира (рис. 594, фиг. 328 *в* и 328 *д*, табл. 46). Хотя обѣ ноги или стойки обыкновенно наклонныя, по для возможности одновременнаго вращенія ихъ около цилиндрическихъ шарниров — эти послѣдніе должны располагаться горизонтально (фиг. 328 *в*, табл. 46, рис. 597 *а*), вслѣдствіе чего высота верхняго балансира получается неодинообразной. Шарниръ на фиг. 328 *в* имѣетъ по серединѣ утолщеніе съ соотвѣтственными утолщеніями въ нижней и верхней подушкѣ, что сдѣлано съ цѣлью предотвратить поперечный сдвигъ опоры. Если обѣ стойки на столько раздвинуты въ основаніи, что соединяющая ихъ поперечная связь оказывается длиною около 8 метр., то во избѣжаніе появленія дополнительныхъ напряженій въ связяхъ отъ измѣненія температуры опора одной изъ стоекъ дѣлается подвижной, на каткахъ (фиг. 334 *B*, табл. 48).

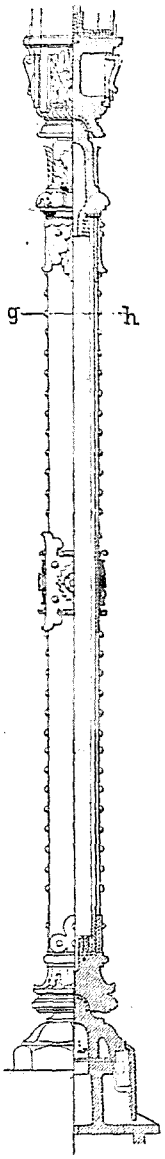


Рис. 594 *а*.

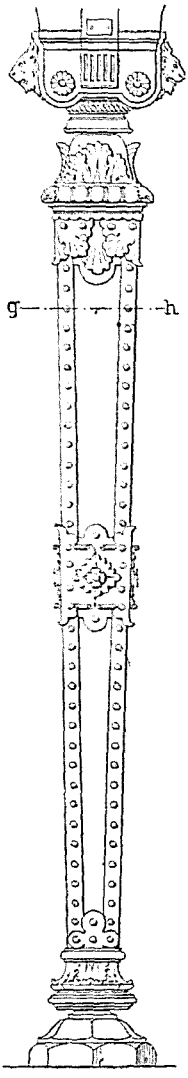


Рис. 594 *б*.

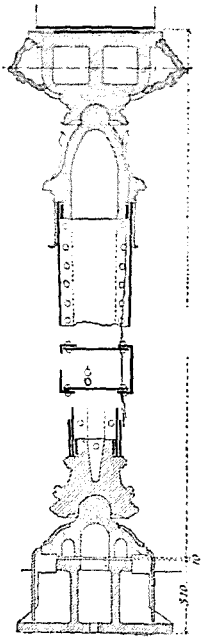


Рис. 594 *в*.

Качающіяся опоры віадука на городской Берлинской ж. д.

Хотя обѣ стойки настолько раздвигаютъ въ основаніи, что устойчивость обыкновенно вполнѣ обезпечена, тѣмъ не менѣе принимаютъ еще мѣры, предупреждающія возможность отдѣленія стойки отъ каменнаго основанія. Если соединеніе сдѣлано помощью цилиндрическаго шарнира, то въ такомъ случаѣ нижнюю подушку, прикрѣпленную неподвижно къ каменному основанію, отливаютъ съ нѣсколькими вертикальными стѣнками (рис. 595 *в*), въ которыхъ сдѣланы проушины; въ верхней балансирной подушкѣ, прикрѣпленной неподвижно къ стойкѣ, также имѣются снизу вертикальные приливы съ проушинами; приливы эти приходятся противъ промежутковъ между стѣнками нижняго балансира; сквозь проушины продѣвается шарниръ, соединяющій обѣ подушки. Другой типъ приспособленія состоитъ въ томъ, что оба балансира надъ окопечностями шарнира обжимаются желѣзнымъ кольцомъ (фиг. 328 *в*, табл. 46), или опускаютъ въ основаніе сквозь опорныя подушки (фиг. 334 *B*, табл. 48) желѣзный штырь, закапчивающійся вверху вилкой съ проушиной, а внизу широкимъ подгаечникомъ и гайкой, завинчиваемой чрезъ оставленный въ каменномъ основаніи горизонтальный ходъ. Въ послѣднемъ типѣ штырь свободно проходитъ между катками (если опора подвижная) и чрезъ

шарниръ балансировъ, при чемъ въ верхнемъ балансирѣ оставлено соотвѣтственное четыреугольное углубленіе; сквозь проушины штыря продѣвается шарниръ, который обхватывается согнутымъ въ видѣ подковы брусковымъ желѣзомъ, объ оконечности котораго обдѣлаиы цилиндромъ и снабжены винтовой нарѣзкой; оконечности подковы проходятъ сквозь отверстія толстой стальной доски, которая въ свою очередь опирается иа полки корытообразиаго желѣза, приклепаннаго съ обѣихъ сторонъ къ парнымъ стѣикамъ ноги. Если пята шаровая, то отливаютъ верхнюю и нижнюю подушку (фиг. 328 *в* (нижняя) и фиг. 328 *д*, табл. 46) съ двойными ребордами въ направленіи перпендикулярномъ къ продольной оси моста; между ребордами обѣихъ подушекъ помѣщаютъ планку, соединенную болтами со стѣн-

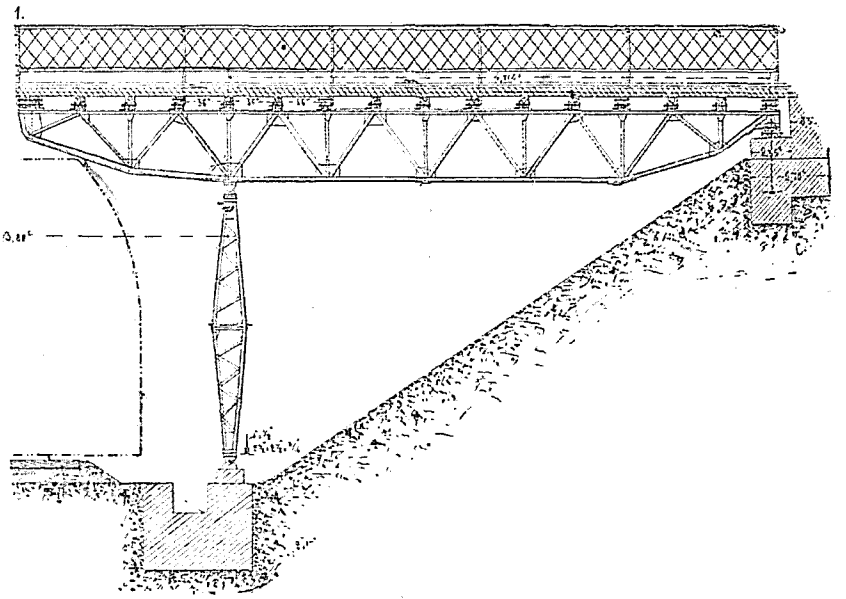


Рис. 595*а*.—Качающіяся опоры путепроводовъ надъ полотномъ Харьково-Балашовской ж. д.

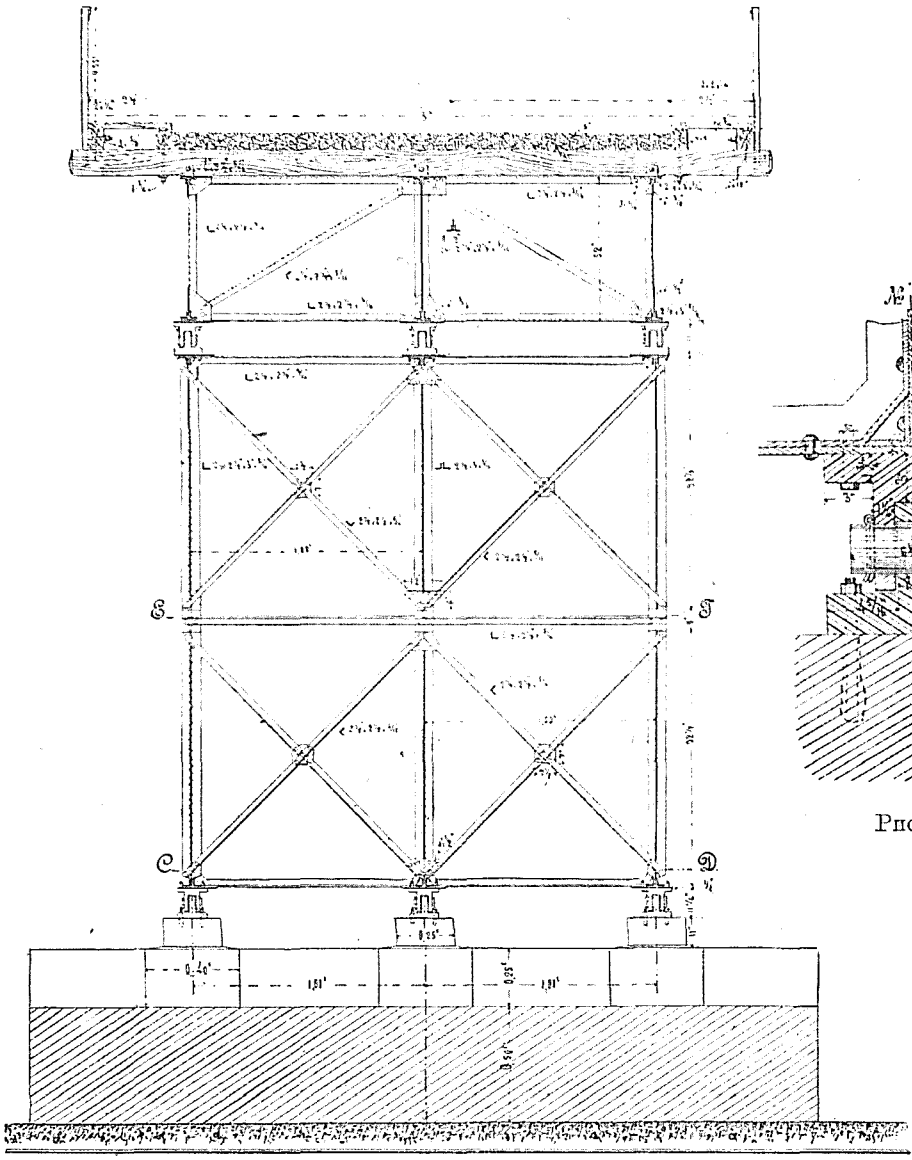
ками реборды. Планка настолько упруга, что не препятствуетъ незначительному колебанію опоры.

Приведемъ описаніе нѣсколькихъ примѣровъ качающихся желѣзныхъ опоръ.

На рис. 595*а*, 595*б*, 595*в* показаны качающіяся опоры металлическихъ путепроводовъ поверхъ полотна Харьково-Балашовской ж. д. Величина каждаго изъ крайнихъ пролетовъ—4,714 с.; ередній пролетъ 3 с., перекрыть двумя свѣшивающимися консолями. Качающіяся опоры высотою 2,3 с. имѣютъ форму бруса равнаго сопротивленія и состоятъ изъ четырехъ уголковъ $2^1/_2 \times 3 \times \frac{5}{16}$ д. попарно связанныхъ рѣшеткой. По ширинѣ путепровода имѣются три стойки на взаимномъ разстояніи 1 с. Для лучшаго сопротивленія опрокидыванію обѣ части балансировъ (верхияго и нижияго) отлиты такъ, что шарниръ вращенія служить вмѣстѣ съ тѣмъ и связью между обоими балансирами. На рис. 596 *в* показана деталь шарнира, при чемъ лѣвая половина рисунка относится къ опорной подушкѣ въ основаніи, а правая половина—къ опорной подушкѣ въ вершинѣ стойки. Общій вѣсъ металла въ опорахъ 777 пуд.; объемъ кладки измѣнялся въ различныхъ путепроводахъ отъ 6,5 до 20 куб. саж.

На фиг. 328, табл. 46 и на рис. 596 изображены качающіяся опоры віадука Solberg въ Норвегіи близъ Thomter. Высота опоръ измѣняется отъ 12 м. до 29 м.,

а величина пролетовъ—отъ 11,5 м. до 20 м. при общей длинѣ въ 144 м. На одномъ устоѣ неподвижная опора, а на другомъ—подвижная; на всѣхъ металлическихъ стойкахъ опорныя подушки неподвижныя, общія для двухъ смежныхъ разрѣзныхъ фермъ. Детали устройства опорной подушки показаны на фиг. 328*г*. А именно къ вершинѣ стойки прикрѣплена восемью болтами чугунная подушка съ четырьмя



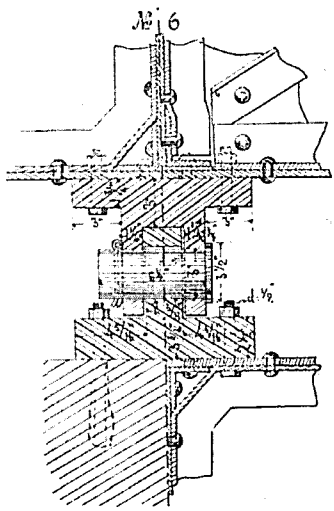


Рис. 595*в*.

Рис. 595*б*.—Поперечный разрѣзъ путепровода надъ полотномъ Харьково-Балашовской ж. д.

вертикальными стѣнками; въ верхней части стѣнокъ сдѣлана выкружка для помѣщенія шарнирнаго болта діаметромъ 80 мм.; чугунная подушка состоитъ изъ двухъ отдѣльныхъ частей съ двумя вертикальными стѣнками; обѣ части связаны внизу общимъ желѣзнымъ листомъ, а по серединѣ—стяжнымъ болтомъ діаметромъ 25 мм пропущеннымъ внутри распорныхъ трубокъ; на верхній шарниръ надѣта треугольная планка, къ которой приклепаны парныя накладки съ отверстіемъ для шарпирнаго соединенія съ нижнимъ (скошеннымъ) поясомъ. Верхній поясъ фермъ состоитъ изъ двухъ полосъ корытообразнаго желѣза, со стыкомъ надъ опорой,

перекрытымъ накладкой. Всѣ опоры имѣютъ уклонъ 1 : 8; взаимное разстояніе вверху—2,2 м., внизу—9,2 м.; по высотѣ онѣ разбиты на четыре панели, три верхнія по 7,71 м., нижнія въ 5 м. Распорки трубчатаго сѣченія изъ четырехъ уголковъ $70 \times 70 \times 8$ мм.; парныя діагонали состоятъ изъ полосового желѣза 75×10 мм. Каждая нога—двутавроваго сѣченія со сквозной стѣнкой; пояса этого сѣченія состоятъ изъ листа 190×13 мм., двухъ уголковъ $90 \times 130 \times 13$ мм. и отъ двухъ до трехъ листовъ 300×15 мм.; стыки листовъ (рис. 596) сгруппированы около узловъ и перекрываются общей накладкой, уширенной въ одну сторону для возможности прикрѣпленія раскосовъ; въ узлахъ сквозная стѣнка замѣнена сплошнымъ листомъ; разстояніе между поясами сквозной стѣнки измѣняется отъ 85 сант. до 110 сант. Сквозная рѣшетка замѣнена вверху и внизу сплошнымъ листомъ и усилена съ каждой стороны листами, расположенными уступами. Внизу листы окаймлены уголками, къ которымъ приклепанъ листъ, опирающійся на верхній балансиръ (фиг. 328 *д* и 328 *в*, табл. 46 нижняя фигура). Опорныя подушки обѣихъ ногъ состоятъ изъ двухъ балансировъ, взаимно соприкасающихся по шаровой поверхности, выпуклой—въ нижнемъ балансирѣ и вогнутой—въ верхнемъ; радіусъ шаровой поверхности: $R = 27$ сант. Каждый изъ балансировъ представляетъ доску съ четырьмя крестообразно расположенными ребордами, одиночными — въ продольномъ направленіи и парными — въ направленіи нормальномъ къ продольной оси; въ мѣстѣ соприкасанія обѣихъ подушекъ сдѣланы утолщенія для образованія шаровой поверхности. Во избѣжаніе опрокидыванія оба балансира связаны двумя параллельными планками, не препятствующими по своей малой толщинѣ изгибу сто-

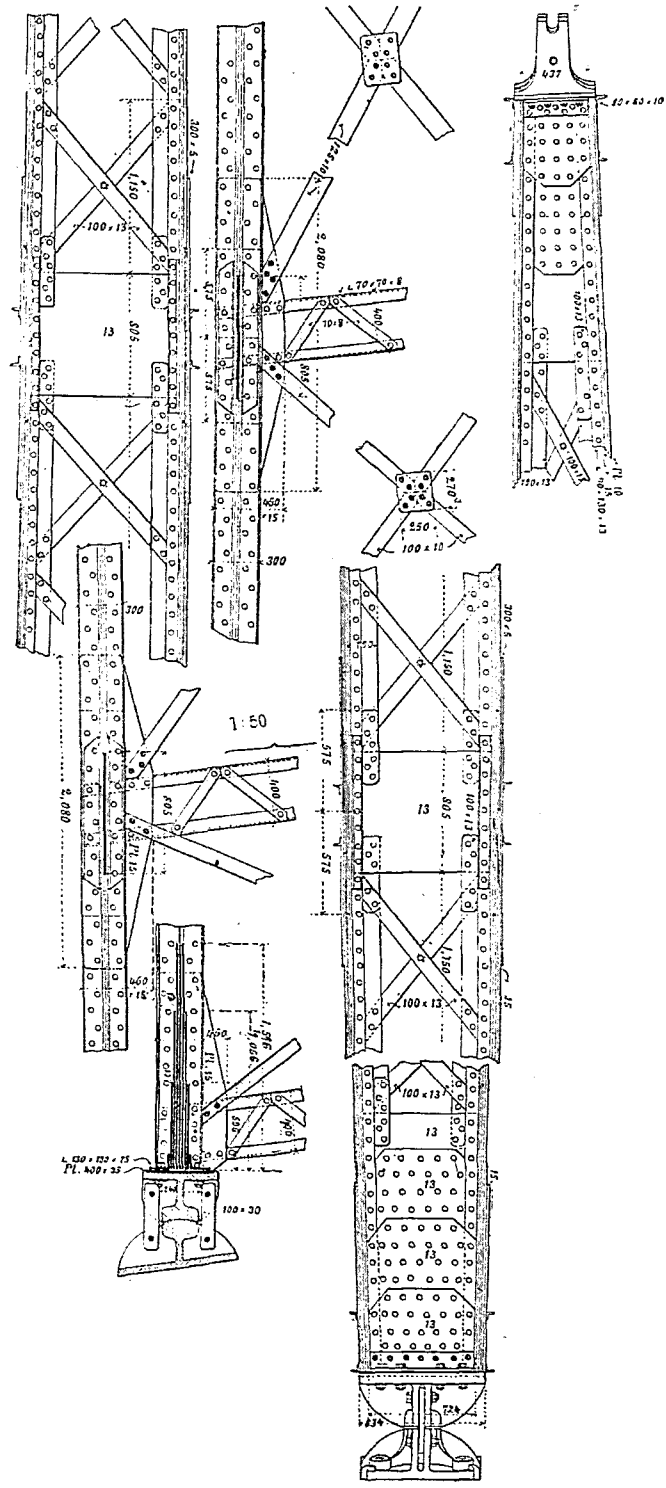


Рис. 596.—Качающіяся опоры віадука Solberg въ Норвегіи.

окъ въ продольномъ направленіи. На рис. 596 показаны нѣкоторыя детали стоекъ.

На фиг. 333, табл. 47 и фиг. 334, табл. 48 показаны детали устройства капители и базы качающейся желѣзной опоры проекта віадука высотою 18 м. при величинѣ отдѣльныхъ пролетовъ въ 35 м. Фермы разрѣзныя и на каждой стойкѣ опоры установлено по двѣ опорныхъ подушки, длиною каждая по 375 мм. Взаимная связь смежныхъ фермъ достигается помощью продольныхъ балокъ, приболченныхъ однимъ болтомъ къ общей поперечной балкѣ (къ оконечностямъ продольныхъ балокъ для увеличенія смятія приклепана планка во всю высоту стѣнки). Верхній поясъ главной фермы крестообразнаго сѣченія; вблизи опоры, вертикальные листы верхняго и нижняго пояса обжимаются двумя накладками съ прокладкой по серединѣ, такъ что на опорѣ имѣется 5 листовъ; кромѣ того вблизи опоры ферма окаймлена вверху и внизу добавочными уголками. Общая поперечная балка опирается на особую, расположенную на двухъ опорахъ подушку-балку; опорами этой подушки-балки служатъ двѣ подушки-опоры съ закраинами и съ цилиндрической выпуклой верхней поверхностью, прикрѣпленныя каждая двумя болтами къ верхнему поясу фермъ; поперечные размѣры этихъ подушекъ 150 × 230 мм., толщина 25 мм. Подушка-балка имѣетъ по концамъ полуцилиндрическія выкружки, нѣсколько бо́льшаго діаметра, чѣмъ болты подушекъ-опоръ; этими выкружками подушка-балка обхватываетъ болты водушекъ-опоръ, въ виду чего и благодаря закраинамъ она не можетъ перемѣщаться. Зазоры въ выкружкахъ и верхняя цилиндрическая поверхность подушекъ-опоръ допускаютъ незначительные незавпсимые прогибы обѣихъ смежныхъ фермъ. Во избѣжаніе поперечнаго сдвига фермъ цилиндрическій шарниръ опорныхъ подушекъ фермъ имѣетъ по серединѣ кольцевой выступъ. Каждая изъ двухъ ногъ опоры состоитъ изъ восьми уголковъ (100 × 100 × × 12 мм.) и четырехъ листовъ, образующихъ два крестообразныхъ сѣченія съ просвѣтомъ между вертикальными листами для помѣщенія плавокъ поперечныхъ связей; оба ребра крестообразнаго сѣченія касаются вплотную въ основаніи (фиг. 334 *C*, табл. 48) и постепенно расходятся къ верху, оставаясь взаимно соединенными распорками и крестами. Въ сѣченіи нормальномъ къ оси моста обѣ стойки (ноги) представляютъ два расходящихся къ низу наклонныхъ ребра, взаимно соединенныхъ распорками изъ четырехъ уголковъ 80 × 80 × 10 мм. и крестами изъ двухъ уголковъ 75 × 75 × 12 мм. Въ послѣдней панели около основанія, для увеличенія устойчивости, ребра имѣютъ перегибъ, такъ что въ основаніи разстояніе между ребрами 9,4 м. Вращеніе опоры возможно лишь въ плоскости параллельной оси моста; одна изъ опорныхъ подушекъ неподвижная, а другая, въ виду значительной длины распорки (9,4 м.), сдѣлана подвижною на шести каткахъ. Какъ въ неподвижной, такъ и въ подвижной подушкѣ верхній балансиръ отлитъ такимъ образомъ, что верхняя его грань нормальна къ направленію ребра стойки въ послѣдней панели. Шарниръ между обѣими балансирными подушками проектированъ діаметромъ 140 мм.; въ обѣихъ опорахъ имѣется по длинѣ шарнира два выступа, препятствующіе поперечному перемѣщенію. Во избѣжаніе сдвига катковъ въ направленіи параллельномъ продольной оси моста, края нижней подушки снабжены привинченными къ ней планками высотою 35 мм. съ выступомъ; для той же цѣли края верхней балансирной подушки также снабжены внизу закраинами. Для увеличенія сопротивленія опрокидыванію—основанія обоихъ реберъ опоры скрѣплены неразрывно съ каменной кладкой, съ пропускомъ связи чрезъ обѣ балансирныя подушки. На фиг. 334, табл. 48 показано это соединеніе въ подвижной опорной подушкѣ. Надъ верхнимъ балансиромъ въ промежуткѣ между двумя вертикальными листами вставленъ еще третій листъ, служащій одновременно вставкой для прикрѣпленія поперечныхъ связей. Къ нижней части опоры, къ парнымъ стѣнкамъ ея прикрѣплено съ обѣихъ сторонъ корытообразное желѣзо, одинъ ярусъ съ внутренней стороны, и по два яруса съ наружной стороны. На полки этого желѣза, приклепаннаго съ внутренней стороны, опирается толстая стальная доска съ отверстіемъ для пропуска цилиндрической оконечности подковообразнаго желѣза. Въ каменную кладку вдѣланъ штырь, закапчивающійся вилкой; штырь этотъ проходитъ послѣдовательно сквозь отверстіе, оставленное въ нижней доскѣ, затѣмъ между двумя катками, сквозь отверстіе въ шарнирѣ и входитъ въ углубленіе, сдѣланное внутри верхняго балансира. Сквозь проушины вилки продѣтъ шарниръ діаметромъ 66 мм. и длиною 500 мм., обхваченный подковой изъ брусковаго желѣза; оконечности вѣтвей подковы обдѣланы въ цилиндръ, снабжены парѣзкой, проходятъ сквозь отверстія въ вышеупомянутыхъ стальныхъ доскахъ и завинчиваются гайкой.

Отверстія въ подушкахъ и въ кладкѣ сдѣланы съ зазоромъ для возможности незначительнаго перемѣщенія основанія опоры отъ измѣненія температуры.

Изъ числа другихъ высокихъ віадуковъ съ качающимися опорами слѣдуетъ указать на віадукъ въ долинѣ Lyse въ Норвегіи (рис. 597*а*) длиною 184 м. при наибольшей высотѣ въ 31 м. (2 про-

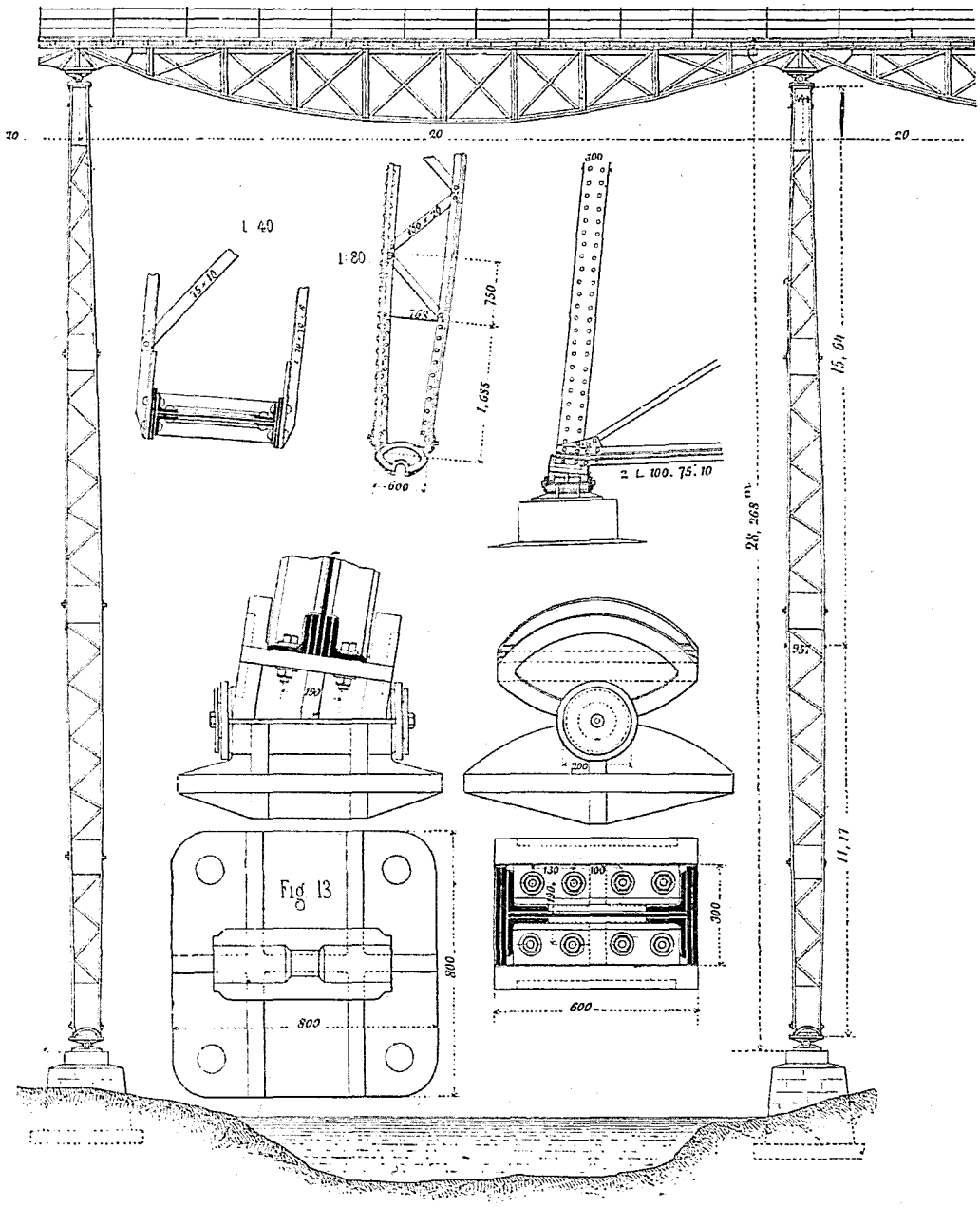


Рис. 597*а*.—Качающіяся опоры віадука черезъ долину Lyse въ Норвегіи.

лета по 10 м., 6—по 12 м., 2—по 16 м., 3—по 20 м.); на віадукъ черезъ ручей Haaböl въ Норвегіи длиною 176 м. при наибольшей высотѣ 27 м., а также на віадукъ Oschütz въ Саксоніи. Послѣдній віадукъ длиною 185 м., наибольшій пролетъ 36 м., наибольшая высота 28 м.; всего 6 пролетовъ, три большихъ пролета отдѣлены отъ трехъ малыхъ каменнымъ быкомъ, такъ что всего четыре качающіяся опоры.

На рис. 597 *а* и 597 *б* показаны фасадъ одного изъ пролетовъ віадука въ долинѣ Lyse, сѣченіе стоекъ, деталп нижней опорной подушки и деталь прикрѣпленія параболическихъ фермъ къ

общей опорной подушкѣ, при чемъ фермы связаны только болтами при разъединенныхъ вертикальныхъ и горизонтальныхъ листахъ. Въ поперечномъ направленіи разстоянія между наклонными стойками вверху 2,5 м., внизу — 9,24 м. при расчетной высотѣ въ 26,81 м. Каждая изъ нихъ состоитъ изъ двухъ поясовъ, связанныхъ одиночной системой раскосовъ. Пояса состоятъ изъ двухъ уголковъ $130 \times 130 \times 10$ мм. и двухъ листовъ 300×12 мм.; въ узлахъ сквозная рѣшетка замѣнена листомъ; ширина стойки измѣняется отъ 444 мм. въ вершинѣ до 957 мм. по серединѣ высоты; распорки состоятъ изъ четырехъ уголковъ, связанныхъ рѣшеткой; раскосы плоскіе 150×13 мм.; верхній и нижній балансиръ связаны въ концѣ желѣзнымъ кольцомъ для сопротивленія опрокидыванію (см. лѣв. верхн. фиг. 328*в*, табл. 46); нижняя подушка отлита съ ребордами на нижней грани; верхній балансиръ имѣетъ по бокамъ выступы, препятствующіе сдвигу.

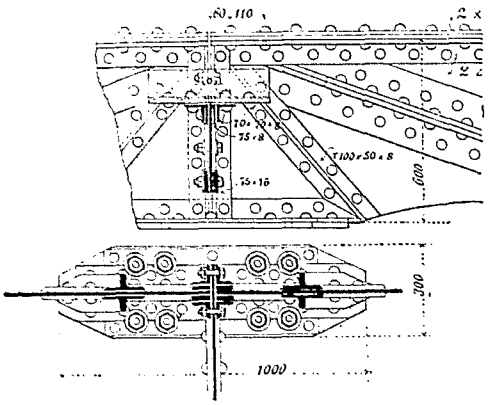


Рис. 597б.—Деталь взаимнаго соединенія фермъ віадука черезъ долину Lyse.

Металлическія свайныя опоры. — Общее описаніе.—Размѣры и сращиваніе звеньевъ чугунныхъ свай.—Наконечники.—Завинчиваніе свай.—Погруженіе свай нагнетаніемъ струи воды; пріемъ Pott'a.—Примѣры. — Желѣзныя сваи. — Сплошныя завинчиваемыя сваи.—Примѣры опоръ.—Забиваемыя желѣзныя сваи.—Примѣры опоръ.

Металлическія свайныя опоры. — Общее описаніе. Свайная металлическая опора въ зависимости отъ величины пролета и высоты опоръ состоитъ изъ одного, двухъ или болѣе поперечныхъ рядовъ свай; число свай въ ряду зависитъ отъ ширины моста, отъ допускаемой нагрузки на сваю и отъ типа моетовыхъ фермъ; при значительной высотѣ кромѣ коренныхъ свай ставятся еще откосныя; смежныя сваи соединяются поперечными связями (фиг. 267 и фиг. 269, табл. 36); на вершины свай надѣваются особые оголовки, на которые опираются прогоны или фермы моста.

Для прикрѣпленія связей къ чугуннымъ сваямъ дѣлаютъ въ опредѣленныхъ мѣстахъ вертикальныхъ приливовъ вырубки для помѣщенія хомута изъ полосового желѣза, съ которымъ уже соединяются діагональныя связи, какъ это напр. сдѣлано въ опорахъ мостовъ конножелѣзныхъ дорогъ въ С.-Петербургѣ, или же связи прикрѣпляются къ особымъ планкамъ, приклепаннымъ или приболченнымъ къ вертикальнымъ приливамъ, или онѣ прикрѣпляются къ горизонтальнымъ флянцамъ или къ особымъ ушкамъ, сдѣланнымъ около сроста свай (фиг. 269, табл. 36). Въ желѣзныхъ сплошныхъ сваяхъ связи прикрѣпляются къ натяжнымъ полосовымъ хомутамъ, помѣщаемымъ въ углубленіяхъ, проточенныхъ на поверхности свай; если желѣзная свая полая, составленная напр. изъ квадрантовъ, то связи приклепываются къ планкамъ, зажатымъ между полками квадрантовъ и пр. На рѣкахъ съ сильнымъ ледоходомъ металлическія свайныя опоры не примѣнимы или въ крайнемъ случаѣ должны быть защищены солидными ледорѣзами. Сваи, въ особенности при тонкихъ стѣнкахъ, заполняются иногда бетономъ на цементномъ растворѣ при небольшихъ колебаніяхъ температуры, а въ противномъ случаѣ—асфальтовымъ бетономъ.

Въ мягкіе грунты металлическія сваи завинчиваются или погружаются путемъ вымыванія грунта нагнетаніемъ струи воды; въ крѣпкіе же грунты онѣ забиваются; въ первомъ случаѣ употребляются *чугунныя* или же *желѣзныя* сваи, во второмъ случаѣ—почти исключительно *желѣзныя*. Впрочемъ, въ Англіи примѣнено присно-

собленіе для забивки чугунныхъ свай, состоящее въ томъ, что трубчатая свая въ нижнемъ концѣ дѣлается сплошною, баба опускается внутрь сваи такъ, что она ударяется объ нижнюю сплошную часть, которая безопасно выдерживаетъ удары. На выборъ между чугунными или желѣзными сваями, помимо финансовыхъ соображеній, вліяютъ еще и мѣстныя условія. Такъ напр. въ соленой морской водѣ чугунныя сваи, въ особенности изъ бѣлаго чугуна, не подвергающіяся ржавчинѣ, имѣютъ рѣшительное предпочтеніе; съ другой стороны высокія свайныя опоры, подвергающіяся изгибу отъ дѣйствія вѣтра, безопаснѣе устраивать изъ желѣзныхъ свай или въ крайнемъ случаѣ часть опоры ниже поверхности грунта составлять изъ чугунныхъ свай, а верхнюю часть дѣлать желѣзною.

Размѣры и сращиваніе звеньевъ чугунныхъ свай. Наименьшій діаметръ чугунныхъ свай составляетъ 10″—12″ и доходитъ до 3 ф.; существуютъ, впрочемъ, единичные примѣры, гдѣ діаметръ свай значительно болѣе; такъ напр. въ опорахъ моста Nesbor въ Румыніи діаметръ свай 5 ф. при діаметрѣ винтовой лопасти въ 6 ф., и въ опорахъ моста Chepstow, построеннаго Брунелемъ, діаметръ свай 6 ф. Съ увеличеніемъ діаметра завинчиваніе при открытыхъ внизу сваяхъ затрудняется лишь незначительно; съ другой стороны возрастаетъ сопротивленіе сваи излому и скручиванію, увеличиваются площадь передачи давленія и треніе на боковой поверхности. Толщина стѣнки измѣняется отъ $^{7}/_{8}$″ до 2″. Длина отдѣльныхъ звеньевъ измѣняется отъ 6 ф. до 35 ф.

Сращиваніе и взаимное соединеніе звеньевъ дѣлается весьма разнообразно; такъ, одинъ изъ пріемовъ указанъ на фиг. 265, табл. 36: конецъ одного звена на протяженіи 10″ — 12″ отливается меньшаго діаметра, и величина уступа дѣлается равной толщинѣ стѣнки, такъ что наружный діаметръ утоненнаго конца равенъ внутреннему нормальному діаметру; конецъ этотъ вставляется внутрь другого звена, уступъ упирается на края слѣдующаго звена и слѣдовательно наружныя поверхности сроста сливаются; вмѣсто утоненія можно одно звено заканчивать раструбомъ (фиг. 270, табл. 37) и въ срость вставить горизонтальный винтъ; соединеніе можетъ быть сдѣлано также помощью муфты (фиг. 266) или ввинчиваніемъ оконечности одного звена въ другое, съ пропускомъ винта въ мѣстѣ сроста, а также помощью внутреннихъ или наружныхъ флянцевъ, усиленныхъ вертикальными приливами и связанныхъ (фиг. 268) вертикальными болтами. Употребляется иногда и такой пріемъ: стѣнки звеньевъ въ мѣстѣ сроста утоняются на высоту 1 д. на половину своей толщины, при чемъ въ нижнемъ звенѣ утоненіе дѣлается съ внутренней стороны, а въ верхнемъ—съ наружной; около краевъ сроста въ четырехъ мѣстахъ имѣются утолщенія, въ видѣ нормальныхъ къ оси сваи полуцилиндровъ, наростовъ; при наращиваніи звенья ставятся такъ, чтобы одно полуцилиндрическое утолщеніе приходилось противъ другого и образовало полный цилиндръ, который обжимается желѣзнымъ раскаленнымъ кольцомъ, препятствующимъ разъединенію и независимому вращенію звеньевъ. Если примѣняется типъ сращиванія флянцами и сросты приходятся послѣ завинчиванія ниже поверхности грунта, то при твердыхъ грунтахъ не слѣдуетъ примѣнять наружные флянцы, и нижній открытый конецъ сваи слѣдуетъ дѣлать при этомъ такого діаметра, чтобы онъ соотвѣтствовалъ внутреннему діаметру, уменьшенному флянцами, иначе произойдетъ заѣданіе грунта. При слабыхъ грунтахъ считаютъ предпочтительнымъ дѣлать наружные флянцы, такъ какъ грунтъ свободно раздается въ сторону, между тѣмъ какъ при внутреннихъ флянцахъ, особенно въ сваяхъ малаго діаметра, затруднительно извлекать грунтъ, задерживаемый выступами.

Наконечники.—Завинчиваніе свай. Нижняя часть сваи снабжается винтовыми лопастями, расположенными на конической поверхности (фиг. 265), или лучше, для уменьшенія сопротивленія при завинчиваніи, на цилиндрической поверхности (фиг. 266); въ послѣднемъ случаѣ свая внизу открыта, при чемъ полезно нижнее отверстіе дѣлать меньшаго діаметра по сравненію съ внутреннимъ діаметромъ сваи для того, чтобы при завинчиваніи вступающій въ сваю грунтъ не могъ прилипать къ внутренней поверхности и затруднять этимъ завинчиваніе; если имѣются внутренніе фланцы, то, какъ сказано выше, слѣдуетъ взять въ разсчетъ внутренній діаметръ, уменьшенный на ширину фланцевъ. Съ тою же цѣлью снабжаютъ иногда внутреннюю поверхность небольшими винтовыми выступами. При крѣпкихъ грунтахъ конецъ открытой внизу сваи снабжается иногда выпуклымъ ножемъ, рѣзакомъ, представляющимъ въ планѣ букву *S* и укрѣпляемымъ по направленію діаметра.

Діаметръ и число оборотовъ лопасти зависятъ отъ рода грунта и допускаемаго давленія на грунтъ. Обыкновенно въ слабыхъ грунтахъ діаметръ лопастей дѣлается больше и составляетъ около 1,5 м съ небольшимъ подъемомъ хода винта около 20°—30° и при одномъ лишь оборотѣ; для крѣпкихъ грунтовъ діаметръ лопастей уменьшается, крутизна хода увеличивается до 30°—35°, равнымъ образомъ увеличивается и число оборотовъ. При глубоко завинчиваемыхъ сваяхъ полезно дѣлать двѣ отдѣльныя нити винтовыхъ ходовъ по подобіе пароходныхъ винтовъ. Толщина лопастей уменьшается по мѣрѣ приближенія къ краю; при діаметрѣ около 1 м., толщина лопасти около стѣнки сваи дѣлается въ 40—50 мм. По изслѣдованіямъ Brunlees'a, произведеннымъ при постройкѣ Кентскаго віадука, на песчаный грунтъ можетъ быть допущено давленіе въ 300 пуд. на кв. фут. поверхности лопастей. Въ чугунныхъ сваяхъ Кенигсбергскаго моста, завинченныхъ на глубину 10 фут. въ песчано-глинистый грунтъ, допущено давленіе въ 160 пуд. на кв. ф. поверхности лопастей. По Rankine, при глубинѣ завинчиванія отъ 20 до 45 ф. на каждый кв. дюймъ диска можетъ быть допущена нагрузка отъ 2,5 до 5 пуд.

Завинчиваніе свай производится или людьми, стоящими на особомъ помостѣ, или механически—паровымъ или инымъ двигателемъ. Для сего на сваю надѣвается дискъ—воротникъ (фиг. 265, таб. 36), закрѣпляемый на любой высотѣ сваи. Внѣшняя окружность диска снабжена особыми выемками, или перегородками, куда вставляются аншпуги, приводимые въ движеніе людьми или какимъ-либо двигателемъ.

Быстрота завинчиванія находится въ зависимости отъ рода грунта, размѣровъ сваи и лопастей, а также отъ способовъ завинчиванія — ручного или механическаго. Такъ, напр. чугунная свая опоръ моста въ Кенигсбергѣ, длиною 9,5 м., при внѣшнемъ и внутреннемъ діаметрахъ въ 79 сан. и 73 сан., при діаметрѣ лопастей въ 1,57 м., завинчивалась 16-ю рабочими въ теченіе 6 дней на глубину 5,9 м.; грунтъ состоялъ изъ песку вверху и глины въ нижнихъ слояхъ.

При сооруженіи элеватора въ Бременѣ на завинчиваніе свай съ діаметромъ лопастей въ 1 м., на каждый 1 м. погруженія было употреблено въ среднемъ 3,76 рабочихъ дня (при благопріятныхъ условіяхъ на 6 м. завинчиванія требовалось 1,7 рабочихъ дня, а при неблагопріятныхъ— на 5 м. расходовалось 9,1 рабочихъ дня). Стоимость 1 м. завинчиванія обошлось въ 11,28 мар. или около 6 руб. Каждая свая завинчивалась 20 рабочими, при длинѣ аншпуговъ въ 5,4 м. При завинчиваніи употреблялось два типа закрытыхъ снизу острыхъ наконечниковъ—одинъ съ лопастями въ два оборота при наибольшемъ діаметрѣ въ 0,5 м. и другой съ лопастями въ одинъ оборотъ съ діаметромъ въ 1 м.

Результаты быстроты завинчиванія оказались слѣдующіе:

Наконечникъ съ лопастями въ два оборота и діаметромъ въ 0,5 м.			Наконечникъ съ лопастями въ одинъ оборотъ и діаметромъ 1 м.		
Глубина завинчиванія.	Употреблено времени.	Глубина завинчиванія при каждомъ полномъ поворотѣ.	Глубина завинчиванія.	Употреблено времени.	Глубина завинчиванія при каждомъ полномъ поворотѣ.
—	—	1—0,07	0,5 м.	8 мин.	1—0,07
1 м.	6 мин.	2—0,03	1,0 „	15 „	2—0,067
1 „	8 „	3—0,06	1,0 „	19 „	3—0,05
1 „	9 „	4—0,07	1,0 „	27 „	4—0,02
1 „	13 „	5—0,075	1,0 „	35 „	5—0,015
1 „	25 „	6—0,08	1,0 „	50 „	6—0,017
—	—	7—0,065	1,0 „	60 „	7—0,025
—	—	8—0,07	—	—	8—0,030
—	—	9—0,065	—	—	9—0,020
—	—	10—0,075	—	—	10—0,020

Для большаго успѣха завинчиванія въ твердыхъ грунтахъ пользуются иногда искусственной нагрузкой свай.

Погруженіе свай нагнетаніемъ струи воды. — *Пріемъ Pott'a.* Въ несчаныхъ грунтахъ находятъ удобнѣе погружать колонны въ грунтъ нагнетаніемъ струи воды внутрь цилиндра съ значительнымъ выигрышемъ времени и расходовъ; для сего нижнее звено заканчиваютъ плоскимъ или коническимъ днищемъ съ небольшимъ отверстіемъ дюйма въ 2—3; въ это отверстіе вставляется желѣзная трубка, соединенная съ нагнетательнымъ насосомъ. Если впустить струю воды подъ значительнымъ давленіемъ, отъ 2 до 4 атм., то вода, выступая внаружу изъ-подъ нижнихъ краевъ цилиндра, разрыхляетъ и выноситъ грунтъ, и свая опускается подъ вліяніемъ собственнаго вѣса, увеличиваемаго иногда постороннею нагрузкой. Въ данномъ случаѣ количество нагнетаемой воды имѣетъ болѣе существенное значеніе, чѣмъ скорость; весьма полезно постоянно вращать сваю во время погруженія, чтобы избѣжать присасыванія грунта. Этотъ способъ погруженія свай имѣетъ въ настоящее время въ Америкѣ большое распространеніе.

На рис. 598 изображено погруженіе вышеуказаннымъ путемъ чугунныхъ колоннъ, примѣненное Brunlees'омъ (1853 г.) при сооруженіи Левенскаго віадука. Колонны діаметромъ 9 д. при толщинѣ стѣнки въ $^3/_4$ д. заканчивались внизу дискомъ діаметромъ 18 д., снабженнымъ въ центрѣ коническимъ острымъ утолщеніемъ съ отверстіемъ въ $2^1/_2$ д. Внутри колонны была вставлена желѣзная трубка, соединенная гибкой трубой съ насосомъ, доставлявшимъ воду подъ большимъ давленіемъ. Колонна подвѣшивалась къ козламъ и во время нагнетанія воды непрерывно приводилась въ легкое движеніе. Какъ только колонна была погружена на необходимую глубину, она немедленно закрѣплялась. На погруженіе колонны на 15 ф. — 20 ф. требовалось не болѣе 20—30 мин. Подобнымъ же пріемомъ были погружены чугунныя сван прежнихъ опоръ Тэйскаго моста въ Шотландіи.

Въ глинистыхъ грунтахъ также примѣняется этотъ способъ погруженія, при чемъ наружную поверхность днища снабжаютъ радіальными выступами для того, чтобы при поворачиваніи сваи около ея вертикальной оси разрыхлять грунтъ и способствовать этимъ уносу его струею воды.

При погруженіи въ песчаные и иловатые грунты, кромѣ описаннаго способа употребляется еще способъ Pott'a, основанный на использованіи атмосфернаго давленія. Вершина сваи соединяется помощью гибкой трубы съ резервуаромъ, изъ котораго можетъ быть выкачиваемъ воздухъ. Закрывъ клапанъ въ верхнемъ концѣ соединительной трубы и выкачавъ воздухъ изъ резервуара, открываютъ клапанъ; тогда, давленіемъ наружнаго воздуха, вода вмѣстѣ съ грунтомъ устремляется внутрь сван, въ соединительную трубу и въ резервуаръ. Этотъ послѣдній обыкновенно помѣщается на баркѣ и имѣетъ откидное дно для выбрасыванія грунта. Отдѣльные резервуары употребляются въ томъ случаѣ, если діаметръ свай не великъ.

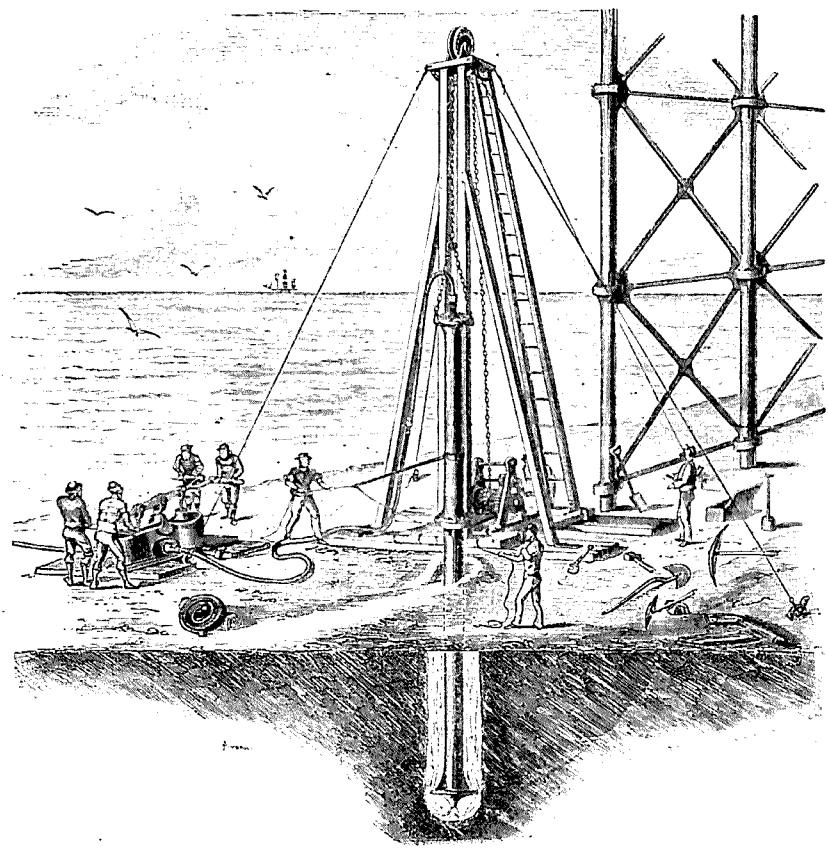


Рис. 598.—Погруженіе чугунныхъ свай нагнетаніемъ струи воды.

Въ противномъ случаѣ воздухъ выкачивается только изъ сваи, изъ которой обыкновеннымъ путемъ извлекается песокъ, вошедшій въ сваю вмѣстѣ съ водой. Этотъ пріемъ оказался довольно дорогимъ и не получилъ широкаго примѣненія.

Примѣры. На фиг. 265, табл. 36, показаны чугунныя сваи, употреблеиныя на Кіево-Брестской и Моршанско-Сызранской желѣзныхъ дорогахъ для опоръ мостовъ съ отдѣльными пролетами по 0,75 саж., перекрытыхъ деревянными прогонами при высотѣ насыпи не болѣе 1,5 саж. Длина звена около 0,80 сажени; по всей высотѣ звена имѣются два вертикальныхъ прилива, для того, чтобы надѣваемый при завинчиваніи дискъ не могъ вращаться независимо отъ сваи; (для удобства завинчиванія вертикальные приливы не слѣдовало бы дѣлать въ звеньяхъ ниже поверхности грунта). Каждое звено имѣетъ на нижнемъ концѣ сѣченіе вида MN (фиг. 265, таб. 36) съ двумя шпунтами, а на верхнемъ вида FG съ двумя выступами.

Для завинчиванія свай употреблялся особый дискъ-воротникъ *k* (фиг. 265) съ нѣсколькими отдѣленіями для помѣщенія концовъ аншпуговъ. Надѣвъ дискъ на сваю и заклинивъ его деревянными клиньями, вставляли деревянные аншпуги, помощью которыхъ и производилось завиичиваніе рабочими, стоявшими на особомъ помостѣ.

Когда одно звено было завинчено, свая наращивалась слѣдующимъ звеномъ такъ, чтобы продольныя выемки, шпунты, въ нижней части приходились противъ внутреннихъ выступовъ, гребней, верхней части завинченнаго звена; дискъ для завинчиванія передвигался на верхнее звено, и завиичиваніе продолжалось, при чемъ, благодаря выступамъ и шпунтамъ, вращательное движеніе верхияго звена передавалось нижнему и т. д.

Къ нижнему концу перваго звена до завинчиванія приклепывалась или привинчивалась короткая цилиндрическая часть, заканчивающаяся конусомъ, на поверхности котораго отлиты винтовыя лопасти *m* (фиг. 265). Послѣ того, какъ свая была завинчена на достаточную глубину, наставляли слѣдующія звенья, которыя иногда соединялись въ стыкахъ болтами. На верхнюю часть послѣдняго звена поставлена особая подушка *l*, показанная на фиг. 265, въ которую вставлялся прогонъ мостового пролета. Въ виду того, что въ этомъ типѣ сван заканчиваются конусомъ, то завиичиваніе производилось успѣшно только въ слабыхъ грунтахъ; въ песчаныхъ грунтахъ при значительномъ треніи свая не могла быть завинчена на достаточную глубину и здѣсь умѣстнѣе были бы сваи съ открытымъ цилиндрическимъ наконечникомъ.

На фиг. 266 показанъ другой способъ соединенія чугунныхъ свай съ приспособленіемъ для завинчиванія.

На фиг. 267 показанъ типъ быка изъ двухъ рядовъ чугунныхъ свай; въ верхней части для огражденія отъ ударовъ плавающихъ тѣлъ сван защищены деревянной обшивкой, покрытой желѣзомъ. По высотѣ сван соединены связями, прикрѣпленными помощью водолазовъ.

Въ мостахъ, которые на зиму разбираются, какъ напримѣръ въ мостахъ, ведущихъ къ пристанямъ, нижняя постоянная часть опоръ дѣлается изъ чугунныхъ свай, не выступающихъ изъ-за поверхности дна, а верхняя съемная часть состоитъ изъ обыкновенной желѣзной раскосной надстройки. На фиг. 268 показаны подобныя опоры моста, построеннаго на пристани въ Nodefney. Длина моста 87,6 м. и ширина 2,34 м. Пролеты измѣняются отъ 5,11 м. = 17 ф. до 20,45 м.; опоры малыхъ пролетовъ состоятъ изъ одиночнаго ряда свай, а большихъ пролетовъ изъ двойного рядасвай. Длина чугунныхъ завинченныхъ свай 2,92 м., при внѣшнемъ діаметрѣ въ 29,2 сант. и при толщинѣ въ 2,4 сант. Сван внизу открыты; для образованія лопастей приклепаны были къ сваѣ по винтовой линіи уголки, и къ нимъ приклепано листовое желѣзо толщиною 1 сант. при діаметрѣ лопасти въ 73 сант. Вершина свай перекрыта привинченнымъ металлическимъ дискомъ съ тремя выступами, въ которыхъ сдѣланы отверстія для пропуска горизонтальныхъ болтовъ. Верхняя желѣзная съемная часть опоры состоитъ изъ металлической раскосной рамы; къ нижней части наклонныхъ реберъ приклепана желѣзная толстая планка, заканчивающаяся цилиндрическимъ утолщеніемъ съ двумя отверстіями для пропуска болтовъ; при установкѣ цилиндрическое утолщеніе помѣщается между выступами диска и закрѣпляется болтами.

На фиг. 269 показанъ типъ опоры изъ чугунныхъ завинченныхъ колоннъ, примѣненный на индійскихъ желѣзныхъ дорогахъ, при пролетахъ до 70 ф. Три коренныя колонны на взаимномъ разстояніи 14 ф. поддерживаютъ три фермы подъ два пути; крайнія колонны для приданія большей устойчивости подперты откосными наклонными сваями. При высотѣ не болѣе 9 саж. употребленъ одинъ поперечный рядъ свай, при высотѣ до 20 саж.—два ряда, при высотѣ до 30 саж.—три ряда. Завиичиваніе свай достигаетъ глубины 20 ф. Толщина стѣнокъ колоннъ 1 дюймъ; внутреиній діаметръ: 2 фута 4 дюйма; высота звеньевъ: 9 фут.; соединеніе сдѣлано

болтами въ горизонтальныхъ флянцахъ. Въ тѣхъ звеньяхъ, которыя должны быть въ землѣ, флянцы сдѣланы внутри сваи (деталь *A*), а въ звеньяхъ выше поверхности земли флянцы отлиты съ внѣшней стороны (деталь *C*). Поверхность взаимнаго соприкасанія флянцевъ гладко остругана. Распорки и діагональныя связи соединяются съ особыми парными приливами около стыковъ сваи. Откосныя сваи соединяются съ вертикальными помощью особой короткой трубы (патрубка), обжимающей вертикальную сваю лишь на протяженіи полуокружности; въ вертикальныхъ стѣнкахъ трубы и сваи сдѣланы въ нѣкоторыхъ мѣстахъ четырехъ-дюймовые прорѣзы, сквозь которые пропущены клинья, служащіе для передачи вертикальнаго давленія. Такъ какъ поверхность соприкасанія наклонной трубы и вертикальной сваи довольно значительна, то, во избѣжаніе дорогого остругиванія всей этой поверхности, по верхнему и нижнему ребру сдѣланы небольшія утолщенія, которыя только и подвергались остругиванію для плотнаго соприкасанія, а въ остальной части остается небольшой промежутокъ. Края верхняго звена наклонной сваи упираются въ особые приливы, сдѣланные на внутренней поверхности короткой трубы. Во избѣжаніе необходимости остругиванія значительной поверхности и здѣсь, въ мѣстахъ соприкасанія, вездѣ сдѣланы небольшіе приливы; короткая труба имѣетъ въ концѣ флянецъ, соотвѣтствующій уголку, привинченному къ наклонной сваѣ; сквозь флянецъ и одну полку уголка пропущены короткіе болты. Распорки связей состоятъ изъ тавроваго желѣза, а діагонали — изъ углового; распорки прикрѣпляются къ колоннамъ болтами, продѣтыми въ проушины парныхъ приливовъ около стыковъ, при чемъ ребро тавра въ этомъ мѣстѣ снято; діагонали соединены съ проушинами въ одномъ концѣ болтомъ, въ другомъ — клиньями, что позволяетъ достигнуть должной натянутости.

На рис. 599 показаны чугунныя опоры желѣзнодорожнаго моста въ Тавастгустѣ въ Финляндіи. Величина пролетовъ 12,47 м.; наибольшая глубина воды — 9 м. Грунтъ состоитъ изъ ила вверху и песка въ нижнихъ слояхъ. Каждая опора состоитъ изъ двухъ свай діаметромъ 0,74 м., толщиною отъ 18 до 24 мм., на взаимномъ разстояніи въ 2,345 м. Верхняя часть опоры состоитъ изъ цилиндрической надставки діаметромъ 0,594 м., толщиною 15 мм. съ внутренними флянцами; верхняя часть соединяется съ нижней помощью низкой базы. Нижняя часть состоитъ изъ звеньевъ высотою 1,931 м., съ наружными флянцами и четырьмя вертикальными приливами. Сваи открыты внизу и снабжены винтовымъ наконечникомъ діаметромъ 1,485 м.; толщина винтовыхъ лопастей въ корневой части 104 мм.; высота хода 175 мм. Выше поверхности воды сваи связаны андреевскимъ крестомъ, приклепаннымъ къ уголкамъ, приболченнымъ въ свою очередь длинными сквозными болтами къ стѣнкѣ верхней части колонны. Для защиты отъ ледохода опора окружена ряжевымъ ящикомъ въ формѣ растянутаго шестиугольника съ тремя поперечными стѣнками. Крайніе участки ящика заполнены камнемъ, а въ двухъ среднихъ помѣщаются сваи. Предварительно были опущены ряжи; вычерпываніемъ грунта изъ двухъ среднихъ участковъ и искусственной нагрузкой ряжи углублены въ грунтъ. Затѣмъ приступили къ завинчиванію свай; на сваю надѣвался составленный изъ 4 сегментовъ дискъ—воротникъ съ двѣнадцатью аншпугами длиной по 6 м.; концы аншпуговъ были обдѣланы вилкою и взаимно соединены круглымъ желѣзомъ. Въ дискѣ были сдѣланы въ четырехъ мѣстахъ выемки, соотвѣтствующія наружнымъ вертикальнымъ приливамъ въ сваяхъ, такъ что онъ могъ свободно перемѣщаться по сваѣ. Въ вилкообразныя оконечности аншпуговъ были вложены два толстыхъ каната въ противоположныхъ направленіяхъ; одинъ конецъ каждаго каната былъ прикрѣпленъ къ вилкамъ аншпуговъ, а другіе концы къ двумъ воротамъ, снабженнымъ тремя аншпугами длиною по 3 м. Первоначально на каждомъ воротѣ стояло по два рабочихъ, а при концѣ завинчиванія по 8 рабочихъ; завинчиваніе прекращалось, когда послѣ каждаго оборота свая погружалась на нѣсколько миллиметровъ. Для облегченія завинчиванія, наружная поверхность свай между флянцами и приливами была обшита гладко обструганными досками. Внутренность колоннъ заполнена бетономъ; но благодаря различію въ коэффиціентѣ расширенія бетона и чугуна мѣстами

показались трещины, и пришлось поставить бандажи. Ряжи оказались, по прошествіи нѣкотораго времени, подмытыми, держались треніемъ около свай и не опускались внизъ. Оказалось необходимымъ забить шпунтовый рядъ и водолазами заполнить бетонныя пустоты. Верхъ ряжей поверхъ каменной наброски обдѣланъ каменной кладкой.

На фиг. 270, табл. 37, показана опора Кентскаго віадука, колонны которой погружены были нагнетаніемъ струи. Низъ нижняго звена отлитъ въ видѣ диска съ отвер-

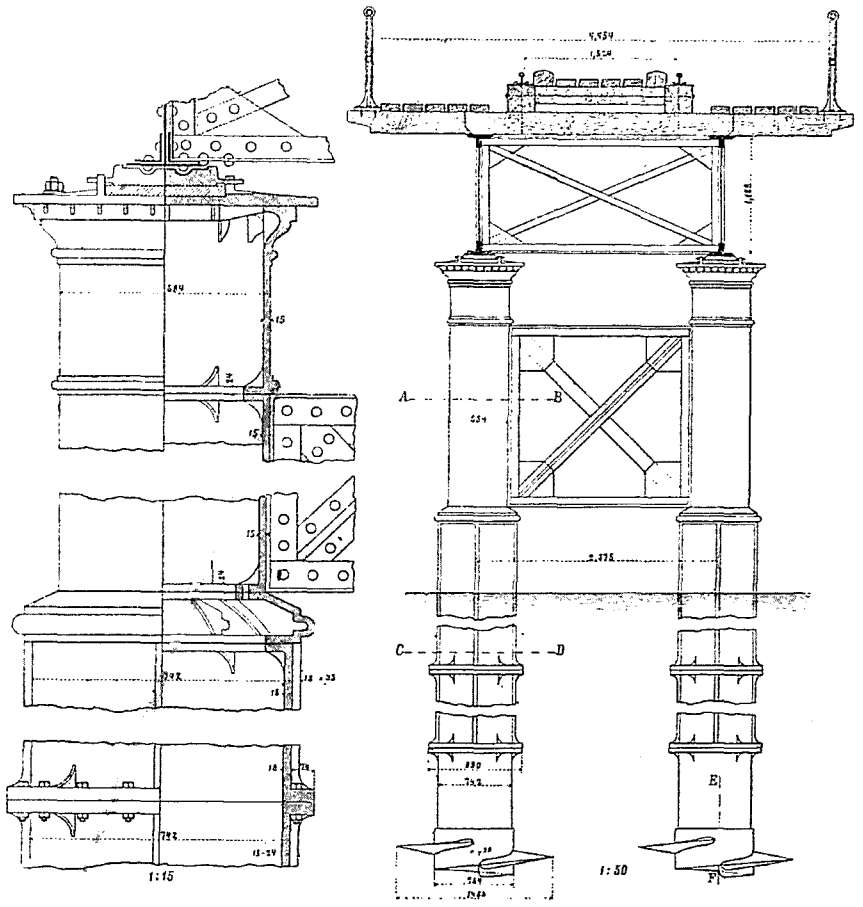


Рис. 599.—Чугунныя опоры желѣзнодорожнаго моста въ Тавастгустѣ (въ Финляндіи).

стіемъ по серединѣ, съ радіальными выступами и приливами для увелнченія сопротивленія диска тизгибу. При сопряженіи звеньевъ примѣнено два пріема: помощью раструба съ горизональными болтами и помощью горизонтальныхъ наружныхъ флянцевъ съ вертикальными болтами. Примѣненіе одновременно обоихъ пріемовъ вызвано тѣмъ, что первый пріемъ соединенія допускаетъ обрѣзку звеньевъ въ зависимости отъ той или иной глубины погруженія и, слѣдовательно, соединеніе раструбомъ въ одномъ изъ среднихъ звеньевъ позволяетъ расположить въ одномъ уровнѣ верхнія звенья и верхній стыкъ, около котораго помѣщены связи. Вершина верхняго звена закапчивается площадкой съ кронштейнами и закраинами; въ площадкѣ сдѣланы отверстія для прикрѣпленія поясовъ металлическихъ фермъ. Діагональныя связи расположены по обѣ стороны верхняго стыка

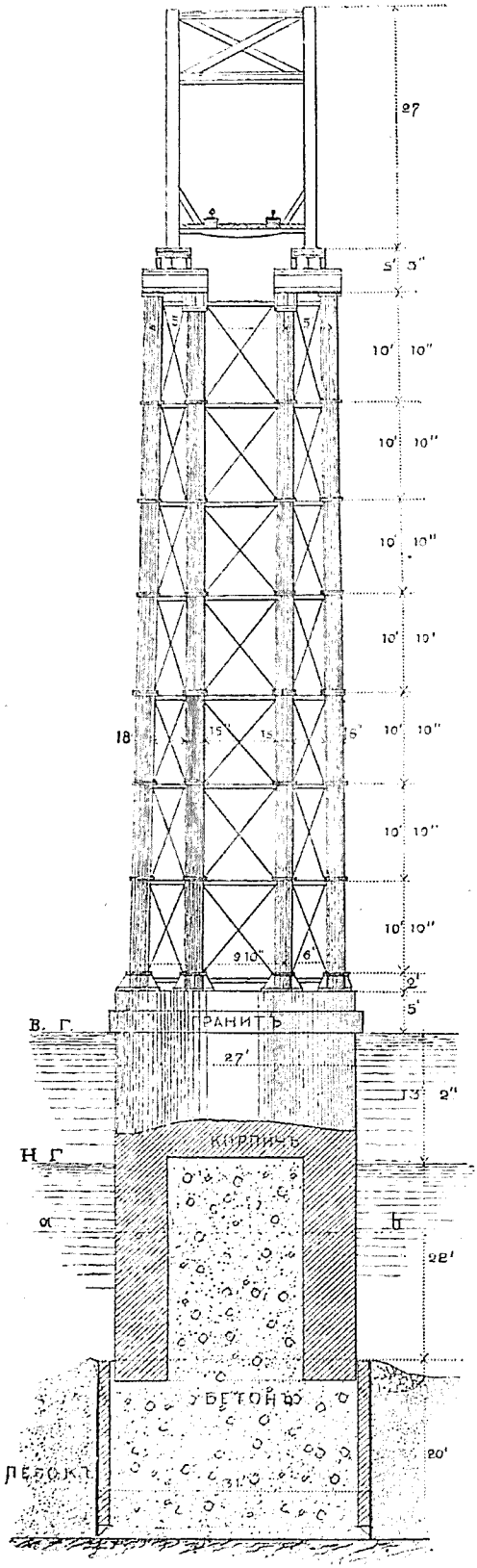


Рис. 600.—Чугунныя опоры прежняго Тэйскаго моста.

выше горизонта низкихъ водъ и прикрѣплены къ наклоннымъ приливамъ, находящимся на опредѣленномъ разстояніи отъ стыка. На чертежѣ показано возможное уширеніе быка для двухъ путей, съ четырьмя кореиными отвѣсными и двумя на-

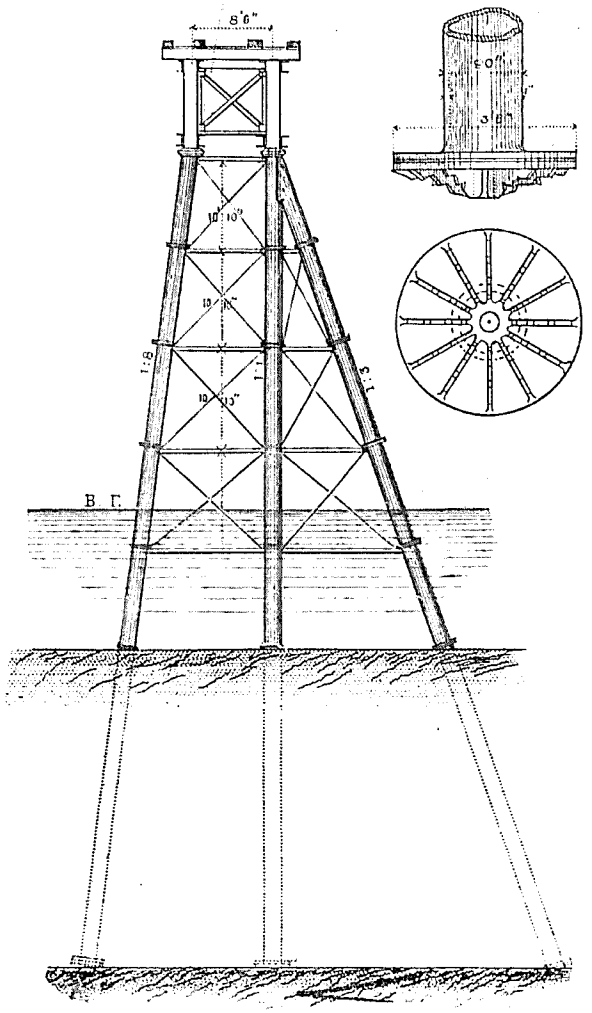


Рис. 601.—Чугунныя свайныя опоры прежняго Тэйскаго моста.

клонными откосными сваями; временно при устройствѣ моста подъ одинъ путь нижняя часть одиой изъ коренных свай нароще-на наклонной сваей.

На рис. 600 и 601 показана прежняя опора Тэйскаго моста въ Шотландіи, сваи которой погружались нагнетаніемъ струи. Мостъ имѣетъ въ длину 3 вер. и состоитъ изъ 85 пролетовъ разной величины, отъ 163 ф. до 227 ф.; на протяженіи $^1/_4$

длины мостъ расположенъ на кривой, описанной радіусомъ 187 саж., совпадающей съ подъемомъ въ 0,0136. Мостъ подъ одинъ путь и высотою до 18 саж.; въ 1879 году 13 пролетовъ обрушились подъ пассажирскимъ поѣздомъ во время сильнаго вѣтра въ 1,19 пуда на кв. ф. Изображенная на рис. 601 опора состоитъ изъ трехъ чугунныхъ колоннъ, изъ которыхъ средняя—вертикальная и расположена подъ одною фермою; другая, отстоящая на 8′ 6″ имѣетъ уклонъ въ $^1/_8$ и расположена подъ второй фермой; третья съ уклономъ въ $^1/_3$ расположена вверхъ по теченію и опирается своею головою въ вершину смежной вертикальной колонны. По высотѣ опоры связаны распорками изъ двухъ корытъ: $6'' \times 2^1/_2 \times {}^1/_2''$ и плоскими діагоналями сѣченія: $4^1/_2'' \times {}^1/_2''$. Діаметръ колоннъ измѣняется отъ 16 д. до 20 д., при толщинѣ стѣнокъ въ $1^1/_8$ д. Низъ колонны снабженъ дискомъ діаметромъ $3^1/_2$ ф. съ радіальными ребрами и узкимъ отверстіемъ въ центрѣ. Какъ оказалось впослѣдствіи, ушки, къ которымъ были прикрѣплены связи, иногда не выходили при отливкѣ изъ формы и ихъ приваривали особымъ составомъ, при чемъ получалось крайне ненадежное соединеніе. Затѣмъ обнаружилось, что чугунъ для отливки употреблялся низкаго сорта, для формовки пользовались соленой водой, которая способствовала образованію раковинъ, такъ какъ она выдѣляетъ много газовъ; для плавки чугуна употреблялся коксъ съ примѣсью сѣры, дурно вліяющій на металлъ; толщина стѣнокъ мѣстами доходила до $^1/_4$ д. вмѣсто требуемыхъ $1^1/_8$ д. Опоры обрушившихся 13 главныхъ пролетовъ состояли каждая изъ шести колоннъ, образовавшихъ растянутый шестиугольникъ и опиравшихся на каменный фундаментъ (рис. 600) цилиндрическаго очертанія. Колонны опирались на чугунные башмаки діаметромъ 4 ф., прикрѣпленные къ кладкѣ болтами, діаметромъ $1^3/_4$ д., задѣланными лишь на глубину тесовой кладки. При обрушеніи чугунныя колонны переломились въ 12 обрушившихся быкахъ въ близкомъ разстояніи отъ фундамента. Только въ двухъ быкахъ каменная кладка оказалась поврежденною. Причиною обрушенія слѣдуетъ признать малую устойчивость опоръ на каменномъ фундаментѣ, вслѣдствіе незначительнаго уклона крайнихъ колоннъ. Разсчетъ показалъ, что при давленіи вѣтра въ 0,65 пуд. на кв. ф. равновѣсіе уже нарушалось. Слѣдовательно, при болѣе сильномъ вѣтрѣ въ связи съ центробѣжной силой устойчивость была уже нарушена, и крайнія колонны работали на растяженіе и на разрывъ соединенія съ каменной кладкой. При давленіи вѣтра въ $^3/_4$ пуд. на кв. ф.—наибольшее напряженіе на сжатіе достигало 296 $\frac{\text{пуд.}}{\text{дм.}}$, а на растяженіе—111 $\frac{\text{пуд.}}{\text{дм.}}$; связи работали бы съ напряженіемъ 555 $\frac{\text{пуд.}}{\text{фут.}}$ и 973 $\frac{\text{пуд.}}{\text{фут.}}$; въ дѣйствительности всѣ связи оказались лопнувшими, что при дурномъ качествѣ металла въ колоннахъ и неконструктивности опоры и послужило причиной обрушенія опоръ.

На рис. 602 и 603 показана устроенная въ Норфолькѣ, въ Америкѣ для выгрузки угля двухъярусная пристань на чугунныхъ сваяхъ. Приставь выдвигается въ бухту нормально къ берегу на длину 805 ф.; на ней расположены два пути высокаго уровня съ уклономъ въ 0,0075 для спуска груженыхъ вагоновъ и одинъ путь съ обратнымъ уклономъ въ 0,025 для возвращенія порожнихъ вагоновъ въ концѣ пристани путь для обратнаго движенія вагоновъ расположенъ на 8 дюйм. ниже пути для груженыхъ вагоновъ; для перевода порожнихъ вагоновъ съ двухъ путей прямого направленія на обратный путь безъ участія стрѣлокъ примѣнено особое приспособленіе, состоящее изъ двухъ подвижныхъ платформъ, спускающихся до уровня обратнаго пути подъ дѣйствіемъ тяжести порожняго вагона и возвращающихся обратно подъ дѣйствіемъ противовѣсовъ. Основаніе пристани состоитъ изъ нѣсколькихъ поперечныхъ рядовъ чугунныхъ полыхъ свай, по четыре сваи въ ряду, на взаимномъ разстояніи 12′6″, 20′6″ и 12′6″; рядъ отъ ряда отстоитъ на 39 ф. Наружные ряды свай защищены отбойными сваями, не допускающими приближенія судовъ на разстояніе болѣе близкое, чѣмъ 8 ф. Діаметръ свай длиною отъ 45 до 57 ф. составляетъ 12 д., при толщинѣ стѣнки въ $^1/_2$ д.; длина звеньевъ измѣняется отъ 14 до 20 ф.; діаметръ чугуннаго диска—4 ф. Для погруженія свай нагнетаніемъ струи воды въ грунтъ изъ достаточно твердаго песку были устроены по обѣ стороны пристани по временному пути для передвиженія крана-травслера. Путь былъ устроенъ на отбойныхъ сваяхъ, забитыхъ при началѣ работъ; кромѣ того было забито нѣсколько поперечныхъ рядовъ свай, для облегченія установки металлическихъ свай при погруженіи. Травелеръ состоялъ изъ двухъ фермъ Гау, длиною 50 ф., опиравшихся на высокія опорныя трубчатыя стойки. На нижнемъ помостѣ одной трубчатой стойки были установлены 50-сильный котелъ и паровая машина, а на помостѣ другой стойки—двойной

насосъ Вортингтона съ подачею 890 галлоновъ (142 куб. ф.) въ минуту. Травелеръ былъ такой высоты (45 ф. въ свѣту), что служилъ вмѣстѣ съ тѣмъ для сборки и установки верхней части пристани. По доставленіи на травелеръ отдѣльныхъ звеньевъ прикрѣплялся къ сваямъ чугунной

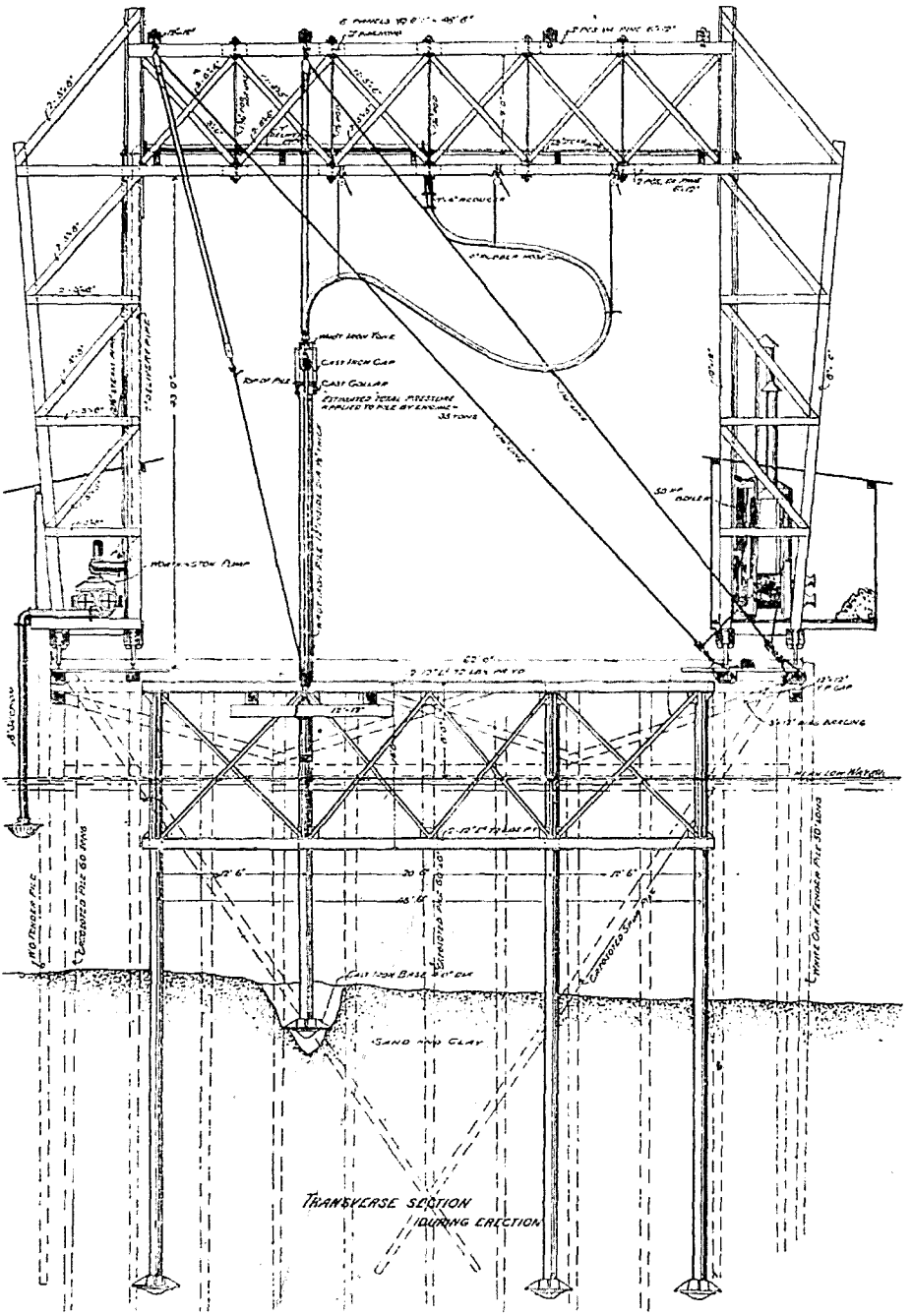


Рис. 602. — Поперечный разрѣзъ приспособленія для погруженія металлическихъ свайныхъ опоръ пристани въ Норфолькѣ нагнетаніемъ струи воды.

замазкой чугунный дискъ, на затвердѣніе коего требовалось 48 часовъ. Послѣ сего точно устанавливали четыре сваи опоры и обжимали съ обѣихъ сторонъ двумя рядами металлическихъ схватокъ изъ корытообразнаго желѣза высотой 12 д. Оба ряда схватокъ, взаимно удаленныхъ на 12 ф., были взаимно соединены крестообразными угловыми связями. Къ схваткамъ, противъ мѣста распо-

ложенія сваи, были прикрѣплены съ внутренней стороны чугунныя подушки съ полукруглыми выкружками, обхватывающими сваи; парныя схватки можно было стянуть болтами до плотнаго соприкасанія чугунныхъ подушекъ къ сваямъ; во время погруженія соприкасаніе было не полное, съ цѣлью облегчить погруженіе, и схватки, подвѣшенныя къ травелеру системой канатовъ и блоковъ, играли роль направляющихъ рамъ; по окончаніи завинчиванія онѣ были стянуты вплотную и служили связью между сваями. Во время погруженія верхнія схватки опирались временно на

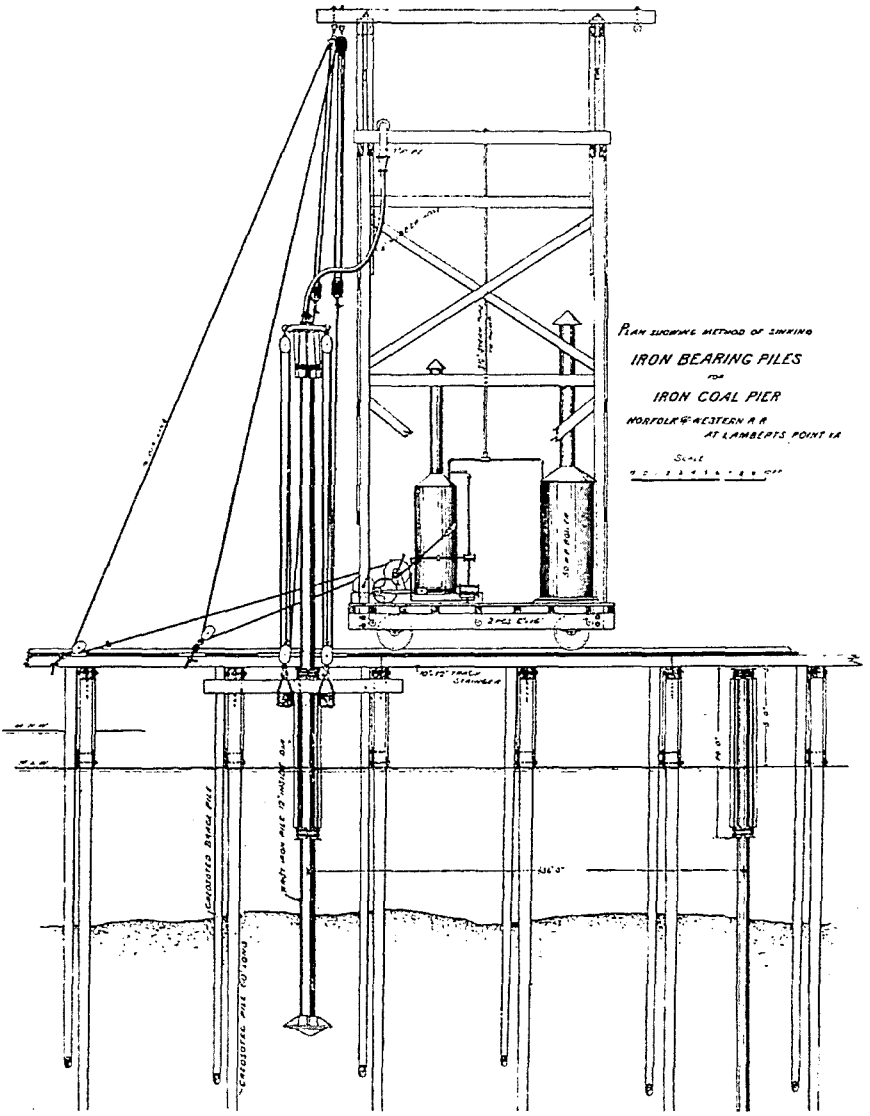


Рис. 603.—Продольный разрѣзъ.

накрестъ расположенные деревянные брусья, подвѣшенные непосредственно къ двумъ неподвижнымъ блокамъ; отъ каждаго изъ этихъ блоковъ шелъ канатъ, который огибалъ подвижной блокъ, прикрѣпленный къ временному оголовку сваи, вновь огибалъ неподвижный блокъ и прикрѣплялся къ другому подвижному блоку. Этотъ послѣдній былъ подвѣшенъ длиннымъ канатомъ къ неподвижному блоку, привѣшенному къ перекладинѣ травелера. Другой конецъ каната, огибая систему блоковъ, навивался на ось лебедки. Такимъ образомъ по мѣрѣ погруженія сваи, двѣ группы подвижныхъ блоковъ, приближаясь къ двумъ группамъ неподвижныхъ блоковъ, взаимно расходились, что требовало навиванія каната на ось лебедки.

На сваю передъ погруженіемъ надѣвался и плотно прикрѣплялся временный оголовокъ, отъ котораго шла резиновая 4 д. трубка къ насосу. Вода подъ давленіемъ отъ 2-хъ до 4-хъ атмосф. выбрасывалась въ нижней части сваи десятью струйками. Одна струя діаметромъ $1^3/_8$ д.—выходила по отвѣсному направленію, а девять—по радіальному подъ угломъ 45° къ горизонту. Подъ дѣйствіемъ струи и собственнаго вѣса свая погружалась до 6 ф.; съ прибавленіемъ нагрузки до 35 тоннъ погруженіе оказалось возможнымъ довести до 57 ф. Для испытанія сваи, каждая изъ нихъ была погружена грузомъ въ 64 тон.; всѣ сваи дали осадку—въ среднемъ не болѣе 13 д.; такая значительная осадка объясняется разрыхленіемъ грунта отъ выбрасыванія струй воды. Послѣ того, какъ сваи не дали дальнѣйшей осадки, по оставленіи этой нагрузки въ продолженіе 4 часовъ, — сваи были признаны достаточно устойчивыми, срѣзаны на опредѣленномъ уровнѣ и заполнены бетономъ. Пристань находится уже въ эксплоатаціи, и сваи не обнаружили осадки. Вѣсъ четырехъ свай 120 пуд. Верхняя часть пристани состоитъ изъ сквозныхъ трубчатыхъ стоекъ, опирающихся на сваи и также прикрѣпленныхъ къ верхнимъ схваткамъ связей. Черезъ пролетъ стойки связаны крестами. Надъ каждой стойкой расположены фермы верхняго пути; фермы обратнаго пути прикрѣплены къ поперечнымъ балкамъ, зажатымъ между стойками второго и третьяго рядовъ.

Желѣзныя сваи завинчиваются или забиваются. Въ первомъ случаѣ онѣ устраиваются обыкновенно сплошного круглаго сѣченія діамотромъ отъ 5 д. до 8 д., а во второмъ случаѣ—полыя, діаметромъ около 12 д., составленныя изъ квадрантовъ или изъ другихъ частей окружности съ остроугольнымъ наконечникомъ. Сплошныя желѣзныя сваи, предложенныя Mitchell'емъ, примѣнялись впервые (1838 г.) при устройствѣ маяковъ, а затѣмъ онѣ нашли себѣ примѣненіе и въ мостовыхъ сооруженіяхъ.

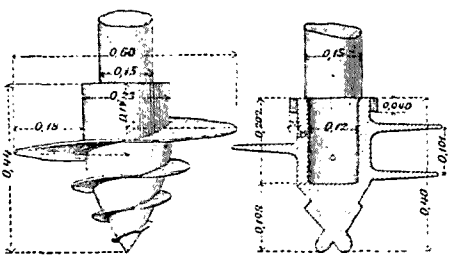


Рис. 604.

Сплошныя желѣзныя завинчиваемыя сваи.— Примѣры опоръ изъ подобныхъ свай. Сплошныя завинчиваемыя сваи снабжаются въ концѣ наглухо прикрѣпленнымъ чугуннымъ наконечникомъ съ чугунными лопастями (рис. 604 и 610). (Поворотная часть Гульскаго моста опирается на рядъ желѣзныхъ сплошныхъ свай діаметромъ 8 д.; діаметръ лопастей чугуннаго наконечника 3 ф. 9 д.) На вершину свай надѣвается оголовокъ, башмакъ, отлитый соотвѣтственно поперечному очертанію фермъ или прогоновъ (рис. 605). Сплошныя сваи дѣлаются цѣльныя длиною до 4 саж.; при большей длинѣ онѣ — составныя и взаимно соединяются общей винтовой муфтой длиною около 20 д. (рис. 606). Сваи одной опоры или смежныхъ опоръ связываются по высотѣ натяжными раскосами (рис. 609), прикрѣпленными вверху свай къ приливамъ башмаковъ (рис. 605), а въ остальныхъ сѣченіяхъ къ особымъ хомутамъ, помѣщеннымъ въ зарапѣе проточенныхъ мѣстахъ (рис. 607).

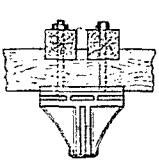


Рис. 605.

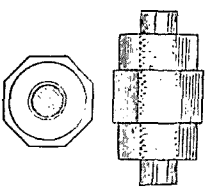


Рис. 606.

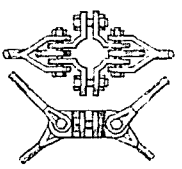


Рис. 607.

Завинчиваніе производится ручнымъ или механическимъ путемъ. Быстрота завинчиванія механическимъ путемъ значительно превосходитъ ручное завинчиваніе.

Такъ, желѣзная сплошная свая моста черезъ р. Марица, діаметромъ 13 сант. при діаметрѣ лопастей въ 60 сант. завинчивалась 32 рабочими въ часъ на глубину 50 сант.; на каждый аншпугъ было поставлено по 4 рабочихъ.

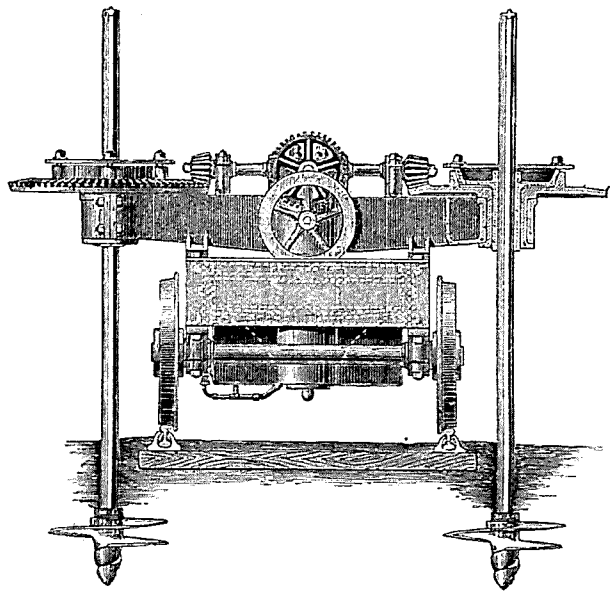


Рис. 608.—Станокъ—платформа для механическаго завинчиванія свай.

Какъ на примѣръ механическаго завинчиванія свай можно указать на опоры мостовъ на Пеиджабской ж. д. въ Индіи (рис. 608). Между рядами проектированныхъ свай были уложены временные пути; по рельсовому пути могла перемѣщаться вагонетка съ установленнымъ на ней паровымъ двигателемъ и станкомъ. Этотъ послѣдній былъ снабженъ горизонтальной поперечной балкой, на оконечностяхъ которой были свободно насажены два горизонтальныхъ коническихъ колеса; въ полую ось коническихъ колесъ могли быть вставляемы полые вкладыши, внутреннее очертаніе которыхъ соотвѣтствовало очертанію стержня сван (круглаго съ двумя выступами). Горизонтальныя коническія колеса приводились въ движеніе паровымъ двигателемъ

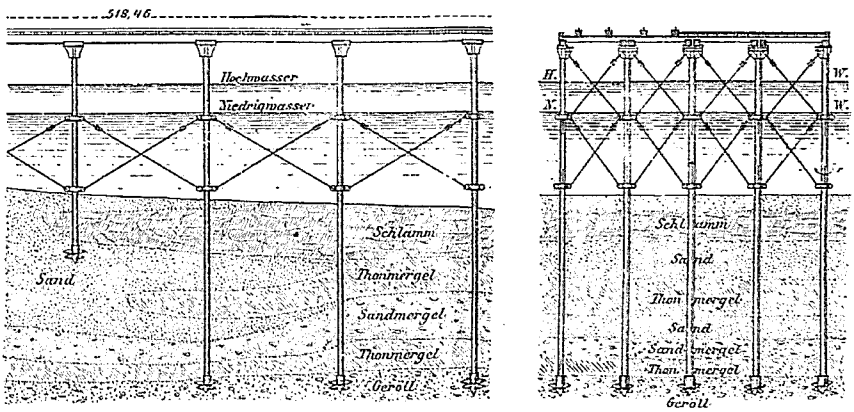


Рис. 609.—Свайныя опоры пристани въ устьѣ р. Delaware

при помощи системы зубчатыхъ колесъ; вращательное движеніе сообщалось сваямъ, при чемъ вкладышъ горизонтальнаго коническаго колеса, способный скользить вдоль стержня сваи, оставался всегда на одномъ уровнѣ. На завинчиваніе двухъ свай на глубину 10 ф. въ глинистый грунтъ требовалось не болѣе 23 минутъ.

Рис. 609—611 изображаютъ опору причальнаго моста на пристани въ Lewes въ устьѣ р. Delaware. Длина моста 518,46 мет., ширина 13,1 м. подъ два пути и подъ экипажный проѣздъ; 89 промежуточныхъ опоръ на взаимномъ разстояніи до 6 м.; глубина завинчиванія 3,05 м. Длина свай измѣняется отъ 4,87 м. при

діаметрѣ въ 130 мм. до 16,46 м. діаметромъ 210 мм. Винтовой чугунный наконечникъ (рис. 610), высотою 26 сант., состоитъ изъ двухъ нитей винтовыхъ лопастей діаметромъ 0,78 м.; каждая лопасть обнимаетъ по полуокружности. Для лучшаго сопряженія сваи съ наконечникомъ, внутренняя поверхность чугуннаго наконечника отлита въ видѣ шестигранной призмы; также обдѣланъ и низъ круглой сваи на длину 30 с., и кромѣ того, вставлена заклинка. Прогоны — парные, сѣченія: 225 × 225 мм.; поперечины сѣченія: 100 × 225 м., на которыхъ расположены продольные лежни желѣзнодорожнаго пути и настилъ экипажнаго проѣзда. Завинчиваніе въ гравелистый грунтъ производилось помощью приспособленія, указаннаго на рис. 611. Въ чугунномъ дискѣ около центральнаго отверстія было сдѣлано три вырѣза не концентрическихъ съ окружностью отверстія; въ эти вырѣзы вставлялись цилиндрическіе стержни и при вращеніи диска аншпугомъ стержни такъ плотно прижимались къ металлической сваѣ, что заставляли ее вращаться; для облегченія завинчиванія направляли сильную струю воды на оконечности лопастей. На завинчиваніе четырехъ короткихъ свай на глубину 3,05 м. требовалось 8 рабочихъ часовъ, а на завинчиваніе шести длинныхъ свай расходовалось пять рабочихъ дней по 8 часовъ въ каждый.

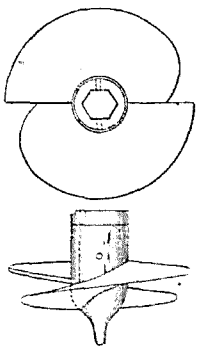


Рис. 610.

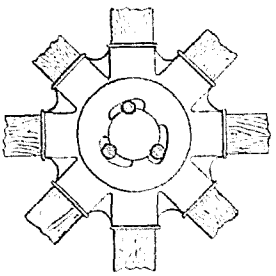


Рис. 611.

На фиг. 270′, таб. 37 изображенъ типъ быка на Поти-Тифлисскомъ участкѣ Закавказской ж. д. изъ сплошныхъ желѣзныхъ свай при величинѣ пролетовъ около 1,5 с. Двѣ крайнія и двѣ косныя сваи сплошного сѣченія діаметромъ 5 д.; на вершину свай наглухо надѣтъ двухъярусный чугунный башмакъ; на нижнюю часть башмака опирается двутавровая поперечная балка, служащая поперечной связью опоръ; поперечная балка обжата съ двухъ сторонъ вторымъ ярусомъ чугуннаго башмака въ формѣ кронштейна и прикрѣпленнаго болтами къ нижнему башмаку. Поверхъ поперечной балки надъ сваями расположены фермы моста, прикрѣпленныя консолями изъ полосового желѣза къ поперечной балкѣ. По высотѣ свай обжимаются въ нѣсколькихъ мѣстахъ стяжными хомутами изъ полосового желѣза, поставленными въ проточенныя заранѣе мѣста; между полками составныхъ частей хомутовъ зажаты діагонали изъ полосового желѣза и распорки, составленныя изъ двухъ полосъ, распертыхъ трубками съ заклепками. (Эти мосты замѣнены съ настоящее время мостами большихъ пролетовъ).

Забиваемыя желѣзныя сваи. Примѣры опоръ. Если желѣзныя сваи забиваются (въ случаѣ крѣпкихъ грунтовъ), то, какъ сказано выше, онѣ составляются изъ квадрантовъ и снабжаются острымъ чугуннымъ наконечникомъ. Опишемъ нѣсколько типовъ.

На фиг. 271′, табл. 37, показанъ типъ подобнаго быка, примѣненный на Ростово-Владикавказской желѣзной дорогѣ. Подъ каждый быкъ забиты наклонно по восьми свай, по четыре подъ кажд. ферму; въ планѣ четыре сваи размѣщены по вершинамъ двухъ квадратовъ, такимъ образомъ расположенныхъ, что одна изъ діагоналей параллельна оси моста, а другая перпендикулярна къ ней; сваи забиты наклонно; фермы моста не опираются непосредственно на сваи, а на стойки трубчатаго сѣченія изъ котельнаго желѣза. Передача давленія отъ этихъ трубчатыхъ стоекъ сваямъ совершается помощью ногъ, составляющихъ продолженіе уголковъ, соединяющихъ въ углахъ вертикальные листы трубчатой стойки. Ноги, имѣющія на концѣ чугунную подушку съ сферической нижней поверхностью, входятъ внутрь сваи на глубину 5 ф. и опираются на чугунный дискъ,

лежащій на приклепанномъ къ сваѣ кольцѣ изъ котельнаго желѣза. Дискъ подпирается сверхъ того бетоннымъ заполненіемъ; для полученія полнаго соприкасанія заполненія съ дискомъ въ послѣднемъ имѣется отверстіе, въ которое вливался жидкій цементъ.

Детали быка показаны на фиг. 271′. Къ нижнему звену свай приклепанъ потайными заклепками чугунный коническій башмакъ для удобства забивки. Внѣшній діаметръ свай, составленной изъ 4-хъ квадрантовъ, склепанныхъ $^3/_4$ заклепками на взаимномъ разстояніи 6 д., составляетъ: 12″, внутренній — 11″; трубчатая стойка состоитъ изъ 4-хъ вертикальныхъ листовъ $30 \times {}^3/_8$″; въ средней ея части соединеніе листовъ сдѣлано помощью двухъ тупоугольныхъ уголковъ $3^1/_2 \times 3^1/_2 \times {}^3/_8$″. На нѣкоторомъ разстояніи отъ низа къ каждому углу приклепанъ сверхъ того съ внутренней стороны уголокъ $3 \times 3 \times {}^3/_8$″. Всѣ эти три уголка продолжаются внутрь свай; взамѣнъ прерваннаго листа $30″ \times {}^3/_8$″ заполненіе между уголками сдѣлано изъ прямоугольнаго уголка $3^1/_2 \times 3^1/_2 \times {}^3/_8$″, такъ что каждая нога состоитъ изъ двухъ тупоугольныхъ уголковъ $3^1/_2 \times 3^1/_2 \times {}^3/_8$″ и двухъ прямоугольныхъ $3^1/_2 \times 3^1/_2 \times {}^3/_8$″ и $3 \times 3 \times {}^3/_8$″. Чугунный башмакъ, ограниченный снизу выпуклой поверхностью, соединенъ съ уголками ноги помощью болта. Въ верхней части, въ капители, для непосредственнаго принятія давленія отъ фермъ моста въ трубчатой стойкѣ имѣются двѣ крестообразно расположенныя діафрагмы, зажатыя между полками тупоугольныхъ уголковъ; діафрагмы снабжены уголками вверху и внизу. Вертикальные листы трубчатой стойки не доходятъ до самаго верха, но оканчиваются, примѣрно, на половинѣ высоты діафрагмы (для удобства склепки послѣднихъ). Тупоугольные уголки доходятъ до верха и взаимно связаны горизонтальнымъ уголкомъ; къ горизонтальной полкѣ этого послѣдняго уголка прикрѣпленъ болтами желѣзный листъ, имѣющій назначеніемъ лишь перекрытіе стойки. Для принятія же давленія отъ чугунныхъ опорныхъ подушекъ приклепана къ уголкамъ одной изъ діафрагмъ (параллельной оси моста) полудюймовая доска, къ которой прикрѣплены болтами чугунныя подушки. На половинѣ высоты каждой трубчатой стойки помѣщена крестообразная связь для уменьшенія бокового выгиба; основаніе стойки и вершины обдѣланы листовымъ желѣзомъ въ видѣ базы и карниза. Обѣ трубы соединены между собою діагональными связями изъ углового желѣза.

Вѣсъ свай длиною 3 саж. составляетъ 82 пуда. Для забивки ея въ хрящеватый грунтъ и въ плотные глинистые сланцы была употреблена баба вѣсомъ 180 пуд., составленная по высотѣ изъ двухъ частей. При плотныхъ грунтахъ подъемъ бабы, во избѣжаніе поломки свай, измѣнялся въ предѣлахъ отъ 1,5 ф. до 2,5 ф.; при менѣе плотныхъ грунтахъ подъемъ увеличивался до 4 ф., не переходя предѣла—5 ф. Вытаскиваніе неправильно забитой сваи оказывалось возможнымъ, если свая забита на глубину не болѣе 1 саж. Предѣльная осадка свай при послѣднемъ ударѣ была не болѣе 0,002 саж. Забивка свай на глубину 3 саж. требовала отъ 4 до 7 сутокъ при работѣ днемъ и ночью. На каждомъ копрѣ работало 12 человѣкъ, что при цѣнѣ 75 коп. на человѣка составляло 90 руб. на сваю. Высота копра—5,5 саж.; вѣсъ его съ бабой—600 пуд. Накладные расходы стоили столько же, какъ и забивка. А именно на забивку на 4-хъ мостахъ 104 свай накладные расходы составляли:

Изготовленіе 3-хъ копровъ съ полнымъ комплектомъ принадлежностей . . .	3000 р.
Устройство подмостей, съ перевозкой, разборкой и пр.	3000 »
Перевозка копровъ съ принадлежностями—всего 2000 пуд.	800 »
Прогулы рабочихъ	500 »
Администрація и непредвидѣнные расходы	1680 »
	8980 р.

или 86 руб. на сваю.

Описанный типъ опоръ нельзя считать удачнымъ, такъ какъ давленіе отъ фермъ не передается непосредственно на сваи, и непрерывность свайныхъ опоръ прервана вставкой въ нихъ ногъ верхней трубчатой опоры. Предпочтительнѣе типъ свайныхъ опоръ, изображенный на фиг. 272, табл. 37 и примѣненный на Уссурійской и на Самаркандъ-Андижанской жел. дорогахъ, напоминающій по идеѣ конструкцію обыкновенныхъ деревянныхъ свайныхъ опоръ. Опоры, поддерживающія фермы пролетомъ 10 саж., состоятъ изъ восьми коренныхъ свай,

по четыре свап подъ опору и изъ двухъ откосныхъ свай съ укосинами. Внутренній діаметръ свай 10 д., толщина стѣнки $^{7}/_{16}$ д. Смежные квадранты склепаны не вплотную, а съ просвѣтомъ въ $^{3}/_{8}$ д., для помѣщенія плаiокъ связей и діафрагмъ. Въ виду необходимости образовать широкую площадку для помѣщенія опорной подушки, четыре сваи раздвинуты на взаимное разстояніе въ 24 д. и связаны плоской рѣшеткой. Въ вершинѣ свай, въ направленіи нормальномъ къ оси пути, зажаты между двумя парными сваями фасонные листы для прикрѣпленія поперечныхъ связей; къ этимъ листамъ приклепаны три продольныхъ діафрагмы, двѣ внутри свай и одна въ промежуткѣ между ними, соединенная еще поперечной діафрагмой; каждое соединеніе сдѣлано помощью четырехъ короткихъ вертикальныхъ уголковъ. Всѣ діафрагмы окаймлены вверху уголками, къ которымъ приклепанъ потайными заклепками двойной горизонтальный листъ; къ этому послѣднему приболчена чугунная опорная подушка.

Соединеніе укосины съ коренной сваей достигнуто тѣмъ, что квадранты укосины приклепаны къ фасонному листу, зажатому между квадрантами коренной сваи; для усиленія соединенія па стыкъ наклепаны четыре узкихъ изогнутыхъ уголка, приклепанные къ полкамъ квадрантовъ. Соединеніе укосины съ откосной сваей сдѣлано также помощью фасонной прокладки и узкихъ изогнутыхъ угловыхъ накладокъ, при чемъ свая и укосина срѣзаны по равподѣлящей угла. Поперечныя связи состоятъ изъ парныхъ уголковъ $3 \times 3 \times {}^{3}/_{8}''$, приклепанныхъ къ фасоннымъ прокладкамъ.

Прикрѣпленіе чугуннаго наконечника показано на фиг. 272 *D*. Для увеличенія толщины стѣнокъ сваи внизу, въ мѣстѣ упора па башмакъ, прикрѣпленъ съ внутренней стороны полудюймовый кольцевой цилиндръ, помощью длинныхъ заклепокъ, а затѣмъ па четырехъ болтахъ прикрѣпленъ наконечникъ.

Перекрытіе стыковъ дѣлалось различными способами. Одинъ изъ способовъ состоялъ въ томъ (фиг. 272 *C*, табл. 37), что наращивали сразу три квадранта, перекрывали ихъ фасонными накладками и помѣщали заклепки, какъ въ полкахъ, такъ и въ кривой части квадранта. По окончаніи склепки ставился четвертый квадрантъ и перекрывался стыковой фасонной накладкой, по заклепки помѣщались лишь въ полкахъ; въ слѣдующемъ стыкѣ оставался безъ средняго ряда заклепокъ смежный квадрантъ и т. д., постепенно чередуясь. Другіе способы перекрытія стыковъ показаны на фиг. 272 *G* и 272 *H*, табл. 38. Первый изъ нихъ примѣнялся для стыка, который при забивкѣ приходился ниже поверхности грунта, а второй—для стыка надъ уровнемъ земли; этотъ послѣдній отличался только тѣмъ, что стыки полокъ перекрывались не плоскими наружными накладками, а уголками. Для перекрытія стыка кривой части квадранта ставили цилиндрическую накладку толщиною $^{3}/_{4}$ д. и длиною 20 д.; накладка предварительно приклепывалась короткими заклепками къ четыремъ квадрантамъ верхней части, служившей для наращиванія; затѣмъ верхняя часть вставлялась вмѣстѣ съ приклепанной къ ней цилиндрической накладкой на наращиваемую сваю, при чемъ скрѣпленіемъ служили уже длинныя заклепки діаметромъ $1^{1}/_{4}$ д. Въ данномъ типѣ перекрытія стыка цилиндрической накладкой можно также примѣнить пріемъ, указанный на фиг. 272 *C*, помѣстивъ короткія заклепки во всѣхъ квадрантахъ нижней части и въ трехъ квадрантахъ верхней части, съ сохраненіемъ длинныхъ заклепокъ лишь для четвертаго квадранта верхней части.

Какъ на интересную деталь, слѣдуетъ указать на способъ расположенія двухъ опорныхъ подушекъ одна надъ другой. Формы неразрѣзныя и поэтому слѣдовало

устроить двѣ независимыя опорныя подушки; въ случаѣ помѣщенія ихъ рядомъ пришлось бы еще болѣе раздвинуть сваи или добавить число свай. Въ впду сего примѣненъ былъ употребленный впервые на Саксонскихъ дорогахъ пріемъ расположенія второй подушки одной изъ фермъ (фиг. 272 *F*, табл. 37) по середннѣ высоты опорной стойки другой фермы, при соотвѣтственномъ измѣненіи очертанія концевыхъ частей обѣихъ фермъ. Для увелнченія сопротивленія опрокидываиію — нижній и верхній балансиръ неподвижной опоры обхватываютъ шарниръ петлею.

3) Трубчатыя опоры.—Общее описаніе.—Опоры съ чугунной оболочкой.—Детали устройства.—Примѣры.—Опоры съ желѣзной оболочкой. — Детали устройства. — Примѣры. — Кессоны. — Общее описаніе. — Желѣзная рабочая камера кессона. — Наружная обшивна — Подвѣсныя цѣпи.— Примѣры.—Съемные кессоны.—Каменная рабочая камера.—Деревянные нессоны.— Примѣры.— Шахтовыя трубы.— Шлюза. — Воздуходувныя трубы. — Оборка и склепка нессона.— Погруженіе кессоновъ.—Способы извлеченія грунта.—Различныя особенности, встрѣчающіяся при погруженіи кессона. — Опредѣленіе потребнаго количества сжатаго воздуха. — Вліяніе сжатаго воздуха на здоровье рабочихъ — Успѣхъ работы. — Открытые нессоны.

Трубчатыя опоры. Общее описаніе. Трубчатыя опоры состоятъ изъ *чугунной* или *желѣзной* оболочки съ внутреннимъ заполненіемъ пзъ правильной каменной кладки или бетона. Опоры бываютъ очертанія круглаго, эллиптическаго или нрямоугольнаго съ закругленіями по концамъ. При двухъ фермахъ ставятся двѣ или одна общая опора; при трехъ фермахъ—три опоры или двѣ: въ послѣднемъ случаѣ средняя ферма опирается на поперечную балку между двумя колоннами, какъ это напр. сдѣлано въ мостѣ Лора черезъ р. Гвадалквивиръ (фиг. 271″, табл. 37). Иногда для устройства основанія опоры пользуются цилиндрическими колоннами съ каменнымъ или бетоннымъ заполненіемъ и выводятъ ихъ только до уровня нѣсколько ниже дна рѣки; затѣмъ перекрываютъ колонны металлическими балками и на нихъ устраиваютъ верхнюю общую каменную часть опоры, какъ это напр. сдѣлано (рис. 459) въ опорахъ городскаго моста чрезъ р. Вислу въ Варшавѣ. Смежныя колонны опоры связываются выше уровня воды связями и снабжаются въ случаѣ надобности ледорѣзомъ.

Прнсутствіе металлической оболочки нмѣетъ значеніе только во время самаго сооруженія опоры, за исключеніемъ случаевъ, когда оболочка должна замѣнять облицовку. Давленіе отъ фермъ передается въ болыпинствѣ случаевъ на внутреннее заполиеніе (фиг. 276 и 277, табл. 38), хотя есть не многіе примѣры, какъ напр. опоры моста черезъ рѣку Эбро (фиг. 279, табл. 39), гдѣ чугунныя опорныя подушки опираются частью и на металлическую оболочку, такъ что эти опоры можно причислить и ко второму классу.

Колонны погружаются путемъ завнпчиванія или извлеченія грунта, что достигается вычерпываніемъ черпаками, экскаваторами, дѣйствіемъ эжектора, дѣйствіемъ разрѣженнаго воздухомъ столба воды или при помощи сжатаго воздуха съ устройствомъ въ нижней части колонны рабочей камеры, снабженной шахтовою трубою и шлюзомъ. Въ послѣднемъ случаѣ работы ведутся такъ же, какъ прн кессонныхъ осиованіяхъ, о чемъ сказано будетъ ниже.

Опоры съ чугунной оболочкой. Детали устройства. Примѣры. Діаметръ *чугунныхъ* колоннъ въ зависимости отъ высоты опоры и величины пролета измѣняется отъ 1,5 м. до 3 м. Чугунная оболочка составляется изъ звеньевъ высотою отъ 0,75 м. до 2,75 м., толщиною отъ 25 мм. до 40 мм. съ низовой стороны и отъ 40 мм. до 55 мм. съ верховой стороны. (Въ опорахъ моста черезъ

р. Сену близъ Аржентейля—толщина оболочки съ низовой стороны 38 мм., а съ верховой—50 мм.). При значительномъ діаметрѣ каждое звено состоитъ изъ нѣсколькихъ косяковъ, представляющихъ въ сѣченіи сегментъ. Косяки снабжаются по краямъ фляпцами (вертикальными и горизонтальными), которые при помощи болтовъ служатъ для взаимнаго соединенія звеньевъ и косяковъ; во избѣжаніе излома флянцевъ они снабжаются ребордами (фиг. 274, табл. 38); если дуга сегмента довольно велика, то для увеличенія жесткости косяки отливаются съ вертикальными и горизонтальными промежуточными ребрами, усиленными приливами

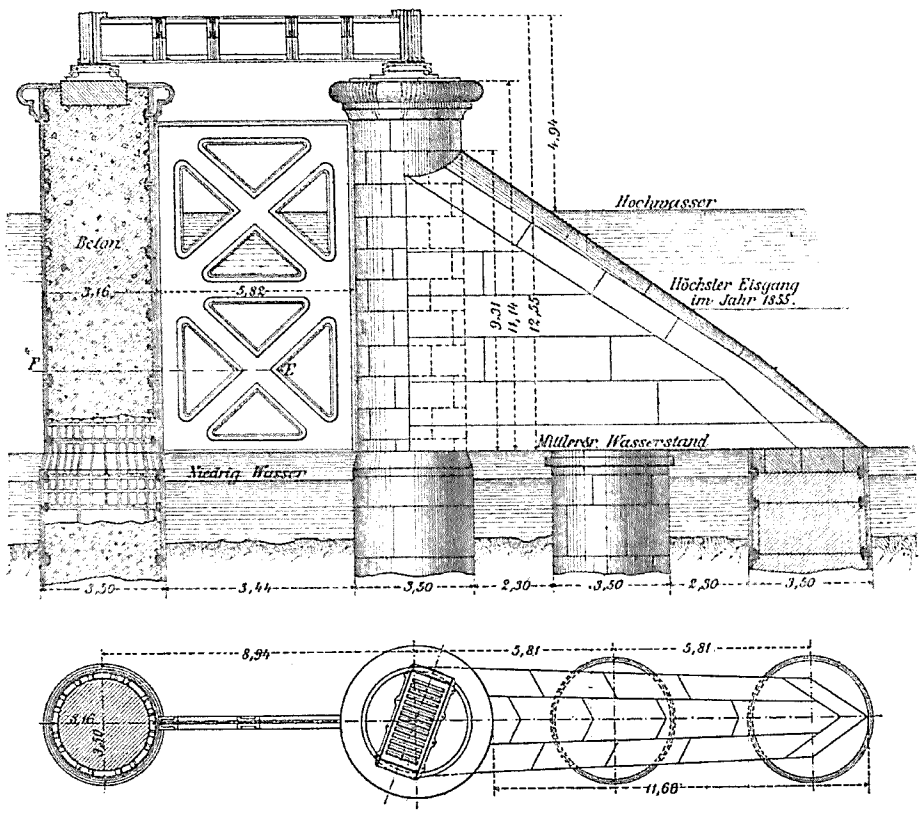


Рис. 612.—Опоры моста чрезъ р. Нѣманъ близъ Ковно на СПб. Варшавской ж. д.

(рис. 275*a*, табл. 38). Для увеличенія устойчивости опоры и для уменьшенія давленія на грунтъ діаметръ нижней части колонны дѣлаютъ часто на 25%—50% болѣе діаметра верхней части, сопрягая части различныхъ діаметровъ коническими звеньями (рис. 612 и фиг. 278 *c*, табл. 38). (Въ опорахъ моста черезъ р. Алье близъ Мулэнъ діаметръ верхней части колонны 2 м., нижней—2,5 м.; въ опорахъ мостовъ черезъ р. Нѣманъ и З. Бугъ на С.-Петербурго-Варшавской ж. д. діаметръ верхней части — 3,16 м., нижней — 3,5 м.). Увеличеніе діаметра и взаимное разстояніе между колоннами зависятъ не только отъ допускаемаго давленія на грунтъ и отъ разстоянія между фермами, но находятся еще въ прямой зависимости отъ наименьшаго допускаемаго практикой разстоянія между основаніями смежныхъ опоръ, не вредящаго правильности погруженія каждой опоры. Имѣются примѣры, гдѣ при глубинѣ погруженія въ 25 ф. наименьшее разстояніе между основаніемъ обѣихъ колоннъ 1,5 ф. При глубинѣ погруженія 10 с. — 11 с. — наименьшее разстояніе 6 ф. Вообще, чѣмъ

больше глубина погруженія, тѣмъ больше долженъ быть промежутокъ. При очень сближенныхъ колоннахъ обѣ колонны погружаются одновременно, будучи соединены мѣстами связью изъ вертикальнаго листа съ острымъ ребромъ, помѣщаемой по направленію наименьшаго разстоянія между колоннами, какъ это напр. было сдѣлано при погруженіи трубчатыхъ опоръ моста чрезъ р. Лань. Если опоры не снабжены ледорѣзами, то нерѣдко, во избѣжаніе излома оболочки отъ удара плавающихъ тѣлъ, оболочка верхней части дѣлается желѣзною, какъ напр. въ опорахъ моста черезъ р. З. Бугъ на С.-Петербурго-Варшавской ж. д. (фиг. 273, табл. 38). Выше уровня воды колонны трубчатыхъ опоръ взаимно связываются чугунными сквозными рамами въ видѣ крестовъ (фиг. 275*a*, табл. 38) въ одинъ или нѣсколько ярусовъ, прикрѣпляемыми къ оболочкѣ болтами, или же опоры связываются желѣзными крестами, составленными изъ листовъ, окаймленныхъ уголками. Для принятія давленія отъ фермъ въ верхнюю часть бетоннаго или каменнаго заполненія задѣлываютъ подферменный камень (фиг. 276 и рис. 613) или все заполненіе перекрываютъ рядомъ дубовыхъ брусьевъ (фиг. 277), на которыхъ устанавливаютъ опорныя подушки. Иногда опорныя подушки устанавливаютъ на чугунныхъ или желѣзныхъ балкахъ, опирающихся какъ на оболочку, такъ и на заполненіе (фиг. 274 и фиг. 275).

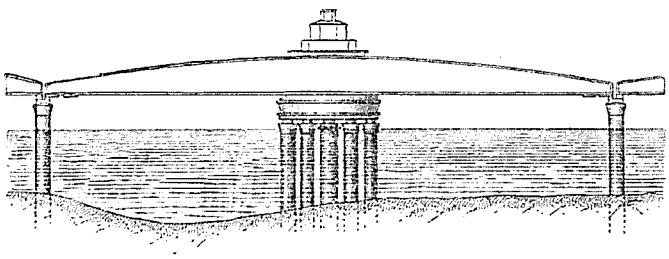


Рис. 613. — Опора поворотнаго моста чрезъ р. Ouse близъ Goole.

На фиг. 273 табл. 38 показаны опоры моста черезъ р. З. Бугъ на С.-Петербурго-Варшавской ж. д. Мостъ подъ два пути съ ѣздою по низу. Разстояніе между осями обѣихъ колоннъ 8,4 м. Глубина погруженія 12 м. Діаметръ нижней части съ чугунной оболочкой 3,50 метра, а верхней съ желѣзной оболочкой—3,16 метра. Косяки чугунныхъ звеньевъ снабжены внутренними флянцами и ребордами. Высота чугунныхъ звеньевъ 1,520 метра, съ 4 косяками по окружности; косяки снабжены горизонтальными и вертикальными ребордами; стыки въ перевязку; высота желѣзныхъ звеньевъ 0,9 метр.; вертикальные стыки этихъ звеньевъ перекрыты плоскимъ желѣзомъ, горизонтальные же стыки перекрыты черезъ одинъ поперемѣнно плоскимъ и тавровымъ желѣзомъ. Связь между колоннами сдѣлана въ формѣ Андреевскихъ крестовъ, составленныхъ изъ листового желѣза съ уголками по краямъ; кресты соединены съ колоннами посредствомъ уголковъ. Коническое звено желѣзной оболочки соединяется съ чугунной помощью внутренняго уголка, приклепаннаго къ нижнему краю желѣзнаго звена

На рис. 612 показаны опоры моста черезъ р. Нѣманъ близъ Ковно на С.-Петербурго-Варшавской ж. д. Мостъ подъ два пути съ ѣздою по низу; разстояніе между осями колоннъ 8,94 м., діаметръ нижней части колонны 3,5 м., верхней—3,16 м., оболочка чугунная; съ верховой стороны устроенъ металлическій ледорѣзъ, опирающійся на три колонны. Детальное устройство подобнаго же чугуннаго ледорѣза будетъ приведено ниже.

На фиг. 274, таб. 38 изображена вершина трубчатой опоры моста черезъ р. Эбро съ чугунной оболочкой; верхнее звено коническаго очертанія; на флянцы звена и на внутреннее заполненіе опирается чугунная доска съ продольными и поперечными ребордами на нижней сторонѣ; на верхней сторонѣ имѣются продольныя утолщенія, служащія для направленія движенія катковъ опорной подушки.

На фиг. 275*а* и 275*б*, табл. 38 показана верхняя часть опоры моста черезъ р. Темзу близъ Стэйпса. На кромки верхняго звена и на заполненіе установлены двѣ чугунныя балки, соединенныя короткой балкой и проходящія поверхъ нѣсколькихъ опоръ; къ этимъ поперечнымъ балкамъ прикрѣплены чугунныя опорныя подушки, на которыхъ установлены фермы; между колоннами крестообразная чугунная связь.

На фиг. 277 показана верхняя часть трубчатой опоры Виндзорскаго моста. Бетонное заполненіе покрыто дубовыми брусьями, перекрытыми чугунной доской, поверхъ которыхъ расположены катки опорной подушки. На каткахъ лежитъ двойной рядъ взаимно соединенныхъ дубовыхъ брусьевъ, къ которымъ прикрѣпленъ нижній поясъ фермы.

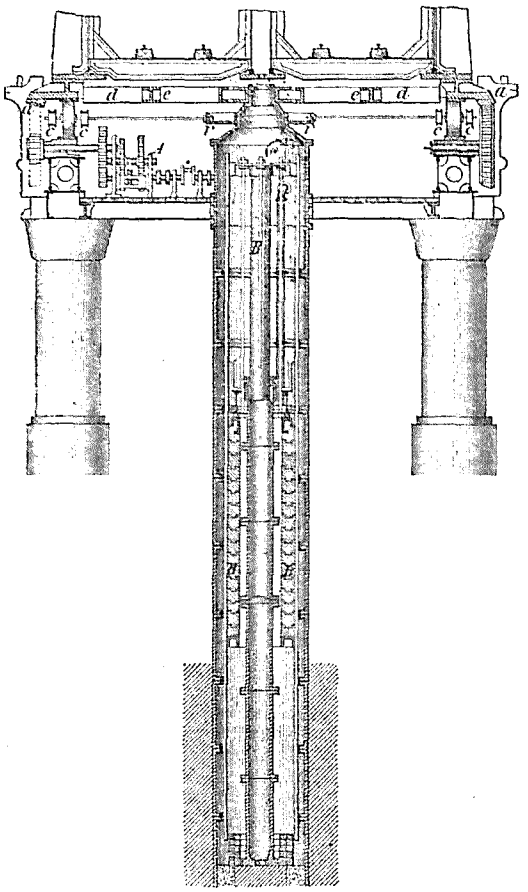


Рис. 614. — Разрѣзъ центральной колонны опоры поворотнаго моста чрезъ р. Ouse.

На рис. 613 и 614 изображены два быка и составленная изъ ряда трубъ опора поворотной части моста чрезъ р. Ouse близъ Goole. Вся длина моста, включая и пять пролетовъ постоянной части моста по 116 ф., составляетъ 830 ф.; мостъ подъ два пути; три фермы со сплошной стѣнкой; ширина моста 31 ф. Каждый изъ быковъ постоянной части моста состоитъ изъ трехъ чугунныхъ трубчатыхъ опоръ діаметромъ 7 ф. и высотою 90 ф. Полная длина фермъ поворотной части 250 ф., высота ихъ по серединѣ: 16 ф. 6 д., а по концамъ: 4 ф. По окружности круга діаметромъ 32 ф. размѣщено шесть трубчатыхъ опоръ діаметромъ 7 ф., высотою 90 ф., въ томъ числѣ въ грунтѣ 28 ф. Въ центрѣ окружности помѣщена седьмая трубчатая опора, въ которой установленъ аккумуляторъ. Центральная колонна, или труба, соединяется съ наружными колоннами шестью радіальными балками съ помостомъ, на которомъ расположенъ механизмъ съ гидравлической машиной. Мостъ, вѣсомъ 670 тоннъ, опирается на 26 коническихъ катковъ, діаметромъ 3 ф. и шириною 14 д. На катки опирается прикрѣпленный къ фермамъ чугунный низкій барабанъ съ наружной выступающею частью, снабженною на нижней поверхности зубчаткой, которая зацѣпляется за вертикальное зубчатое колесо. Ось зубчатаго колеса при помощи серіи шестеренъ можетъ быть приведена во вращательное движеніе. Гидравлическія машины числомъ двѣ (одна запасная) имѣютъ по три качающихся цилиндра; въ минуту машина дѣлаетъ 40 оборотовъ при давленіи воды въ 700 фунт. на кв. д.; сила машины 40 паровыхъ лошадей. Вода въ гидравлической машинѣ поступаетъ изъ аккумулятора, установленнаго (второй запасный) внутри средней колонны; подъемъ поршня аккумулятора дѣлается двумя паровыми машинами, помѣщающимися на помостѣ, каждая силою въ 12 паров. лошадей; паровые вертикальные котлы, діаметромъ 4,5 ф. и высотою 6,5 ф., установлены внутри средней трубы. Діаметръ поршня аккумулятора 16,5 д.; высота хода — 17 ф.; вѣсъ аккумулятора, образуемый чугунными сегментами—67 тоннъ. Скорость поворота моста 4 ф. въ 1 сек.; на разведеніе моста и обратную его установку требуется 50 сек.

Выше было сказано, что трубчатыя опоры погружаются между прочимъ путемъ извлеченія грунта при помощи экскаватора. На рис. 615 изображенъ экскаваторъ МПгоу, употребленный при опусканіи трубчатыхъ опоръ съ чугунной оболочкой моста чрезъ р. Клэйдъ въ Глазго. Онъ состоитъ изъ наружной чугун-

ной осьми-угольной рамы, діаметромъ 5 ф., соединенной радіальными ребрами съ центральнымъ сплошнымъ осьми-угольнымъ дискомъ. Къ наружному остову прикрѣплены на шарнирахъ восемь лопатокъ, оконечности которыхъ могутъ быть приподняты помощью цѣпей, при чемъ образуется сплошное дно экскаватора. Радіальныя ребра снабжены резиновыми прокладками. Рама экскаватора подвѣшена четырьмя цѣпями (одна изъ цѣпей показана пунктиромъ) къ кольцу, подвѣшенному въ свою очередь къ крюку короткаго плеча рычага 2-го рода; ось вращенія рычага прикрѣплена къ одному изъ нижнихъ звеньевъ главной цѣпи. Цѣпь, идущая отъ кольца къ крюку рычага, можетъ быть надѣта на крюкъ однимъ изъ звеньевъ такъ, что, при поднятіи вверхъ канатомъ длиннаго конца рычага, звено соскакиваетъ съ крюка, и вся рама опускается внизъ на величину, соотвѣтствующую запасу въ длинѣ цѣпи, каковой запасъ дѣлается равнымъ длинѣ лопатокъ. Оконечность каждой лопатки прикрѣплена цѣпями къ конусу, подвѣшенному къ главной цѣпи. Такимъ образомъ, если надѣть на крюкъ рычага одно изъ звеньевъ цѣпи отъ кольца, при чемъ всѣ лопатки, не будучи поддерживаемыми, занимаютъ вертикальное положеніе, то весь аппаратъ опускается. Когда лопатки коснутся дна, тогда приподнимаютъ длинный конецъ рычага, при чемъ цѣпь кольца соскакиваетъ съ крюка рычага, рама опускается, и лопатки погружаются въ грунтъ. Затѣмъ, при поднятіи аппарата, лопатки въ первый моментъ приподнимаются, забирая при этомъ грунтъ, закрываютъ дно аппарата, и при дальнѣйшемъ движеніи весь аппаратъ съ содержимымъ поднимается вверхъ. Для поднятія экскаватора установлена была 12-сильная машина; для содѣйствія болѣе успѣшному погруженію, трубы, имѣвшія діаметръ въ 8 ф. 4 д., погружались съ временнымъ грузомъ въ видѣ чугунныхъ кольцевыхъ сегментовъ, сплошь укладываемыхъ по высотѣ на внутреннихъ флянцахъ трубъ; кольца были толщиною 6 д. и высотою 12 д. Общій добавочный вѣсъ колецъ составлялъ 233 тонны, при глубинѣ опусканія на 75 ф. въ песокъ. Среднее опусканіе въ день составляло 9 ф. 6 д. При твердыхъ слежавшихся пескахъ временами выкачивали воду изъ цилиндра, и по прекращеніи дѣйствія насоса вода, устремлявшаяся извнѣ, способствовала разрыхленію грунта.

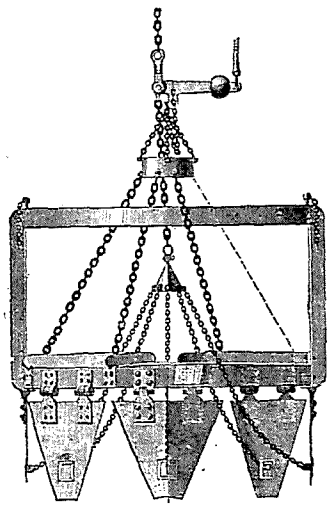


Рис. 615.—Экскаваторъ Milroy.

Трубчатыя опоры съ желѣзной оболочкой. Детали устройства. Примѣры; *Желѣзныя* трубчатыя опоры, смотря по величинѣ пролета и по высотѣ опоры, измѣняются въ діаметрѣ отъ 3 ф. до 12 ф. Звенья колонны составляются изъ листовъ толщиною отъ $^1/_4$ д. до $^1/_2$ д., взаимно склепанныхъ въ нахлестку (фиг. 280, табл. 39) или въ притыкъ, съ наложеніемъ плоскихъ или тавровыхъ накладокъ (фиг. 278 *в*, табл. 38). Смежныя звенья соединяются всегда въ притыкъ, съ перекрытіемъ стыка плоскими накладками шириною отъ 8 д. до 16 д., размѣщенными съ внутренней стороны (фиг. 278 *с*, табл. 38); въ частяхъ опоры выше поверхности грунта накладки помѣщаются иногда съ наружной стороны, а иногда и съ обѣихъ сторонъ, при чемъ наружныя накладки дѣлаются или тавровыя, или изъ двухъ уголковъ поверхъ плоской накладки (фиг. 278 *в*, табл. 38). Діаметръ отдѣльныхъ колоннъ сохраняется постояннымъ по высотѣ

(фиг. 279, табл. 39), или же въ зависимости отъ допускаемаго давленія на грунтъ постепенно увеличивается съ примѣненіемъ мѣстами или коническихъ звеньевъ (фиг. 278 *c*, табл. 38), или же при переходѣ ограничиваются горизонтальными уступами (фиг. 278 *e*, табл. 38), усиленными внутренними или наружными консолями изъ листовъ или уголковъ. Опоры взаимно связываются поперечными вертикальными и горизонтальными связями (фиг. 279, табл. 39) или цилиндрической соединительной трубой (фиг. 280, табл. 39). Заполненіе колонны и приспособленіе верхней части для принятія давленія отъ фермъ дѣлается такъ же, какъ и въ опорахъ

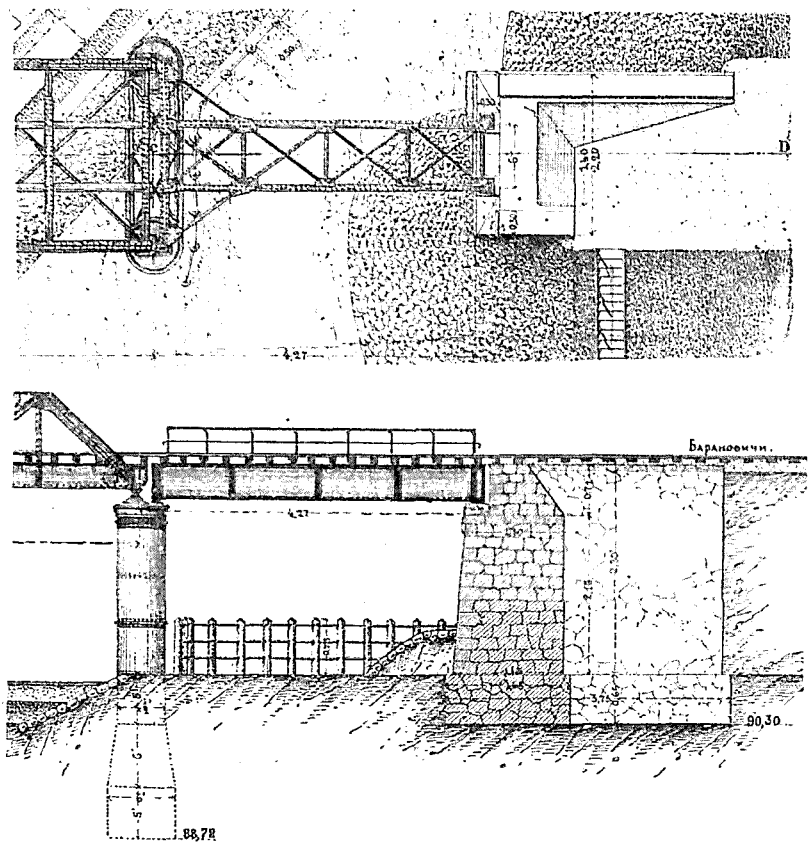


Рис. 616.—Трубчатыя опоры путепровода надъ Московско-Брестскою ж. д. близъ ст. Барановичи.

съ чугунной оболочкой. Если діаметръ не великъ (около 3 ф.) и однообразной величины по всей высотѣ опоры, то погруженіе опоры можетъ быть сдѣлано путемъ завинчиванія въ грунтъ; въ противномъ случаѣ примѣняется вычерпываніе черпаками, норьей, эжекторомъ, или же примѣняется сжатый воздухъ. Наращиваніе трубъ производится по мѣрѣ погруженія.

На рис. 616, 617 и 618 изображены трубчатыя опоры и нѣкоторыя детали віадука, построеннаго въ мѣстѣ пересѣченія Барановичскаго участка Полѣсскихъ ж. д. съ Московско-Брестской ж. д. Пересѣченіе косое и очень острое; послѣднее обстоятельство заставило отказаться отъ примѣненія косого віадука, вслѣдствіе чего при двойномъ пути Московско-Брестской ж. д. прямой віадукъ оказался очень длиннымъ; съ цѣлью сбереженія расходовъ, весь пролетъ былъ раздѣленъ на три части: 4,27 с., 10,90 с. и 4,27 с.; два крайніе пролета перекрываются 4,27 с. фермами съ ѣздою по верху, при взаимномъ разстояніи между фермами

въ 6 ф., а средній пролетъ перекрывается 10,90 саж. фермой съ ѣздою по низу при взаимномъ разстояніи между фермами въ 16 ф. Среднія опоры—трубчатыя, діаметромъ 4,5 ф. вверху и 6 ф. въ основаніи, при толщинѣ оболочки въ $^1/_4$ д., взаимно соединены вверху связями подобно тому, какъ это сдѣлано въ описанныхъ ниже опорахъ моста на Ростово-Владикавказской ж. д.; глубина погруженія 2,21 с.; внутренность колонны заполнена бетономъ, и въ верхнюю часть вдѣланъ подферменный камень. Такъ какъ въ смежныхъ пролетахъ разстоянія между фермами неодинаковы, то концы фермъ малыхъ пролетовъ нельзя было непосредственно опереть на трубчатыя опоры, а пришлось поставить поперечную балку (рис. 616 и 617) и къ ней уже приклепать концы фермъ пролета въ 4,27 с. На рис. 618 показано расположеніе подвижныхъ опорныхъ подушекъ фермы

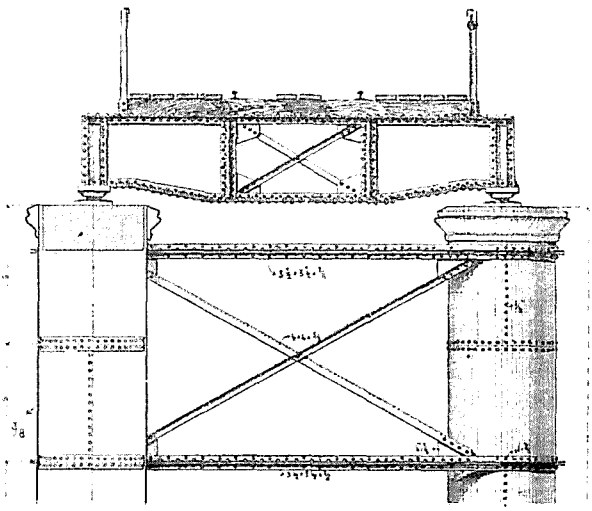


Рис. 617.— Разрѣзъ и фасадъ трубчатыхъ опоръ и опорная поперечная балка путепровода въ Барановичахъ.

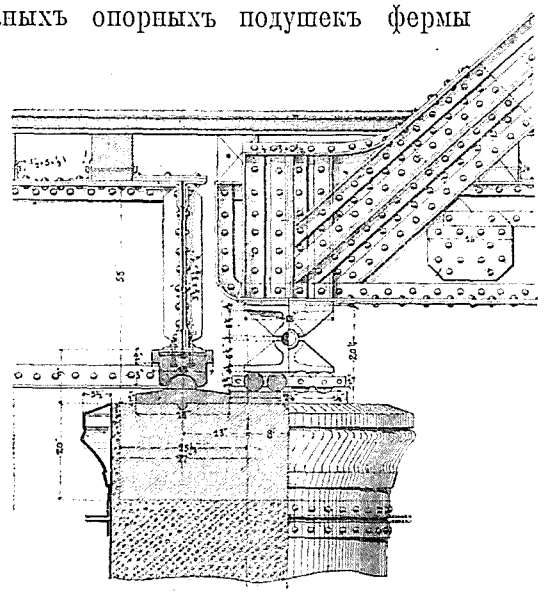


Рис. 618. — Деталь вершины трубчатой опоры и расположеніе опорныхъ подушекъ фермъ путепровода въ Барановичахъ.

и неподвижной опорной подушки поперечной балки, служащей опорой для фермъ пролетомъ 4,27 с. Желѣза въ колоннахъ употреблено 1008 пуд., а въ связяхъ—328 пуд.; бетонной кладки въ колоннахъ—4,1 куб. саж., и каменной кладки въ устояхъ — 26,3 куб. саж.

На фиг. 278 *a*, 278 *b*, таб. 38 показаны трубчатыя опоры моста чрезъ рѣку Аму-Дарью, на Закаснійской жел. дор., погруженныя на глубину до 12 саж. помощью вычерпыванія грунта экскаваторами. Каждая изъ рѣчныхъ опоръ состоитъ изъ двухъ колоннъ на взаимномъ разстояніи между центрами въ 2,60 с., діаметромъ вверху: 8 ф. 8 д. = 1,24 с., а внизу: 12 ф. = 1,72 с., съ двумя промежуточными еще сѣченіями діаметромъ 10 ф. и 11 ф.; переходы отъ одного сѣченія къ другому сдѣланы уступами помощью горизонтальной полки, соединенной уголками со стѣнками обоихъ цилиндровъ; во избѣжаніе отламыванія полки при погруженіи, оба цилиндра въ предѣлахъ уступа связаны короткими изогнутыми уголками. Высота верхнихъ звеньевъ по 5 ф., а нижнихъ—4 ф. 6 д.; толщина стѣнокъ въ двухъ верхнихъ звеньяхъ $^5/_{16}$ д., въ двухъ слѣдующихъ звеньяхъ въ предѣлахъ горизонта измѣненія воды—$^1/_2$ д. на случай ржавчины и удара плавающихъ тѣлъ; затѣмъ на всемъ остальномъ протяженіи ниже межени толщина стѣнки—$^1/_4$ д., за исключеніемъ нижняго звена—гдѣ толщина увеличена до $^3/_8$ д. Горизонтальные

и вертикальные стыки устроены въ притыкъ и перекрыты плоскими накладками. Для возможности производства кладки кольцевого заполненія во время погруженія, въ нижнемъ звенѣ на высотѣ 3 ф. 6 д. отъ ножа устроена горизонтальная кольцевая полка шириною 3 ф. 1 д., поддерживаемая восемью консолями, взаимно связанными уголками; внутренній край кольцевой полки окаймленъ кольцевой балкой F (фиг. 278 a); между этимъ кольцомъ и наружной обшивкой расположенъ поверхъ кольцевой полки рядъ радіальныхъ балочекъ—E. Ножъ нижняго звена, или открытаго кессона, усиленъ съ наружной стороны листомъ $9 \times {}^1/_2$ д., а съ внутренней—уголкомъ $4 \times 4 \times {}^1/_2$ д. Верхняя часть колонны (фиг. 278 b), значительно меньшаго діаметра, чѣмъ смежное колѣно, опирается на широкую въ 19 д. кольцевую горизонтальную полку, окаймленную вертикальнымъ листомъ; чтобы предотвратить прогибъ кольца, второе сверху колѣно и окаймляющій кольцо вертикальный листъ связаны изогнутыми вертикальными уголками, продолженными въ данномъ случаѣ на высоту 8 ф. 6 д. для облегченія болѣе точной установки оболочки верхней части колонны. Внизу, надъ поверхностью дна рѣки, обѣ колонны связаны желѣзнымъ кольцомъ; въ предѣлахъ между низкимъ и высокимъ горизонтомъ колонны обжаты желѣзнымъ кожухомъ изъ котельнаго желѣза; внутри кожуха и выше до карниза помѣщены крестообразныя связи въ вертикальной и горизонтальной плоскостяхъ; раскосы вертикальныхъ связей приклепаны къ планкамъ, прикрѣпленнымъ къ вертикальнымъ полкамъ горизонтальныхъ парныхъ уголковъ, обхватывающихъ по касательной обѣ колонны; діагонали горизонтальныхъ связей приклепаны къ сплошному фасонному листу, зажатому между горизонтальными полками вышеуказанныхъ парныхъ уголковъ и приклепанному кромѣ того къ оболочкѣ колонны помощью изогнутаго по дугѣ круга уголка. Внутренность колоннъ выше кольцевого нижняго потолка заполнена бутовой кладкой; рабочая открытая камера и осевое цилиндрическое ядро, гдѣ перемѣщался экскаваторъ, заполнены бетономъ; наконецъ верхняя часть колонны выше рабочаго горизонта выложена кладкой, заканчивающейся подферменниками.

Экскаваторы, помощью которыхъ производилась выемка грунта, состояли изъ двухъ отдѣльныхъ половинъ изъ толстаго котельнаго желѣза. Съ подъемомъ экскаватора лебедкой на уровень площадки подмостей, подъ него подкатывали телѣжку, раскрывали обѣ половинки экскаватора и отвозили къ краю подмостей выпавшій изъ экскаватора грунтъ. Емкость экскаватора 0,04 куб. саж.; въ теченіе 24 рабоч. часовъ, при работѣ въ три смѣны по 8 часовъ на каждую, при 100—400 оборотахъ вынималось около 4 куб. саж. грунта средней плотности. Одновременно съ выемкой грунта велась кольцевая кладка выше кольцевого потолка; кладка началась еще когда колонны были подвѣшены къ подмостямъ и не касались дна и была доведена до такого уровня, что при постановкѣ колонны на дно поверхность кладки была выше уровня воды внутри кольцевого пространства. По мѣрѣ погруженія происходило наращиваніе звеньевъ. Послѣ опусканія на назначенную глубину, вода, наполнявшая внутреннее пространство, вытѣснялась погружаемымъ бетономъ, доведеннымъ до уровня рабочаго горизонта, а дальше начиналась обыкновенная бутовая кладка. На опусканіе подводной части требовалось около 3—4 мѣсяцевъ. Обѣ колонны опускались одновременно. Береговые устои состоятъ изъ двухъ частей: изъ передней, въ видѣ продолговатаго берегового быка и изъ задней подпорной стѣнки; обѣ части устоя соединяются продольной стѣнкой (подобно фиг. 118, тб. 14), возвышающейся на 0,25 с. выше горизонта высокихъ водъ. Для опусканія передней стѣнки устоя пользовались продолговатымъ открытымъ кессономъ съ обшивкой, возвышавшейся выше рабочаго горизонта; въ потолкѣ кессона было укрѣплено 8 трубъ для перемѣщенія экскаватора. Такимъ образомъ вода поднималась только въ трубахъ, а надъ потолкомъ внутри обшивки и въ промежуткахъ между трубами производилась кладка. Заполненіе бетономъ производилось, какъ и въ быкахъ, помощью бетонныхъ ящиковъ со створчатымъ дномъ. Опусканіе подводной части продолжалось около 2 мѣсяцевъ.

Мостъ состоитъ изъ 25 пролетовъ, каждый по 30 саж. въ свѣту съ расположеніемъ ѣзды по низу; общая длина моста между лицевыми гранями устоевъ: 787,58 саж. Возвышеніе низа фермъ надъ горизонтомъ высокихъ водъ: 3 саж.; наибольшее колебаніе горизонта водъ: 1,35 саж. При наивысшемъ горизонтѣ расходъ рѣки: 1182 куб. саж.; наибольшая глубина 6,43 с.; средній уклонъ $i = 0{,}00024$; средняя скорость около 1,00 с., при наибольшей скорости около 2 саж.; при горизонтѣ на 0,80 с. ниже наивысшаго горизонта—расходъ 95,56 куб. саж. при площади живого сѣченія въ 216 кв. саж. и средней скорости въ 0,45 саж. Ложе рѣки состоитъ въ верхнихъ слояхъ изъ плывуна (лесса), затѣмъ изъ мелкаго чернаго песку, песка съ глиной и на глубинѣ отъ 10 до 11 с. ниже межени—изъ глины; грунтъ легко размываемый; направленіе струй крайне разнообразно; на рѣкѣ замѣчается значительное количество рукавовъ и поперечныхъ теченій, что вызвано расположенными въ большомъ количествѣ по обоимъ берегамъ арыками (оросительными канавами), притягивающими въ мѣстахъ ихъ отдѣленія отъ рѣки струю къ берегамъ, чѣмъ ослабляется сила потока въ серединѣ рѣки и появляется усиленное отложеніе наносовъ по оси рѣчнаго русла. Въ виду сего наиболѣе глубокая часть рѣки находится около береговъ, а по оси расположены мели и острова. Легкая размываемость грунта служитъ также причиной появленія водоворотовъ; всякое случайное препятствіе теченію вызываетъ уже водовороты, достигающіе въ очень незначительный промежутокъ времени громадной величины; это послѣднее обстоятельство и побудило заложить опоры на значительной глубинѣ, хотя средняя расчетная величина однообразнаго размыва вслѣдствіе стѣсненія живого сѣченія дамбой не болѣе—1,5 с. Мостъ оконченъ въ 1901 году и поставленъ почти рядомъ съ существовавшимъ съ 1888 года деревяннымъ мостомъ на свайныхъ опорахъ длиною 1238 саж., подвергавшимся шесть разъ въ теченіе 13 лѣтъ подмыву опоръ съ прекращеніемъ движенія на нѣсколько мѣсяцевъ; расходы на ежегодный ремонтъ достигали 50 тыс. руб. Необходимо замѣтить, что этотъ мостъ имѣлъ временной характеръ и при самомъ сооруженіи былъ предназначенъ лишь для перевозки строительныхъ матеріаловъ и затѣмъ остался неразобраннымъ. Сооруженіе постояннаго моста исполнено въ теченіе $1^1/_2$ года и обошлось, не считая регуляціонныхъ работъ, въ 3.468.000 р., т. е. 7624 руб. за пог. саж. Обыкновенная стоимость мостовъ большихъ отверстій около 6000 р. до 10000 р. за пог. саж.; малая стоимость моста чрезъ р. Аму-Дарью объясняется принятымъ типомъ опоръ и способомъ ихъ погружевія безъ примѣненія сжатаго воздуха.

На фиг. 278 *с*, табл. 38—показаны трубчатыя опоры моста чрезъ р. Лань на Лунинецъ-Гомельскомъ участкѣ Полѣсскихъ жел. дорогъ при величинѣ пролета въ 15 саж.; діаметръ колоннъ вверху—4,5 ф., внизу—6,5 ф.; имѣется еще промежуточное звено діаметромъ: 5,5 ф.; звенья различныхъ діаметровъ соединены коническими звеньями; горизонтальные стыки сдѣланы въ притыкъ и перекрыты внутренними накладками; вертикальные стыки сдѣланы въ нахлестку. Обѣ колонны, находящіяся на взаимномъ разстояніи въ 8 ф. ось отъ оси, при наименьшемъ разстояніи между оболочками въ 1,5 ф.—опускались одновременно; колонны внизу были связаны вертикальнымъ листомъ въ 2 фута, свободно прорѣзавшимъ грунтъ. Выше горизонта ножа обѣ колонны соединены трубчатыми связями. На рис. 619 показано приспособленіе, примѣнявшееся для погруженія опоръ путемъ вычерпыванія грунта норьей. Около мѣста сооруженія опоръ въ сухой части русла были устроены подмости изъ восьми стоекъ, обжатыхъ въ уровнѣ земли парными схватками, раскошенными и связанными вверху обвязкой. Въ парныя схватки были врублены брусья, между которыми образовалось два промежутка, равные діаметру нижняго звена колонны; взаимное ихъ положеніе отвѣчало взаимному разстоянію между колоннами, такъ что они служили какъ бы направляющей рамой. По мѣрѣ погруженія и увеличенія діаметра колоннъ закладывались заклинки между трубой и рамой. Для облегченія погруженія на обѣ трубы опирался помостъ, нагруженный камнемъ и пескомъ. Норья состояла изъ 6 саж. желѣзной рамы, раскошенной планками и снабженной мѣстами валиками для облегченія перемѣщеній норьи. Въ верхней и въ нижней части рамы были установлены помощью подшипниковъ оси съ насаженными на нихъ шестигранными чугунными барабанами діаметромъ 1,5 фута съ предохранителями противъ поперечнаго сдвига звеньевъ норьи. Звенья цѣпи норьи были изъ полосового желѣза $1^1/_2 \times {}^3/_8''$. Черпаки, насаженные черезъ звенья на цѣпь норьи имѣли въ высоту 11,5 д. при ширинѣ въ 12 д. и верхнемъ раскрытіи въ 5 д. Для подъема норьи были установлены вблизи подмостей по двѣ лебедки на каждую колонну; на ось лебедки навивался канатъ съ концомъ, перекинутымъ черезъ блокъ, къ которому прикрѣплялись

на различной высотѣ два крюка, зацѣплявшихся за низъ черпака. Приспособленіе это, очень примитивнаго устройства, не дало благопріятныхъ результатовъ ни въ смыслѣ пониженія стоимости извлеченія грунта, ни въ смыслѣ успѣха работы.

На фиг. 279, табл. 39 показаны винтовыя трубчатыя опоры, примѣненныя на нѣкоторыхъ мостахъ Ростово-Владикавказской желѣзной дороги. Діаметръ колонны 3 фута; толщина оболочки $^1/_4$ дюйма при высотѣ звена въ 6 ф. Къ нижнему звену приклепана чугунная винтовая лопасть. Горизонтальные стыки перекрываются внѣшними накладками, а вертикальные — внутренними. Связь между колоннами выше уровня воды составлена слѣдующимъ образомъ: колонны въ плоскости горизонтальныхъ стыковъ опоясаны уголкомъ, усиленнымъ въ прямыхъ частяхъ пояса вторымъ уголкомъ съ промежуткомъ для помѣщенія прокладки, къ которой приклепаны діагональныя горизонтальныя связи; къ тѣмъ

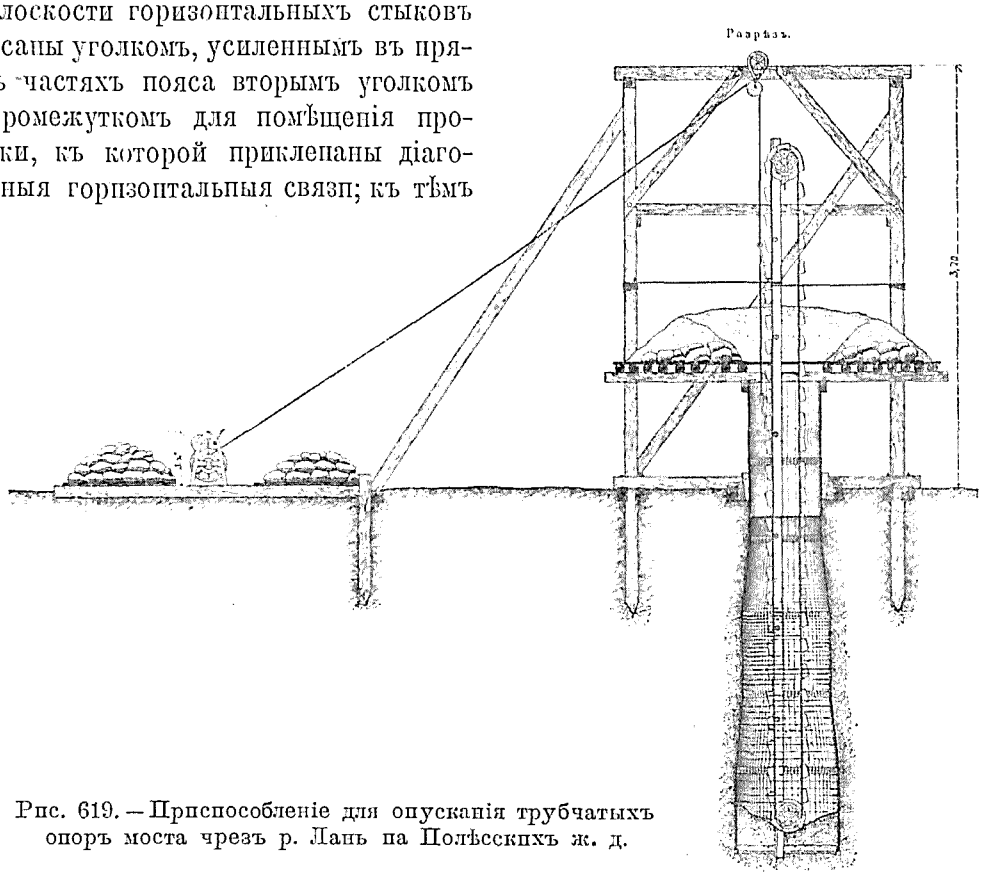


Рис. 619. — Приспособленіе для опусканія трубчатыхъ опоръ моста чрезъ р. Лань на Полѣсскихъ ж. д.

же уголкамъ пояса приклепана и вертикальная планка для прикрѣпленія къ ней вертикальныхъ діагональныхъ связей въ плоскостяхъ касательныхъ къ колоннамъ. Въ вершинѣ колонны въ каменную кладку вдѣлана чугунная кольцевая подушка съ ребордами; къ подушкѣ и къ колоннѣ приболчены части чугуннаго карниза. Поверхъ подушки расположена чугунная опорная доска *a* съ утолщеніями по краямъ (см. разрѣзъ по линіи *EF*) и соединенная съ подушкой болтами *b*. Съ этой доской соединяются наглухо (при неподвижной опорѣ), или по ней могутъ скользить (при подвижной опорѣ) двѣ чугунныя прокладныя плиты *c*, прикрѣпленныя къ нижнимъ поясамъ фермъ двухъ смежныхъ пролетовъ.

На фиг. 280, табл. 39 показана промежуточная опора моста черезъ р. Аа на Риго-Тукумской желѣзной дорогѣ, опущенная въ грунтъ помощью песчанаго эжектора. Рѣчныя опоры моста состоятъ каждая изъ двухъ желѣзныхъ цилиндровъ, діаметромъ 7 футъ, разставленныхъ по оси быка на 17 ф. (2,43 саж.) другъ отъ

друга, что соотвѣтствуетъ разстоянію между осями фермъ. Погруженіе такихъ цилиндровъ въ грунтъ значительно облегчалось довольно однообразнымъ песчанымъ паслоеніемъ дна, что выяснилось при предварительныхъ изслѣдованіяхъ ложа рѣки. Колонны составлены изъ отдѣльныхъ, взаимно склепанныхъ звеньевъ, или колецъ, число которыхъ доходитъ до 9, при высотѣ ихъ въ 7 футъ. Кольца сдѣланы изъ листового желѣза толщиною $\frac{5}{16}$ дюйма для надземной части колонны и $\frac{7}{16}$ дюйма для части, погружаемой въ землю. Нижнее звено, расширяясь къ низу на 0,10 саж., усилено внизу наружною полосою и внутреннимъ уголкомъ, на который упираются 8 контрфорсовъ или консолей, поддерживающихъ потолокъ. Изъ нихъ 4 контрфорса большихъ размѣровъ расположены накрестъ и служатъ для прикрѣпленія подвѣсныхъ цѣпей. Пространство между консолями заполнялось, раньше спуска цилиндра на воду, кирпичною кладкою, при чемъ у потолка образовалось въ центрѣ отверстіе въ 0,50 саж. Вертикальные швы склепаны въ нахлестку; къ горизонтальнымъ кромкамъ листовъ приклепаны съ внутренней стороны уголки, стянутые болтами; такъ какъ трубы, ведущія воду въ эжекторъ, были помѣщены внутри опоры, то заполненіе пришлось вести правильной кольцеобразной кладкой изъ лекальнаго кирпича; кольцевая пустота была впослѣдствіи заполнена бетономъ. Вверху заполненія ьдѣланъ гранитный подферменный камень. Обѣ трубы выше горизонта низкихъ водъ соединены горизонтальной цилиндрической трубой діаметромъ въ 5 ф. изъ желѣза въ $\frac{3}{8}$ д., что сдѣлано, по объясненіе строителя, въ видахъ большаго сопротивленія скручивающимъ усиліямъ при ударѣ льдинъ. Ледорѣзъ, въ формѣ пирамидальнаго носа, приклепанъ къ верховой колоніѣ и представляетъ въ сѣченіи четыреугольникъ съ двумя тупыми и острыми углами; соединеніе листовъ въ тупыхъ углахъ сдѣлано помощью внутреннихъ уголковъ, а въ острыхъ углахъ, соотвѣтствующихъ верхнему и нижнему ребрамъ, листы загнуты и склепаны съ добавочной прокладкой. Внутри ледорѣза къ гранямъ приклепаны для жесткости уголки, между которыми помѣщена крестообразная связь, а въ одномъ мѣстѣ— сплошной листъ съ кольцевымъ отверстіемъ.

На самыя верхнія звенья цилиндровъ насажены чугунные карнизы, которыми замаскировывается неодинаковость верхнихъ реберъ колоннъ, зависящая отъ глубины заложенія колоннъ въ грунтъ.

На фиг. 281, табл. 39 показанъ общій типъ песчаныхъ эжекторовъ. Струя воды, впускаемая въ аппаратъ подъ большимъ напоромъ, поднимаясь вверхъ сквозь узкое коническое отверстіе, всасываетъ, увлекаетъ за собою изъ нижней трубы воду вмѣстѣ съ песчанымъ грунтомъ.

Приведемъ описаніе устройства опоръ моста черезъ р. Аа на Рига-Тукумской желѣзной дорогѣ, опущенныхъ въ грунтъ помощью песчанаго насоса *).

Для погруженія цилиндровъ предстояло воспользоваться или способомъ производства работъ помощью сжатаго воздуха, принимая во вниманіе, въ виду песчанаго строенія почвы, возможность вычерпыванія песчаными насосами, въ родѣ употребленнаго въ St. Louis при опусканіи кессона для моста черезъ р. Миссисипи, или же работать въ открытомъ пространствѣ помощью землечерпанія. По соображеніи различныхъ обстоятельствъ рѣшено было произвести погруженіе колоннъ, обходясь безъ сжатаго воздуха, а пользуясь идеею песчанаго насоса, но съ приспособленіемъ устройства его къ даннымъ условіямъ работъ въ открытой средѣ. Въ виду же попадающихся остатковъ деревъ,

*) Извлечено изъ сообщенія Н. А. Бѣлелюбскаго, читаннаго въ Техническомъ Обществѣ.

скопленія раковинъ, а также болѣе плотнаго грунта, глинистаго или растительной земли — предполагалось воспользоваться водолазомъ, черпаками.

Для производства работъ по устройству опоръ моста устроены были подмости вокругъ мѣстъ, предназначенныхъ для колоннъ быка. Хотя въ иныхъ случаяхъ и можно обходиться безъ постоянныхъ подмостей, но въ данномъ случаѣ предпочтено было воспользоваться ими, въ виду значительныхъ представляемыхъ ими удобствъ относительно подачи матеріаловъ, безопасности работъ и большей правильности въ погруженіи отдѣльныхъ колоннъ, отвѣсное направленіе которыхъ, при малой площади основанія, легко могло бы измѣниться въ случаѣ размыва дна, а также ударовъ льда, плавающихъ тѣлъ и проч.

Подмости составлялись для каждой колонны изъ 4-хъ паръ свай, расположенныхъ накрестъ вдоль быка и по оси моста, причемъ на внутреннихъ сваяхъ помѣщались насадки продольныя и поперечныя для огражденія пространства, внутри котораго должно происходить опусканіе цилиндра, а наружныя продолжались вверхъ для образованія верхняго яруса подмостей. Помощью дополнительныхъ свай по означеннымъ тремъ линіямъ, а также помощью двухъ наружныхъ рядовъ стоекъ, идущихъ параллельно оси быка, образовался остовъ подмостей, а поперечныя и продольныя схватки, приводя все въ общую связь, служили для устройства нижняго помоста въ уровнѣ высокихъ водъ, имѣвшаго назначеніемъ установку всѣхъ машинъ и приводовъ. Въ верхнемъ же ярусѣ подмостей на наружныхъ стойкахъ былъ устроенъ рельсовый путь, по которому ходилъ кранъ, подававшій звенья для наращиванія цилиндровъ по мѣрѣ ихъ опусканія, а на внутреннихъ рядахъ находился помостъ для крановъ, помощью которыхъ собранная часть цилиндра спускалась до дна рѣки.

Устройство песчанаго насоса было приноровлено къ устройству эжектора, при чемъ вода, вгоняемая въ эжекторъ, должна была увлекать съ собою песокъ извнутри цилиндра по восходящей трубкѣ и тѣмъ заставлять цилиндръ погружаться.

На нижнемъ помостѣ помѣщались: локомобиль, паровой насосъ системы Taylor'a, отличающійся тѣмъ, что поршни парового цилиндра и насоса работаютъ въ немъ на общей штангѣ и, наконецъ, на случай надобности, воздуходувная машина. Всего было заготовлено для 6-ти быковъ: три локомобиля въ 12 силъ, два паровыхъ насоса, одинъ скафандръ, три воздуходувныя машины со всѣми принадлежностями, четыре песчаныхъ насоса, землечерпатель и два катучихъ крана силою въ 400 пуд., домкраты и проч. Для зимнихъ работъ подмости были обшиты досками на мху, образуя бараки. Матеріалы: песокъ, камень, цементъ, вода и проч. употреблялись въ дѣло въ нагрѣтомъ состояніи. Изъ 6-ти быковъ 4 были погружены зимою.

Порядокъ работъ по погруженію цилиндровъ до дна рѣки былъ слѣдующій: нижнее расширенное колѣно цилиндра собиралось на помостѣ, временно прикрывавшемъ мѣсто, предназначенное для спуска цилиндра; затѣмъ по задѣлкѣ кладки между контрфорсами нижнее колѣно помощью 4-хъ цѣпей, прикрѣпленныхъ къ консолямъ, приподнималось домкратами и по удаленіи помоста спускалось въ воду. Для насадки слѣдующихъ колѣнъ, а также наращиванія цѣпей, поступали такъ: второе колѣно, подвѣшенное къ крану, при очередномъ разобщеніи съ домкратомъ каждой изъ 4-хъ цѣпей, перемѣщалось круговымъ горизонтальнымъ движеніемъ такъ, чтобы горизонтальныя проекціи цѣпей ложились внутрь основанія колѣна, причемъ постепенно по завершеніи колѣна наращивались самыя цѣпи и соединялись съ домкратомъ. Колѣна цилиндра склепывались между собою помощью уголковъ ($3 \times 3 \times {}^3/_8$ д.), и затѣмъ кладка выводилась колодцемъ въ 0,5 саж. діаметромъ. Такъ происходило опусканіе до дна, и, когда цилиндръ входилъ въ землю, устанавливался эжекторъ, помощью котораго и производилась дальнѣйшая работа.

Объемъ перваго колѣна, занятаго кладкою = 0,34 куб. саж., вѣсъ его съ цѣпями 170 пуд., а вѣсъ кладки 340 пуд., всего 510 пуд.; вѣсъ вытѣсненной воды 202 пуда; вѣсъ каждаго цилиндра съ цѣпями 85 пуд., вѣсъ кладки 589 пуд., всего 674 пуда, а объемъ, занятый кладкою — 0,589 куб. саж.; вѣсъ вытѣсненной воды 349 пуд. Для спуска до дна требовалось наростить два колѣна, изъ которыхъ одно оставалось подъ водой. Согласно приведеннымъ даннымъ дѣйствительный вѣсъ перваго колѣна 510 — 202 = 308 пуд., а на всякую сотую саженп слѣдующаго колѣна въ водѣ прибавляется вѣсъ около 3,25 пуда, а въ воздухѣ 6,75 пуда.

Эжекторъ (фиг. 282 *в*, табл. 39) состоялъ изъ двухъ вертикальныхъ трубокъ: нагнетательной (изъ желѣза) діаметромъ $D_2 = 0{,}05$ метра, при толщинѣ стѣнокъ 0,005 метра и восходящей

$D_1 = 0{,}064$ м., взаимно соединенныхъ внизу сферическимъ колѣномъ. Объ трубки шли параллельно до верху колонны, гдѣ первая изъ нихъ посредствомъ каучуковой трубки діаметромъ 0,05 м. соединялась расширяющимся короткимъ колѣномъ съ паровымъ насосомъ, а вторая направлялась въ барку, служившую для принятія вычерпаннаго песка. Вода, забранная паровымъ насосомъ, вступаетъ, вслѣдствіе коническаго соединенія, съ значительною скоростью чрезъ нагнетательную трубку въ сферическое нижнее колѣно изъ бронзы, откуда частью выходитъ чрезъ мелкія отверстія ($d = 0{,}045$), разрыхляетъ песокъ, а частью, продолжая путь чрезъ конусъ, посаженный на сферическомъ колѣнѣ (высотою 0,102 м.) при діаметрахъ основаній: $d_2 = 0{,}042$ м. и $d_1 = 0{,}0155$ м. входитъ съ большою скоростью черезъ съуженное горло діаметромъ: $D_3 = 0{,}031$ въ восходящую трубку D_1 причемъ увлекаетъ съ собою разрыхленный песокъ. Послѣдній всасывается черезъ кольцевое пространство, имѣющееся вокругъ конуса и сообщающееся съ окружающей средой 6-ю проходами, которые образуются 6-ю ребрами, поддерживающими основаніе восходящей трубы. Ширина кольцевого пространства 0,013 м. Восходящая труба выпускаетъ смѣсь песка и воды въ барку.

Діаметръ насоса равнялся 6 дюймамъ, діаметръ парового цилиндра—12 дюймамъ, ходъ поршня составлялъ 13 дюймовъ при 60 оборотахъ въ минуту. Скорость въ сѣченіи D_3 была на столько велика, что обнаружилось стираніе внутренней поверхности съуженной части восходящей трубы, и послѣ работы для 4-хъ быковъ пришлось внутреннюю часть смѣнить; точно также пришлось смѣнить и насадки въ 5-ти отверстіяхъ сферическаго колѣна.

Для выясненія производительной способности эжектора производили, отнимая ту или другую часть прибора, непосредственныя измѣренія количествъ воды и песка, проходящихъ чрезъ различныя сѣченія прибора, что и позволило вычислить скорости въ соотвѣтствующихъ сѣченіяхъ. Называя скорости въ различныхъ сѣченіяхъ эжектора черезъ V и v, объемъ воды и смѣси, проходящей въ секунду, или расходъ чрезъ Q, діаметры сѣченій чрезъ D и d, на основаніи опытовъ, получимъ слѣдующіе результаты:

Расходъ воды, доставляемой паровымъ насосомъ: $Q = 0{,}011503$ кубич. метра при скорости: $V = 5{,}85$ метра (19 футъ 2 дюйма) въ сек. Этотъ объемъ проходитъ чрезъ конусъ съ отверстіемъ діаметромъ d_1 и чрезъ 5 отверстій діаметромъ d, причемъ $Q = q_1 + q$, если q_1 — расходъ чрезъ конусъ, а q—общій расходъ чрезъ отверстія діаметромъ d. По измѣреніямъ расходъ чрезъ конусъ $q_1 = 0{,}00531$ куб. мет. и скорость $v = 28$ метрамъ (92 фута) въ сек., слѣдовательно, расходъ чрезъ каждое изъ нижнихъ отверстій: $^1/_5\ q = 0{,}00124$ и $v = 63{,}21$ метра (207 футовъ). Эта громадная скорость содѣйствовала сильному разрыхленію земли въ цилиндрѣ. Расходъ смѣси въ восходящей трубѣ, составленной изъ воды, идущей черезъ конусъ, и изъ воды и песка, входящихъ чрезъ кольцевое пространство: $Q_1 = 0{,}010564$ куб. мет. при $V_1 = 3{,}38$ метра (11 футъ). Объемъ смѣси, поступающей извнѣ чрезъ кольцевое пространство: $q_3 = Q_1 - q_1 = 0{,}005254$, а слѣдовательно скорость входящей смѣси: $v_3 = 9{,}28$ метра (30 футъ) при площади сѣченія кольца въ 0,0005661 кв. м. Слѣд. объемъ смѣси, нагнетаемой извнѣ въ часъ: $q_3 = 19{,}91$ куб. метра, или 661 куб. футъ.

Для опредѣленія количества песка, поднимаемаго въ этой смѣси, нужно имѣть въ виду, что въ расходѣ восходящей трубы песку оказалось: $^1/_5$ всей смѣси, т. е. $^1/_5\ Q_1$ или 0,002113 куб. мет. въ секунду, что, по сравненію съ полнымъ расходомъ чрезъ кольцо, т. е. съ $q_3 = 0{,}005254$ к. м., указываетъ, что въ 5 частяхъ смѣси—3 части воды и 2 части песку. Объемъ извлекаемаго песка въ часъ будетъ: $0{,}00213 \times 3600 = 7{,}6068$ куб. метра, а такъ какъ по обмѣрамъ попиженія грунта снаружи вокругъ цилиндровъ во время погруженія ихъ найдено, что изъ всего количества поднимаемаго песка около $^1/_5$ поступаетъ изъ-подъ ножа цилиндра, то полезная работа эжектора въ часъ выразится объемомъ песка: 6,0855 куб. метра, что соотвѣтствуетъ погруженію цилиндра въ часъ на $\frac{6{,}0855}{4{,}30} = 1{,}41$ мет., гдѣ 4,30 площадь основанія цилиндра въ кв. мет. Такой результатъ и получался при чистомъ пескѣ. Такъ какъ расходъ чрезъ восходящую трубу: $Q_1 = 0{,}010564$ куб. мет., а чрезъ кольцевое сѣченіе входитъ смѣси: $q_3 = 0{,}005254$ куб. мет., то отсюда слѣдуетъ, что отношеніе наибольшаго количества добываемой смѣси къ расходу въ восходящей трубѣ было не болѣе $\frac{0{,}010564}{0{,}00526} = {}^1/_2$. Если закрыть нижнія отверстія въ колѣнѣ, то вся вода направится чрезъ конусъ; при этомъ расходъ ея: $q'_1 = 0{,}011503$; $v'_1 = 60{,}96$ метра $= 200$ футъ; объемъ смѣси, нагнетаемой изъ цилиндра: $q_3 = 0{,}008627$ и $v'_1 = 15{,}24$ метра $= 50$ футъ въ сек.

Слѣдовательно, еслибы былъ совершенно чистый песокъ, то погруженіе цилиндра должно было бы идти со скоростью 1,41 метра въ часъ; но такъ какъ попадались мелкія ракушки, остатки отъ деревъ, которые могли засорять собою въ эжекторѣ проходы для смѣси, то приходилось останавливать работу и, вынувъ приборъ, работать другимъ способомъ. Практичнѣе всего оказалось въ подобныхъ случаяхъ употребленіе землечерпателя и особенно тогда, когда внизу цилиндра скоплялось много остатковъ деревьевъ и другихъ предметовъ. Землечерпатель (drague) представлялъ собою полусферу, раздѣленную на двѣ четверти, вращающіяся около оси, за которую и былъ подвѣшенъ весь аппаратъ. Снизу четверти были снабжены заходящими другъ за друга зубьями; при спускѣ аппарата четверти захватывали помощью зубьевъ попадающіяся имъ тѣла и, сближаясь при обратномъ движеніи прибора, поднимали съ собою захваченные ими предметы.

Число дней, употребленныхъ на опусканіе 12 колецъ, составило 210 при общей глубинѣ опусканія въ 71,17 саж. (въ отдѣльности глубина погруженія цилиндровъ въ грунтъ измѣнялась отъ 5,53 до 6,40 саж.); отсюда, среднее погруженіе въ сутки 0,34 саж. Въ дѣйствительности же собственно на опусканіе употреблено 110 дней, что дастъ среднее суточное опусканіе: 0,65 саж. Всѣ работы можно было бы произвести гораздо скорѣе, еслибы не было задержки въ устройствѣ подмостей, а также въ доставкѣ матеріаловъ.

По окончаніи погруженія цилиндровъ внутренній колодезь заполнялся бетономъ, причемъ по заливкѣ нижняго колѣна воду вычерпывали. По окончаніи погруженія обоихъ цилиндровъ для одного и того же быка прикленывалось девятое колѣно къ верхнему цилиндру, а также и ледорѣзъ; далѣе прикрѣплялась горизонтальная соединительная труба и, наконецъ, девятое колѣно къ низовому цилиндру. Внутренность цилиндра, начиная съ горизонта на 0,50 ниже низкихъ водъ заполнялась до верху бутовою кладкою, на которую и укладывались подферменные камни. Въ линіи карниза насаживалось на болтахъ чугунное покрытіе, для прикрѣпленія котораго къ цилиндру дырья въ послѣднемъ просверливались на мѣстѣ. Подферменные камни (въ 0.20 саж. высотою) выступаютъ изъ-за карниза на 0,12 саж., причемъ свободное пространство внутри карниза заполнено бетономъ.

Расширеніе нижняго кольца цилиндра принесло существенную пользу тѣмъ, что, прорѣзая грунтъ бо́льшимъ діаметромъ, чѣмъ самъ цилиндръ, уменьшало треніе земли о стѣнки цилиндра, а въ особенности облегчался проходъ черезъ слой земли съ органическими остатками. Въ послѣднемъ случаѣ иногда пользовались выкачиваніемъ воды изъ цилиндра, причемъ, вслѣдствіе давленія наружнаго столба воды, этотъ слой земли, все-таки относительно слабый, вдавливался внутрь, и для вычерпыванія являлся на помощь землечерпатель.

Кессоны.—Общее описаніе. Къ группѣ трубчатыхъ опоръ относятся *опоры, погруженныя при помощи кессоновъ.* Кессонъ (фиг. 283, табл. 39 фиг. 304, табл. 42). какъ извѣстно, состоитъ изъ нижней рабочей камеры (обыкновенно изъ котельнаго желѣза, изъ дерева или изъ сводчатой кладки), соединенной помощью вертикальныхъ трубъ (шахтъ—желѣзныхъ или чугунныхъ) со шлюзными камерами. Шахты служатъ какъ для спуска рабочихъ въ камеру, такъ и для подъема грунта. Въ стѣнки шлюза вдѣланы крапы, на которые съ наружной стороны шлюза надѣвается гуттаперчевая кишка отъ воздуходувной машины, помощью которой нагнетается сжатый воздухъ въ рабочую камеру. Выше потолка камеры желѣзная обшивка толщиною $^1/_4$ дюйма или $^1/_8$ дюйма или деревянная обшивка продолжается до высоты, равной предполагаемой глубинѣ заложенія, или же этой обшивки совсѣмъ не дѣлаютъ. Это, впрочемъ, можетъ быть допущено въ грунтахъ, непредставляющихъ значительнаго тренія, такъ какъ бывали случаи, что не окрѣпнувшая кладка, вслѣдствіе значительнаго бокового тренія, разрывалась и давала поперечную трещину. По постановкѣ кессона съ частью наружной обшивки и шахтовыхъ трубъ на назначеннымъ на рѣкѣ мѣстѣ—онъ удерживается или на вѣсу при помощи подвѣсныхъ цѣпей къ подмостямъ или на плаву, при чемъ въ послѣд-

немъ случаѣ въ зависимости отъ вѣса кессона вода заполняетъ часть или всю рабочую камеру или даже поднимается по открытымъ шахтовымъ трубамъ до уровня воды въ рѣкѣ. Въ это же время на потолкѣ кессона, какъ въ понтонномъ ящикѣ, начинаютъ выводить кладку, по мѣрѣ возведенія которой кессонъ опускается ниже и наконецъ становится на дно рѣки; одновременно наружная обшивка и шахтовыя трубы постепенно наращиваются. Когда кессонъ встанетъ на дно рѣки, прикрѣпляютъ къ шахтовымъ трубамъ шлюзныя камеры, нагнетаютъ воздуходувной машиной воздухъ, который вытѣсняетъ воду изъ шахтовыхъ трубъ и изъ рабочей камеры. По обнаженіи дна, рабочіе опускаются по шахтовой трубѣ въ камеру, подкапываются подъ нижнюю кромку кессона, отчего кессонъ, благодаря своей тяжести, опускается; вынутый же грунтъ поднимается вверхъ въ шлюзную камеру, откуда выбрасывается наружу; во все это время сжатый воздухъ постоянно накачивается. Когда кессонъ опустится на надлежащую глубину, закладываютъ кладкой рабочую камеру и шахтовыя трубы и продолжаютъ вести дальнѣйшую кладку выше уровня воды.

Опишемъ въ короткихъ словахъ устройство камеры, шлюзовъ, шахтовыхъ трубъ, а также различные способы, употребляемые для извлеченія грунта и нѣкоторыя мѣры, примѣняемыя при погруженіи кессоновъ.

Желѣзная рабочая камера кессона.—Высота камеры бываетъ обыкновенно отъ 7 до 10 футъ. Наружное очертаніе рабочей камеры соотвѣтствуетъ предполагаемому очертанію основанія опоры; очертаніе бываетъ овальное, прямоугольное или многоугольное. Потолокъ камеры долженъ быть устроенъ крайне прочно, такъ какъ во время погруженія кессона онъ поддерживаетъ весь массивъ каменной надстройки. Съ этой цѣлью на высотѣ предполагаемаго потолка, между двумя противоположными стѣнками кессона, наиболѣе сближенными (фиг. 283, табл. 39, фиг. 285 *а*. табл. 40 и фиг. 290 *а*, табл. 41), помѣщается рядъ поперечныхъ балокъ двутавроваго сѣченія на разстояніи $3' - 4'$, между которыми зажаты болѣе низкія продольныя балочки, но такъ, что нижнія грани обоихъ рядовъ балочекъ находятся въ одной плоскости; къ этимъ балкамъ снизу приклепывается потолокъ изъ котельнаго желѣза толщиною $^3/_8$ д. или $^1/_2$ д., въ которомъ оставляютъ отверстія для шахтовыхъ трубъ круглаго или эллиптическаго сѣченія съ діаметромъ отъ $3'$ до $5'$. Для того, чтобы грузъ кладки передавался непосредственно поперечнымъ балкамъ—между ними складываются сводики изъ кирпича, камня или бетона. Продольныя же балочки, помѣщенныя между поперечными, служатъ для увеличенія жесткости потолка, подраздѣляя на меньшіе участки площадь листовъ потолка, подвергающихся изгибу отъ давленія сжатаго воздуха. Разстояніе между поперечными балками дѣлается равнымъ ширинѣ листовъ потолка для того, чтобы листы нижнихъ поясовъ балокъ могли служить стыковыми планками. Во избѣжаніе выпучиванія боковыхъ стѣнокъ рабочей камеры, вслѣдствіе принимаемаго ими давленія отъ поперечныхъ балокъ,—помѣщаютъ подъ каждой поперечной балкой, а въ закругленныхъ частяхъ на взаимномъ разстояніи около $3 - 4$ футъ—рядъ консолей или кронштейновъ изъ листовъ котельнаго желѣза, причемъ кронштейны соединяются уголками какъ съ потолкомъ, такъ и со стѣнкой камеры; консоли служатъ вмѣстѣ съ тѣмъ ребордами, къ которымъ прикрѣпляются снаружи листы, составляющіе стѣнки камеры; консоли связаны между собою въ двухъ или трехъ мѣстахъ по высотѣ легкими балочками, поставленными плашмя. Болѣе удобно для боковыхъ стѣнъ употреблять листы, шириною равные разстоянію между кронштейнами и такой длины, чтобы листъ, поставлен-

ный вертикально, былъ равенъ полной высотѣ боковой стѣнки кессона; тогда получается одинъ вертикальный стыкъ противъ кронштейна, закрываемый снаружи планкою. Такимъ образомъ были устроены боковыя стѣнки кессона моста въ Ковровѣ черезъ р. Клязьму и въ г. Ригѣ черезъ р. Западную Двину. Такое устройство уменьшаетъ число стыковъ и дѣлаетъ болѣе легкимъ достиженіе непроницаемости кессона для воздуха. Листы боковыхъ стѣнокъ камеры соединяются съ листами потолка помощью углового желѣза, которое расположено внутри кессона; для того, чтобы кронштейны не препятствовали помѣщенію этого уголка, прямой уголъ кронштейна закругляется (См. также фиг. 285 *a*), или же срѣзывается съ помѣщеніемъ фасонной накладки.

Обыкновенно до погруженія кессона, пока еще онъ стоитъ на подмостяхъ, пространство между консолями задѣлывается кладкой съ тою цѣлью, чтобы увеличить сопротивленіе обшивки давленію воды и земли. Кромѣ того эта задѣлка образуетъ какъ бы основаніе, на которое во время погруженія опирается кладка быка. Задѣлка эта устраивается слѣдующимъ образомъ (фиг. 282 *a*, табл. 39). Къ стѣнкамъ консолей на нѣкоторомъ разстояніи отъ ножа приклепываются горизонтальные уголки, на которые упираются пяты сводика. Поверхъ этого сводика ведется кладка горизонтальными рядами, но съ напусками, при чемъ напуски также ограничены въ каждомъ ряду горизонтально расположенными сводиками, опирающимися пятами на уголокъ, приклепанный къ наклонному ребру кронштейна.

Ножъ камеры, т. е. нижняя часть кессона, устраивается особенно прочно, въ виду возможности поврежденія, если во время работъ попадетъ камень и проч.; онъ усиливается обыкновенно приклепываніемъ уголка и двухъ или болѣе узкихъ полосъ котельнаго желѣза. Заклепочныя головки, во избѣжаніе значительнаго тренія, дѣлаются съ внѣшней стороны втопленными. На фиг. 282 *a*, табл. 39, показано устройство ножа кессона моста черезъ р. Рейнъ у Гермерсгейма; ширина наружной полосы 180 миллим., толщина 18 миллим.

При длинныхъ кессонахъ во избѣжаніе выпучиванія помѣщаютъ сверхъ того одну или болѣе поперечныя балки или распорки, связывающія двѣ противоположныя консоли. Такъ напр. въ изображеніемъ на фиг. 285 *a*, табл. 40 кессонѣ Мстинскаго моста между двумя парами консолей были помѣщены распорки высотою 15″, не имѣвшія впрочемъ большого значенія, такъ какъ при осадкѣ кессона онѣ были согнуты и сорваны, а между двумя другими парами была помѣщена сплошная стѣнка высотою 5′ 4″, не доходившая до низу на 2′, въ которой были сдѣланы прорѣзы для прохода рабочихъ. Въ кессонѣ Александровскаго моста черезъ р. Волгу при ширинѣ въ 7,036 м., для увеличенія жесткости стѣнокъ сдѣланы были двѣ сплошныя перегородки во всю высоту камеры, которыя подраздѣляли камеру на три части, сообщавшіяся посредствомъ двухъ дверей въ каждой перегородкѣ; но мѣра эта оказалась неудобной, такъ какъ мѣшала правильной работѣ и кромѣ того при внезапныхъ осадкахъ увеличивала опасность въ виду трудности найти скоро двери. Въ рабочей камерѣ кессона Тропцкаго моста въ Петербургѣ (фиг. 336, табл. 50), противоположныя долевыя стѣнки камеры для увеличенія жесткости соединены были сквозными поперечными балками трубчатаго сѣченія, высотою въ 2,25 метр.

Вѣсъ желѣза въ рабочей камерѣ для желѣзнодорожныхъ мостовъ, подъ одинъ путь при площади кессона около 25 кв. саж. — составляетъ около 3,000 пуд.

Наружная обшивка выше потолка (рубашка кессона). Эта послѣдняя безусловно необходима, когда кессонъ удерживается на плаву. Кромѣ того она

весьма полезна и во всѣхъ остальныхъ случаяхъ, такъ какъ позволяетъ вести кладку подъ потолкомъ внѣ зависимости отъ иоложенія горизонта воды, она предохраняетъ кладку отъ разрыва вслѣдствіе тренія о грунтъ и проч. Обшивка эта составляетъ непосредственное продолженіе обшивки рабочей камеры; она дѣлается изъ листовъ толщиною около $^3/_{16}$ д.; стыки перекрываются въ нахлестку въ той части обшивки, которая будетъ ниже поверхности земли, а также и въ надземной части обшивки, если ее предполагается оставить. Въ случаѣ же, если надземная обшивка будетъ снята, то смежные пояса обшивки соединяются болтами, пропущенными сквозь уголки, которые приклепаны съ внутренней стороны съ прокладкой между уголками каучуковыхъ полосъ; пространство между поверхностью кладки и виутреиией поверхностью обшивки оставляютъ незаполненнымъ кладкой; по окончаніи опусканія снимаютъ стяжные болты и кранами поднимаютъ по частямъ обшивку. Во избѣжаніе выпучиванія отъ давленія воды, рубашка усиливается вертикальными уголками и горизонтальными кольцами шириною около 20 д.; кромѣ того ставятся распорки, упирающіяся въ деревянныя обвязки. Иногда, какъ это напр. было сдѣлано въ кессонахъ, употребленныхъ при сооруженіи моста Имп. Александра II въ Петербургѣ (фиг. 288, табл. 40), стѣики выше потолка усиливаются сквозными вертикальными кронштейнами.

По окончаніи опусканія кессона рабочая камера задѣлывается кладкой или бетономъ, причемъ должно быть обращено особенное вниманіе на совершенное заполиеніе кладкой угловъ, съ подведеніемъ кладки вплотную подъ потолокъ. Иногда рабочая камера заполняется пескомъ.

Привѣсныя цѣпи. Если при дальнѣйшемъ опусканіи не разсчитываютъ на треніе, а также если кессонъ удерживается на водѣ не на плаву, то онъ подвѣшивается помощью цѣпей, штаигъ, къ подмостямъ. Цѣпи, состоящія изъ полосъ, помѣщаются внутри обшивки, непосредственно надъ потолкомъ и прикрѣпляются къ обшивкѣ или къ поперечнымъ балкамъ (фиг. 285 *б* и фиг. 287, табл. 40). Верхнее звено цѣпи, постепенно наращиваемое, соединяется съ винтомъ домкрата. Гайки домкратовъ всѣхъ цѣпей приводятся одновременно во вращеніе на одинаковый уголъ поворота, для чего ключи всѣхъ домкратовъ соединяются общей тягой. Впрочемъ, въ послѣднее время отступаютъ отъ этого приспособленія (мостъ чрезъ р. Эльбу близъ Лауенбурга) и считаютъ болѣе обезпеченнымъ ставить рабочихъ иа каждый ключъ. Этимъ путемъ, смотря по большей или меньшей трудности поворота ключа, скорѣе можно обнаружить неодинаковую натянутость цѣпей, между тѣмъ какъ при прежнемъ приспособленіи единственнымъ указаніемъ неодинаковости натяженія служила различная высота тона при ударѣ молоткомъ по цѣпи—что составляло ненадежный признакъ. Цѣпи дѣлаются двойныя (фнг. 285 *б*, табл. 40) для того, чтобы во время наращиванія одной изъ нихъ кессонъ могъ быть поддержанъ другой цѣпью, или же примѣняются какія-либо другія мѣры.

На фиг. 285 *а*, 285 *б*, 286 *а*, 286 *б*, табл. 40, показаны нѣкоторыя детали устройства камеры кессопа опоръ Мстинскаго моста на Николаевской желѣзной дорогѣ, а также и привѣсныхъ цѣпей. Длина камеры—107′ 6″; ширина—28′ 8″, при высотѣ въ 8′4″; высота поперечныхъ балокъ потолка—3′ 6″; высота продольныхъ балокъ—2′; въ потолкѣ 3 отверстія, изъ которыхъ среднее, эллиптическое, назначено для спуска рабочихъ, а два крайнія, круглыя—для подъема грунта. Консоли связаны однимъ рядомъ горизонтальныхъ балочекъ и рядомъ уголковъ, изогнутыхъ подко-

вой; края консолп усилены двумя прокладками и уголками; оболочка камеры составлена изъ листовъ $^5/_{16}''$; ножъ кессона высотою 8,25 д. усиленъ уголкомъ и тремя полосами толщиною въ $^1/_2''$ п $^3/_4''$. Толщина потолка $^3/_8''$; между двумя парами консолей помѣщены распорки высотою 15″, а между двумя другими парами помѣщена поперечная сплошная стѣнка высотою 6′ 4″, не доходящая до низу на 2′. Обшивка выше камеры сдѣлана изъ желѣза толщиною $^1/_8$ д. и во избѣжаніе короблепія усилена вертикальными уголками и горизонтальными кольцами. На фиг. 285 *б*, табл. 40 показаны детали устроіїства привѣспыхъ цѣпей, по двѣ цѣпи около каждой второй поперечной балки. Эти цѣпи, помощью которыхъ кессонъ во все время опусканія былъ подвѣшенъ къ подмостямъ, имѣли назначеніе предупредить внезапное опусканіе кессона при проходѣ слоя жидкаго песка толщиною 1,37 саж., залегавшаго на глубинѣ 4,10 саж.; (въ дѣйствнтельности же боковое треніе въ верхнихъ глинистыхъ грунтахъ было настолько велико, что цѣпи оказались излишними). Во избѣжаніе затрудненій для движенія кессона въ груптѣ, подвѣшиваніе дѣлалось съ внутренней стороны обшивки. Для сего по обѣ стороны поперечной балки прикрѣплена была планка длиною 3′ 6″ и шириною 2′ 4,5″, и къ ней приклепаны два листа шириною 13″ и высотою 3′ 11″, къ которымъ приболчивались плоскіе тяжи, шириною 12,5 д. и толщиною 1 д. Первые тяжи были длиною 3 ф., а слѣдующіе по 9 ф. Нижнія звенья тяжей, которыя приходились ниже поверхности земли, были плоскія, а слѣдующія выше меженп состояли изъ съемныхъ штангъ изъ двухъ полосъ $6'' \times 1''$. Верхняя штанга соединялась 3 д. болтомъ съ винтомъ домкрата. Домкраты состояли (фиг. 286 *а* и 286 *б*, табл. 40) изъ чугунной подкладки, винта длиною 10 ф. и діаметромъ 2,5 д.; изъ бронзовой муфты съ винтовыми нарѣзками внутри, изъ желѣзнаго зубчатаго колеса діаметромъ 1 ф. и изъ желѣзнаго ключа съ собачкою для вращенія муфты. Всѣ ключи связаны были одной общей тягой, чѣмъ достигалось равномѣрное опусканіе кессона. На фиг: 286 *б*, табл. 40 показано детальное устройство ключа. Онъ состоитъ изъ рукоятки L и двухъ планокъ E, прикрѣпленныхъ къ рукояткѣ съ двухъ сторонъ; между обѣими планками помѣщены двѣ собачки I, вращающіяся около особыхъ вертикальныхъ осей; собачки всегда нажимаются сильной пружиной, прикрѣпленной къ рукояткѣ. Планки E имѣютъ круглое отверстіе, соотвѣтствующее діаметру цилиндрической части гайки. Кромѣ того имѣются особые шпеньки k, вращая которые можно было отклонить собачки на столько, чтобы онѣ не задѣвали за зубцы колеса. На одномъ изъ кессоновъ площадью 58,82 кв. саж., при общемъ вѣсѣ въ 262000 пуд., включая и кладку, было поставлено 67 цѣпей; слѣд. на каждую цѣпь, за вычетомъ 60.500 пуд. тренія (по 400 пуд. на кв. саж.), приходилось около 3000 пуд.

При сооруженіи моста черезъ р. Рейнъ у Гермерсгеима, прикрѣпленіе привѣсныхъ цѣпей было слѣдующее: Половинное число кронштейновъ и поперечныхъ балокъ были двоіїные; разстояніе между парными балками было 0,20 метра. Надъ потолкомъ кессона въ наружной обшивкѣ противъ промежутка между двумя поперечными балками, а также и въ этихъ послѣднихъ были сдѣланы небольшія отверстія, куда входили выступы стальнаго вкладыша (фиг. 284, табл. 40). Для увеличенія сопротивленія листовъ обшивки и поперечныхъ балокъ смятію были приклепаны небольшія планки. Вкладышъ имѣлъ цилиндрическое отверстіе съ внутренней винтовой нарѣзкой, куда ввинчивалась 96 миллим. штанга привѣсной цѣпи. Такъ какъ здѣсь парныхъ цѣпей не было, то паращиваніе цѣпеіі производилось слѣдующимъ образомъ (фиг. 287, табл. 40): послѣ того, какъ винтъ A опускался на

значительную величину, верхній конецъ послѣдняго звена обжимали двумя плапками (n, m), къ которымъ прикрѣплялись двѣ вспомогательныя штапги (p, p) съ винтовою нарѣзкой. Подвинтивъ вверху гайки на столько, чтобы весь грузъ передался па эти штанги, разболчивали соединеніе звена съ винтовой штангой A и эту послѣднюю ввинчивали вверхъ на столько, чтобы помѣстить слѣдующее звено (длипою 2,2 метра); затѣмъ снова соединяли штангу со звеномъ и отпускали гайки вспомогательныхъ штангъ, передавая виовь давленіе па главную штангу. Подобный пріемъ, по сравненію съ парными цѣпями, имѣетъ то преимущество, что привѣсная цѣпь всегда остается напряженной; между тѣмъ какъ при парныхъ цѣпяхъ напряженіе мѣняется отъ пуля до довольно значительной величины, что па основаніи опытовъ Волера вредно для прочности матеріала.

Подобный же типъ цѣпей былъ примѣненъ при опусканіи каменнаго кессона опоръ моста чрезъ р. Эльбу близъ Лауенбурга. Отличіе состояло въ томъ, что по обѣ стороны винта домкрата къ общей чугунной подкладкѣ были прикрѣплены спускающіяся внизъ парныя подвѣски опредѣленной длины, изъ взаимно разставленныхъ полосъ; въ нижней части между полосами была проложена прокладка, прикрѣпленная болтами. Соединеніе нижнихъ звеньевъ цѣпи, а также соединеніе звена съ винтомъ домкрата достигалось парными накладками, стянутыми болтами; въ средней части накладокъ были оставлены продолговатыя отверстія, въ которыя можно было просунуть клинья. Когда винтъ домкрата былъ настолько опущенъ, что конецъ его приходился противъ оконечностей парныхъ подвѣсокъ, просовывали клинья чрезъ овальныя отверстія въ накладкахъ такъ, чтобы концы клиньевъ проходили въ просвѣтъ между полосами парныхъ подвѣсокъ; при дальнѣйшемъ опусканіи — концы клиньевъ, скользя между полосами, уперлись наконецъ въ прокладку, зажатую между полосами, и тогда весь грузъ могъ быть уже переданъ на подвѣски. Вслѣдъ за симъ разболчивали соединеніе винта домкрата со звеномъ, ввинчивали винтъ вверхъ, вставляли новое звено и соединяли его съ винтомъ накладками; для освобожденія клиньевъ приходилось затѣмъ вывинтить на незначительную величину винтъ домкрата и обратнымъ движеніемъ рукоятки ключа продолжать дальнѣйшее опусканіе. Діаметръ привѣсныхъ штангъ составлялъ 60 м.м.; нагрузка на штангу доходила до 18000 кил. Опусканіе до встрѣчи съ дномъ рѣки шло со скоростью 1,5 м. въ $1^1/_2$—2 часа.

Весьма затруднительно поддерживать равномѣрную натянутость цѣпей; не смотря на принимаемыя предосторожности, бываютъ случаи разрыва нѣкоторыхъ цѣпей. Въ виду сего подвѣшиваніе кессона во время погруженія признается нѣкоторыми даже небезопаснымъ.

Примѣры. На фиг. 283, табл. 39 показанъ планъ и разрѣзы камеры и металлической обшивки кессона быка моста черезъ р. Вислу въ Варшавѣ, на соединительной желѣзнодорожной вѣтви. Высота поперечныхъ балокъ потолка 2′ 6″; высота продольныхъ 1′ 6″; длина поперечныхъ балокъ: 15′; длина продольныхъ около 3′; наибольшее разстояніе между продольными балками 6 футъ; толщина листа потолка $^3/_8$″; толщина листа въ консоляхъ—$^5/_8$″: толщина листовъ камеры—$^3/_8$″; высота камеры—10′; по серединѣ камеры двѣ противоположныя консоли, связанныя въ нижнихъ частяхъ сплошной поперечной балкой высотою 2′ 10″; консоли связаны тройнымъ рядомъ продольныхъ балочекъ, расположенныхъ плашмя.

На фиг. 290 *а* и фиг. 290 *б* таб. 41 *) изображено устройство кессоновъ быковъ Кіевскаго моста и моста у г. Кременчуга.

Потолокъ кессона устроенъ слѣдующимъ образомъ: поперечныя балки mm (фиг. 290 *а*) 20 дюймовъ высоты, въ видѣ двойного ⊤, расположены на разстояніи $3^1/_2$ футъ одна отъ другой, перпендикулярно къ продольной оси кессона. Стѣнка балки котельнаго желѣза 20 дюймовъ высоты и $^3/_8$ дюйма толщины; пояса

*) Извлечено изъ статьи Г. Березина.

состоятъ: верхній изъ двухъ уголковъ 4 д. × 3 д. × $^1/_2$ д. и изъ листа 8 д. × $^1/_2$ д.; нижній—изъ двухъ уголковъ 3 д. × 3 д. × $^3/_8$ д. и листа 8 д. × $^3/_8$ д. Этотъ же листъ нижняго пояса балки закрываетъ поперечный стыкъ листовъ потолка. Листы потолка, длиною равные половинѣ ширины кессона, имѣютъ ширину $3^1/_2$ фута и $^3/_8$ дюйма толщины. Продольныя балочки расположены между поперечными, по 4 въ рядъ, на равныхъ разстояніяхъ; высота продольныхъ балочекъ 1 футъ; толщина $^3/_8$ дюйма; пояса состоятъ изъ двухъ уголковъ $2^1/_2$ д. × $2^1/_2$ д. × $^3/_8$ д. Балочки эти приклепаны своими концами къ поперечнымъ балкамъ помощью уголковъ; къ потолку же кессона онѣ не были приклепаны, такъ какъ клепка эта весьма стѣснена и представляетъ много трудностей для хорошаго ея выполненія. Въ закругленной части кессона балки расположены слѣдующимъ образомъ: къ балкѣ *AB*, идущей по оси кессона, прилегаютъ двѣ изогнутыя балки *CD*, съ которыми склепаны балочки *ab*, идущія по направленію радіусовъ. Профиль балки *AB* одинаковъ съ профилью поперечныхъ балокъ *mm*. Ребра балокъ *CD* и *ab* 20 дюймовъ высоты и $^3/_8$ дюйма толщины; пояса состоятъ каждый изъ двухъ уголковъ $2^1/_2$ д. × $2^1/_2$ д. × $^3/_8$ д. Для входа внутрь кессона въ потолкѣ между поперечными балками сдѣланы отверстія, надъ которыми устанавливаются шахтовыя трубы, приклепанныя консолями *F* къ поперечнымъ балкамъ (фиг. 290 *б*). Кронштейны расположены въ прямой части кессона подъ поперечными балками *mm*, а въ закругленной—подъ балками *ab* и *AB*. Каждый кронштейнъ состоитъ изъ стѣнки отъ $^3/_{16}$ дюйма до $^1/_4$ дюйма толщины, окаймленной кругомъ угловымъ желѣзомъ 3 д. × 4 д. × $^3/_8$ д.; на половинѣ высоты стѣнка кронштейна усилена наклоннымъ уголкомъ $2^1/_2$ × $2^1/_2$ д. × $^3/_8$ д. Боковыя стѣны рабочей камеры состоятъ изъ двухъ вѣнцовъ котельнаго желѣза: листы нижняго вѣнца, при размѣрахъ 7 ф. × $3^1/_2$ ф. × $^3/_8$ д., расположены длиною своею горизонтально (фиг. 290 *а* и 290 *б*), а листы верхняго вѣнца, при той же длинѣ и ширинѣ и при толщинѣ $^1/_4$ д.—поставлены стоймя. Вертикальные стыки листовъ располагались по линіи кронштейновъ и въ верхнемъ вѣнцѣ закрывались накладкой 5 д. × $^3/_8$ д. снаружи, а въ нижнемъ—изнутри листовъ; накладка служила вмѣстѣ съ тѣмъ и прокладкой между листами и кронштейномъ. Въ кессонѣ Кременчугскаго моста (фиг. 290 *б*) горизонтальный стыкъ вѣнцовъ сдѣланъ въ нахлестку. Боковыя стѣнки кессона между кронштейнами усилены въ двухъ мѣстахъ отрѣзками (фиг. 290 *а*) углового желѣза въ 3 д. × 3 д. × $^3/_8$ д. Нижняя часть стѣнъ кессона, образующая ножъ, устроена слѣдующимъ образомъ: снаружи листовъ стѣнки расположенъ вѣнецъ (фиг. 290 *б*) изъ листовъ котельнаго желѣза 20 д. × $^1/_2$ д.; на немъ лежитъ вѣнецъ изъ желѣза 9 д. × $^3/_4$ д.; затѣмъ съ внутренней стороны стѣнки помѣщены—уголокъ 4 д. × 4 д. × $^1/_2$ д., прокладка $3^1/_2$ д. и накладка шириною 6 д.; такимъ образомъ общая толщина ножа внизу кессона составляетъ $2^1/_2$ д. При изготовленіи первыхъ кессоновъ Кіевскаго моста ножъ кессона дѣлался нѣсколько слабѣе, но опытъ показалъ, что слѣдовало его усилить; при показанныхъ здѣсь размѣрахъ онъ оказался вполнѣ прочнымъ даже при твердомъ гранитномъ грунтѣ, въ которомъ приходилось работать при сооруженіи Кременчугскаго моста.

На рис. 336, таб. 50 показанъ планъ, часть продольнаго и поперечный разрѣзъ камеры кессона Троицкаго моста въ Петербургѣ. Кессонъ сообразно очертанію быка (см. фиг. 143, таб. 16) имѣетъ несимметричное очертаніе относительно продольной и поперечной оси. Благодаря значительной ширинѣ камеры, поперечныя балки длиною 13,85 м. оказалось необходимымъ проектировать по типу

сквозныхъ фермъ съ коробчатыми поясами. Высота камеры—3 м. По ширинѣ камеры помѣщено на взаимномъ разстояніи 3,85 м. пять длинныхъ и двѣ короткія поперечныя балки съ коробчатыми поясами и одна короткая плоская поперечная балка. Поверхъ сплошного потолка толщиною 11 м. уложено восемь продольныхъ балокъ высотою 800 м.; въ промежуткахъ между продольными балками расположены еще уголки. Кронштейны помѣщены лишь въ закругленіяхъ; на остальномъ протяженіи стѣнка усилена уголками съ приклепанными къ нимъ листами. Рабочая камера составлена по высотѣ изъ трехъ звеньевъ толщиною 12, 10 и 8 мм. Ножъ усиленъ двумя листами по 15 мм. и кромѣ того консолями, подпирающими банкетъ шириною 700 мм. Кессонъ круглаго быка Тропцкаго моста изображенъ на рис. 456 и 457 (стр. 581).

Съемные кессоны. Для уменьшенія расходовъ иногда ведутъ работы такимъ образомъ, что по мѣрѣ возведенія кладки внутри рабочей камеры, кессонъ постепенно приподнимается — такъ что по окончаніи работы онъ можетъ быть вновь употребленъ и т. д. Подобный пріемъ работъ особенно примѣнимъ, когда глубина рѣки значительна, но погруженіе въ грунтъ сравнительно небольшое. Такого рода кессоны, предложенные Монтаньe, называются *съемными* кессонами.

Кромѣ дешевизны этотъ типъ кессоновъ имѣетъ еще то преимущество, что въ кладкѣ не остается желѣза, какъ это бываетъ въ обыкновенномъ кессонѣ, гдѣ верхняя часть кладки отдѣлена отъ нижней металлическимъ потолкомъ. Вообще, если при необходимости заложенія основаній опоры на значительной глубинѣ, обыкновенный кессонъ представляется пока наиболѣе цѣлесообразнымъ, то при малой глубинѣ, и особенно когда значительная часть высоты рабочей камеры всегда будетъ находиться въ соприкосновеніи съ водой,—способъ Монтанье, очевидно, имѣетъ значительныя преимущества, такъ какъ при вышеуказанныхъ условіяхъ потолокъ камеры, подъ дѣйствіемъ ржавчины, подвергался бы постепенному разрушенію, образуя въ кладкѣ пустоты.

Въ виду того, что кладка производится внутри кессона, этому послѣднему придаютъ бблыніе размѣры, чѣмъ обыкновеннымъ кессонамъ. Хотя вслѣдствіе этого увеличивается объемъ вынимаемаго грунта, но передержки вознаграждаются сбереженіемъ отъ возможности употребленія кессона для нѣсколькихъ опоръ. Равнымъ образомъ балкамъ, поддерживающимъ потолокъ, листамъ потолка и листамъ обшивки стѣнокъ кессона слѣдуетъ придавать бо́льшіе размѣры, сравнительно съ обыкновенными кессонами.

На фиг. 294, табл. 41 показанъ такой своеобразный типъ кессона, примѣненный при сооруженіи опоръ моста черезъ р. Книппельбро въ Даніи; кессонъ, игравшій здѣсь роль водолазнаго колокола, вынимался по окончаніи сооруженія опоры и могъ быть вновь употребленъ для сооруженія слѣдующей опоры и т. д. Отдѣленіе *A* представляетъ шлюзъ; *B* — шахтовая труба; *C*— рабочая камера. Поверхъ потолка кессона около шахтовой трубы устроено кольцеобразное помѣщеніе *D*, раздѣленное перегородками на 8 отдѣленій. Въ эти отдѣленія можно было по произволу впускать воду или сжатый воздухъ, что позволяло вмѣстѣ съ тѣмъ регулировать правильное опусканіе кессона. Поверхъ камеръ *D* наружная обшивка возвышалась на нѣсколько футъ, образуя кольцевое пространство, въ которое помѣщались для увеличенія нагрузки рельсы и проч. Углубившись въ грунтъ на необходимую глубину, начинали выводить кладку внутри рабочей камеры и по мѣрѣ возвышенія кладки облегчали нагрузку

кессона, выкачивая воду изъ отдѣленій D, при чемъ кессонъ постепенно всплывалъ, давая возможность производить кладку выше; во время производства работъ всегда поддерживалось достаточное давленіе, чтобы вода не могла войти внутрь кессона. Во время погруженія кессонъ былъ подвѣшенъ четырьмя цѣпями къ подмостямъ. Для болѣе точной установки кессона были укрѣплены въ четырехъ мѣстахъ наружной обшивки наклонныя ванты, закрѣпленныя на подмостяхъ. Глубина воды—24 ф., глубина погруженія въ грунтъ—$5^1/_2$ ф. Полная продолжительность погруженія опоры—460 часовъ.

Вмѣсто поднятія кессона помощью уменьшенія нагрузки, часто подобный кессонъ поднимаютъ домкратами, упирающимися въ кладку и потолокъ. Послѣ того, какъ съемный ящикъ (кессонъ) поднятъ домкратами на опредѣленную величину, подъ потолокъ кессона подводятъ нѣсколько клѣтокъ изъ дерева, упирая ихъ на кладку и въ то же время постояннымъ накачиваніемъ воздуха поддерживаютъ должное давленіе. Поднятіе кессона помощью винтовыхъ домкратовъ—обыкновенно силою въ 15—20 тоннъ—представляетъ однако извѣстныя неудобства: во-первыхъ, въ глинистыхъ грунтахъ сопротивленіе поднятію вслѣдствіе тренія на столько велико, что приходится прибѣгать къ увеличенію внутренняго давленія, направленнаго снизу вверхъ; во-вторыхъ, такъ какъ послѣ каждаго поднятія кладка выводится не болѣе какъ на 0,60 метра (около 0,30 с.), то она на столько еще не окрѣпла, что разстрапвается отъ упора въ нее домкратовъ. Въ виду этого Монтанье, изобрѣтатель этого типа кессоновъ, въ нѣкоторыхъ случаяхъ примѣнялъ слѣдующій пріемъ, не требующій послѣдовательнаго поднятія. Рабочая камера устраивалась такой высоты (при постройкѣ моста на Шаррантѣ высота камеры была 4,70 метра), чтобы потолокъ камеры былъ выше горизонта воды. Стѣпка камеры была усилена съ внутренней стороны рядомъ стоекъ, между которыми были помѣщены на различныхъ высотахъ распорки, соединенныя со стойками болтами. Установивъ съемный ящикъ (кессонъ) на мѣсто, начинали накачивать воздухъ и выводили кладку до перваго этажа распорокъ; затѣмъ вынимали распорки, которыя мѣшали производству кладки, помѣщая въ то же время распорки между боковой поверхностью выведенной кладки и оболочкой кессона, и продолжали такимъ же образомъ далѣе, пока не выходили съ кладкой выше горизонта воды; затѣмъ разболчивали потолокъ и составныя части боковой оболочки кессона и все вынимали кранами по частямъ. Матеріалъ для производства кладки передавался черезъ шлюзъ. Боковая поверхность камеры состояла изъ стоекъ двутаврового сѣченія, къ которымъ была приклепана оболочка толщиною 10 миллимет.; для увелпченія жесткости черезъ каждые 0,50 метра были помѣщены по всей высотѣ добавочныя ребра, состоявшія изъ двухъ уголковъ и вертикальнаго листа. Кромѣ того, боковая поверхность камеры по длинѣ обвода кессона разбиралась на нѣсколько частей, составленныхъ изъ 2 или 3 стоекъ съ приклепанной къ нимъ оболочкой. Вертикальные стыки оболочки двухъ смежныхъ частей перекрывались вертикальной накладкой на болтахъ, при чемъ всѣ швы обмазывались плотно мастикой. Потолокъ камеры состоялъ изъ балокъ двутаврового сѣченія съ приклепанными къ нимъ снизу листами толщиною 10 миллим.; балки потолка были прикрѣплены болтами къ вертикальнымъ стойкамъ.

Стоимость кубической единицы кладки при обыкновенныхъ кессонахъ и при съемныхъ кессонахъ выражается отношеніемъ отъ 1,33 : 1 до 1,25 : 1, въ виду того, что одинъ и тотъ же кессонъ можетъ быть употребленъ для нѣсколькихъ опоръ.

Интересны помѣщенныя въ нижеслѣдующей таблицѣ данныя Монтанье относительно величины тренія во время опусканія и во время поднятія кессона:

Глубина опусканія въ метрахъ.	На кв. метръ боковой поверхности, находящейся въ грунтѣ, въ килограм.			
	Въ гравіи.		Въ мелкомъ глинистомъ и плывучемъ пескѣ.	
	Во время опусканія.	Во время поднятія.	Во время опусканія.	Во время поднятія.
1	96	60	60	40
2	155	70	86	50
3	208	86	103	62
4	302	108	151	91
5	417	146	210	127
6	553	190	280	170
7	710	240	361	220
8	889	296	453	277
9	1089	308	556	341
10	1310	426	670	412

т. е. сопротивленіе тренія во время поднятія составляетъ отъ $^1/_3$ до $^2/_3$ отъ сопротивленія при погруженіи.

Для опредѣленія вѣса нагрузки, которая должна дѣйствовать на потолокъ для преодолѣнія тренія, нужно площадь боковой поверхности, находящейся въ землѣ, умножить на одинъ изъ коэффиціентовъ, что и покажетъ вѣсъ добавочной нагрузки, которая должна находиться на потолкѣ сверхъ необходимой для уравновѣшиванія давленія, соотвѣтствующаго вѣсу столба воды, вытѣсненной кессономъ.

Построенныя Монтанье опоры заложены на глубинѣ отъ 3,5 до 6 метр. ниже горизонта низкихъ водъ, при чемъ въ скалу опущены на глубину отъ 0,5 метра до 2,5 метра.

Въ Россіи съемные ящики были употреблены при заложеніи одной изъ промежуточныхъ опоръ Екатеринославскаго моста черезъ р. Днѣпръ. По конструкціи рабочая камера ничѣмъ не отличалась отъ рабочей камеры обыкновенныхъ кессоновъ, за исключеніемъ лишь отсутствія поперечныхъ связей между консолями; постепенное поднятіе кессона производилось помощью домкратовъ.

Каменная рабочая камера.—Для того, чтобы удешевить работы, а также, чтобы не имѣть металла внутри кладки, нерѣдко устраиваютъ сводчатыя, купольныя каменныя рабочія камеры—круглой, эллиптической и продолговатой формы, причемъ продолговатая камера составляется изъ двухъ взаимно пересѣкающихся купольныхъ сводовъ круглаго или эллиптическаго очертанія. Извѣстный спеціалистъ по кессоннымъ работамъ Brennecke указываетъ, что наибольшія сбереженія получатся, если взамѣнъ длиннаго кессона, состоящаго изъ ряда взаимно переѣкающихся сводчатыхъ камеръ, примѣнить рядъ отдѣльныхъ однокупольныхъ камеръ, съ взаимнымъ соединеніемъ ихъ сводами выше уровня воды. Въ каменныхъ камерахъ устраиваютъ металлическими только нижнее кольцо и горловину въ вершинѣ купола камеры (фиг. 289, таб. 40), къ которой прикрѣпляютъ металлическія шахтовыя трубы. Нижнее кольцо (ножъ) состоитъ обыкновенно изъ вертикальной стѣнки изъ двухъ или трехъ листовъ высотою около 16 д. и изъ горизонтальной полки шириною до 12 д., связанной съ вертикальной стѣнкой уголкомъ и рядомъ консолей. На горизонтальную полку кладутъ сначала два

или три ряда толстыхъ досокъ, на которыхъ располагаютъ кладку и ведутъ ее напусками: для полученія бо́льшаго свѣса наружные ряды кладки дѣлаютъ часто изъ клинкера (допускающаго безопасное напряженіе на изгибъ въ 3 $\frac{\text{пуд.}}{\text{дм.}^2}$). Свѣсы дѣлаютъ съ уклономъ отъ 1 : 2 до 1 : 1. Для лучшей связи каменной кладки съ деревяннымъ кольцомъ поверхность послѣдняго кольца покрываютъ жидкой смолой и посыпаютъ пескомъ; между досками и между нижнимъ рядомъ досокъ и металлическимъ кольцомъ кладутъ просмоленую папку и все соединяютъ винтами и гвоздями. Горловина состоитъ большею частью изъ металлическаго кольца углового сѣченія высотою и шириною около 20 д. Горловина связывается наклонными болтами съ горизонтальной полкой нижняго кольца. Если размѣры опоры по высотѣ постепенно уменьшаются (фиг. 289, таб. 40)—то привѣсные прутья, прикрѣпляемые къ полкѣ нижняго кольца и проходящіе сквозь нижній ярусъ опоръ — дѣлаются отвѣсными; въ противномъ случаѣ они располагаются въ наклонномъ направленіи. Во избѣжаніе разрыва кладки нужно наружную поверхность покрывать цементной смазкой и вести работу съ такимъ разсчетомъ, чтобы до погруженія въ воду кладка и цементная обмазка успѣли достаточно окрѣпнуть. Круглое очертаніе камеры въ планѣ считается наиболѣе прочнымъ, устойчивымъ; но при такомъ очертаніи замѣчается винтовое вращеніе кессона при опусканіи. Такъ какъ каменная консоль незначительно сопротивляется излому какъ въ случаѣ избытка давленія извнѣ, такъ въ особенности при давленіи изнутри, когда при разрѣженіи воздуха или отъ случайныхъ причинъ земля сразу заполняетъ камеру и распираетъ ее, дѣйствуя какъ клинъ, то необходимо помѣщать съ наружной стороны камеры обвязныя желѣзныя кольца; внутреннія связи, особенно если онѣ помѣщены низко, при внезапной осадкѣ въ грунтъ изгибаются вверхъ и скорѣе будутъ еще содѣйствовать изгибу внутрь и излому каменныхъ консолей. На фиг. 289, таб. 40 показанъ кессонъ опоры поворотной части моста черезъ р. Одеръ въ Штеттинѣ; рабочая камера образована конической кладкой напусками; пожъ кессона металлическій, усиленный небольшими консолями, поверхъ которыхъ расположено металлическое плоское кольцо, служащее основаніемъ кладки; въ вершинѣ усѣченнаго конуса вдѣлана горловина съ металлическимъ потолкомъ, усиленнымъ балками, къ которому прикрѣплены 2 шахтовыя трубы. Таже система камеръ была примѣнена при устройствѣ опоръ моста черезъ р. Гаронну близъ Мармапда *) и черезъ рѣку Эльбу близъ Лауенбурга.

Деревянные кессоны. Обиліе прекраснаго строевого лѣса въ Америкѣ и удаленность мѣстъ сооруженія отъ желѣзодѣлательныхъ заводовъ—эти условія давно уже навели на мысль устраивать кессоны изъ дерева, тѣмъ болѣе, что такое устройство дешевле и представляетъ по сравненію съ желѣзомъ извѣстныя преимущества въ виду способности дерева сохраняться неопредѣленное время подъ водою. У насъ деревянные кессоны впервые были примѣнены инженеромъ Кнорре при сооруженіи опоръ мостовъ Средне-Сибирской ж. д. Въ извѣстныхъ случаяхъ изъ дерева устраивается только камера (фиг. 292 *а*, табл. 41), а иногда и стѣнка надъ нею (фиг. 291 и фиг. 291 *в*).

Наиболѣе существенную часть представляетъ устройство потолка и наружныхъ стѣнокъ камеры. Потолокъ, въ виду громаднаго приходящагося на него груза, а также ради непроницаемости, составляется изъ нѣсколькихъ сплошныхъ рядовъ

*) Annales des ponts et chaussées, Fevrier, 1883.

накрестъ расположенныхъ брусьевъ (фиг. 291 *в* и 297, табл. 41), прокопопаченныхъ, залитыхъ въ швахъ варомъ и взаимно стянутыхъ болтами, съ прокладкой въ одномъ или двухъ рядахъ свинцовыхъ цѣльныхъ листовъ. Весь грузъ потолка опирается на наружныя стѣнки камеры, которыя устраиваются въ видѣ консолей. Устройство стѣнки камеры довольно разнообразное; она составляется изъ сплошного ряда брусьевъ или стоймя поставленныхъ (фиг. 297, 292 *а*, табл. 41, фиг. 308, табл. 43), или расположенныхъ горизонтально (рис. 620); въ послѣднемъ случаѣ стѣнка опирается на башмакъ. Камера обшивается снаружи двумя или тремя рядами досокъ, причемъ наружный рядъ, гладко остроганный, ставится вертикально, или же камера обшивается желѣзомъ. Консоли состоятъ изъ ряда наклонно поставленныхъ брусьевъ, врубленныхъ нижнимъ концомъ въ стѣнку, а верхнимъ—въ ригель; стѣнка и консольные брусья связываются болтами, пропущенными сквозь ряды горизонтальныхъ схватокъ (фиг. 297 и 292 *а*, табл. 41), а промежутокъ между ними заполняется сплошной брусчатой кладкой или бетономъ. Иногда наружная деревянная стѣнка замѣняется котельнымъ желѣзомъ (фиг. 291 и 291 *b*, табл. 41), а консоли образуются изъ брусьевъ, расположенныхъ накрестъ и напусками и взаимно стянутыхъ болтами. При длинныхъ кессонахъ устраиваютъ еще промежуточныя стѣнки, подвѣшенныя болтами къ потолку (фиг. 291 и 292 *в*, табл. 41); назначеніе этихъ стѣнокъ, не доходящихъ большею частью до пизу, это—облегчить работу матеріала потолка и наружиой стѣнки при внезапномъ выходѣ ежатаго воздуха и проч. Стѣнки приносятъ пользу и при нормальныхъ условіяхъ, если только онѣ опираются на грунтъ, чего всегда можно достигнуть соотвѣтственной выборкой грунта; онѣ полезны и при слабыхъ грунтахъ, затрудняя погруженіе кессона.

Приведемъ нѣсколько примѣровъ деревянныхъ кессоновъ.

На фиг. 291 и 291 *в*, табл. 41 изображенъ деревянный кессонъ, примѣненный при сооруженіи опоръ висячаго моста черезъ East-River между Нью-Іоркомъ и Бруклиномъ. Площадь основанія — 1590 кв. метр.; давленіе на кв. метръ основанія—71 тонна, а на кв. метръ потолка—109 тоннъ. Фигура кессона—прямоугольникъ 52,5 м.$\times$31,5 м.; грани имѣютъ незначительный уклонъ. Потолокъ образованъ изъ нѣсколькихъ рядовъ перекрещивающихся брусьевъ, толщиною 32 сант., при общей толщинѣ потолка въ 4,6 м. въ одной опорѣ и 6,7 метр. въ другой опорѣ. Между брусьями были проложены два ряда листового желѣза; въ одномъ изъ кессоновъ листовое желѣзо было замѣнено свинцовымъ листомъ. Устроенныя такимъ же образомъ боковыя стѣнки камеры имѣли вверху толщину 3 м., а въ основаніи закругленнаго чугуннаго башмака—20 сант. Къ башмаку прикрѣплевы двѣ желѣзныя стѣнки, высотою 1 м. Съ внутренней стороны наружная стѣнка кессона обшита желѣзомъ. Камера кессона, высотою 2,76 м., раздѣлена по длинѣ на 6 отдѣленій помощью промежуточныхъ стѣнокъ, подвѣшенныхъ болтами къ потолку. Для спуска и выпуска рабочихъ служили двѣ круглыя шахты *A*, діаметромъ 1,2 м.; шлюзная камера была устроена внизу шахтовой трубы подъ потолкомъ камеры и имѣла два боковыхъ входа—для одновременнаго впуска и выпуска 120 рабочихъ. Всего на кессонъ было израсходовано 3143 куб. метр. дерева и 250 тоннъ желѣза. Выемка грунта производилась норьями въ двухъ открытыхъ шахтахъ (*B*), площадью 4,4 кв. метр. Кромѣ того было установлено до 50 трубокъ (*D*) діаметромъ 10 сант., снабженныхъ кранами для извлеченія песка дѣйствіемъ сжатаго воздуха. Бетонъ для заполненія камеры доставлялся по шахтѣ *C*, снабженной шлюзомъ. Сжатый воздухъ доставлялся шестью 20-ти-сильными паровыми машинами, обслуживавшими каждая по два компрессора, при длинѣ хода поршня въ 42 сант. и діаметрѣ цилиндра въ 45 сант. Отъ компрессоровъ, установленныхъ на разстояніи 90 метр. отъ мѣста работъ, воздухъ доставлялся трубой діаметромъ 25 сант.: у опоры труба развѣтвлялась на двѣ трубы, діаметромъ 15 сант., которыя спускались въ рабочую камеру. Глубина опусканія одного быка, ближайшаго къ Нью-Іорку, составляла 23,8 м., а другого—лишь 13,7 м.

На фиг. 292 *а* и 292 *б*, табл. 41 представленъ деревянный кессонъ восточнаго устоя арочнаго

моста черезъ р. Миссисипи въ С.-Луи. Въ планѣ кессонъ представляетъ неправильный шестиугольникъ, площадью 373,5 кв. м., при длинѣ въ 22,5 м. и ширинѣ въ 25,6 м. Стѣнка камеры, высотою 3 м., образована изъ стоймя поставленныхъ брусьевъ, стянутыхъ болтами съ наклонными брусьями консолей, упирающимися въ ригель, который другимъ концомъ упирается въ поперечную стѣнку, подвѣшенную къ потолку. Толщина консолей внизу — 0,45 м., а вверху — 2,60 м.; двѣ поперечныя стѣнки, толщиною вверху—3,05 м., а внизу—1,06 м., подраздѣляютъ камеру на три равныя части. Толщина потолка, составленнаго изъ дубовыхъ брусьевъ: 1,47 м.; камера обшита желѣзомъ, толщиною $9^1/_2$ мм.; обшивка эта, имѣющая назначеніе сдѣлать камеру непроницаемой для воздуха, переходитъ затѣмъ въ стѣнку (рубашку) кессона лишь на высоту 3,66 м., а выше не имѣется оболочки. Глубина погруженія 39 м. ниже горизонта весеннихъ водъ, что составляетъ крайній предѣлъ, достигнутый при работѣ сжатымъ воздухомъ. Всего было три шахтовыхъ трубы съ шлюзными камерами, помѣщенными въ предѣлахъ рабочей камеры. Средняя шахта, каменная, діаметромъ 3,05 м., съ двумя боковыми шлюзными камерами и двѣ боковыя металлическія шахты, діаметромъ 1,45 м., служили для входа и выхода рабочихъ. Извлеченіе грунта производилось эжекторами, которые, при діаметрѣ 89 мм., высасывали въ часъ 15,3 куб. метр. песку и поднимали его на высоту 36,6 м.; давленіе воды составляло 10,5 кил. на кв. сант. Наибольшее давленіе воздуха доходило до 3,6 атм. и всегда поддерживалось на $^1/_{50}$ атм. выше давленія воды; при такомъ большомъ давленіи рабочіе смѣнялись каждый часъ. Рабочая камера по окончаніи опусканія заполнена была пескомъ.

На фиг. 297 показана деревянная рабочая камера кессона опоры моста черезъ р. Миссури близъ Атчисона. Устройство камеры ясно изъ чертежа. Ширина камеры — 10,4 м., высота — 6,1 м.; чистая высота — 2,74 м.

На фигурѣ 308, табл. 43 показанъ своеобразный типъ деревяннаго кессона инженера Кнорре, примѣненный при сооруженіи опоръ нѣкоторыхъ мостовъ (черезъ р. Оку, Бѣлую и проч.) на Средне-Сибирской ж. д. По идеѣ онъ отличается отъ конструкціи деревянныхъ кессоновъ амерпканскаго типа и скорѣе напоминаетъ конструкцію металлическихъ кессоповъ. Въ планѣ кессонъ разсматриваемаго примѣра представляетъ прямоугольникъ: 5,84 с.$\times$2,63 с. съ закругленными углами. Стѣнка рабочей камеры, переходящая непосредственно въ стѣнку выше потолка (рубашку), состоитъ изъ сплошного ряда стоймя поставленныхъ брусьевъ, опирающихся на желѣзный ножъ кессона; уклонъ стѣнокъ около 0,03. Потолокъ рабочей камеры образованъ изъ ряда составныхъ поперечныхъ балокъ, высотою 0,50 с.; нижній поясъ этихъ балокъ одиночный, а верхній — двойной. оба пояса стянуты болтами и по направленію перпендикулярному расположены два ряда продольныхъ брусьевъ; промежутокъ между обоими поясами заполненъ бетономъ, составляющимъ связь между поясами, сопротивляющуюся скалыванію при изгибѣ. Поперечныя балки расположены на разстояніи 12 верш. = 31 д. одна отъ другой: верхній поясъ врублепъ на $^1/_3$ своей ширины въ брусья стѣнки и проходитъ насквозь; врубка сдѣлана ласточкинымъ хвостомъ, съ заполненіемъ образующагося зазора клиньями. Верхній брусъ верхняго пояса врублепъ въ стѣнку подобнымъ же образомъ, но только при помощи двухъ накладокъ; подъ концами брусьевъ поперечныхъ балокъ проложена брусчатая обвязка, прикрѣпленная болтами къ стѣнкѣ камеры; подъ гайкой подложена доска, врѣзанная за подъ-лицо въ стѣнку камеры. Поперечныя балки поддерживаются консолями изъ двойныхъ брусьевъ, врубленныхъ нижнимъ концемъ въ стѣнку, а верхнимъ— въ полдерева въ оба пояса поперечной балки. Въ мѣстѣ пересѣченія съ нижнимъ поясомъ помѣщена обвязка, стянутая болтами съ обвязкой около стѣнки камеры. На чертежѣ горизонтальнаго разрѣза не показаны (чтобъ не затемнять чертежа) промежуточные брусья, расположенные сплошь между брусьями нижняго пояса и опирающіеся на четыре обвязки; такимъ образомъ потолокъ перекрытъ

сплошнымъ одиночнымъ рядомъ брусьевъ (см. детали консолей въ закругленіяхъ). Въ закругленіяхъ и по длинѣ короткой стороны—консоли устроены нѣсколько иначе. Замѣтимъ, во-первыхъ, что объ обвязки (см. планъ, видъ снизу) продолжаются и въ закругленіяхъ и по короткой сторонѣ: въ закругленіяхъ — внутренняя обвязка соединяется съ наружной стяжными болтами и распирается распорками; въ эти распорки врублены консоли, соединиеныя съ ними хомутами. По короткой сторонѣ кессона, консоли приходятся ужо противъ продольныхъ балокъ и поэтому, врубленныя въ сплошной рядъ поперечныхъ брусьевъ, онѣ соединяются хомутами уже съ продольными балками. Выше потолка, черезъ каждые 0,50 с., расположены обвязки, роспертыя распорками, которыя черезъ рядъ, при помощи накладокъ, врублены въ стѣнку кессона и могутъ поэтому служить одновременно и стяжками. Внутренность рабочей камеры обшита досками.

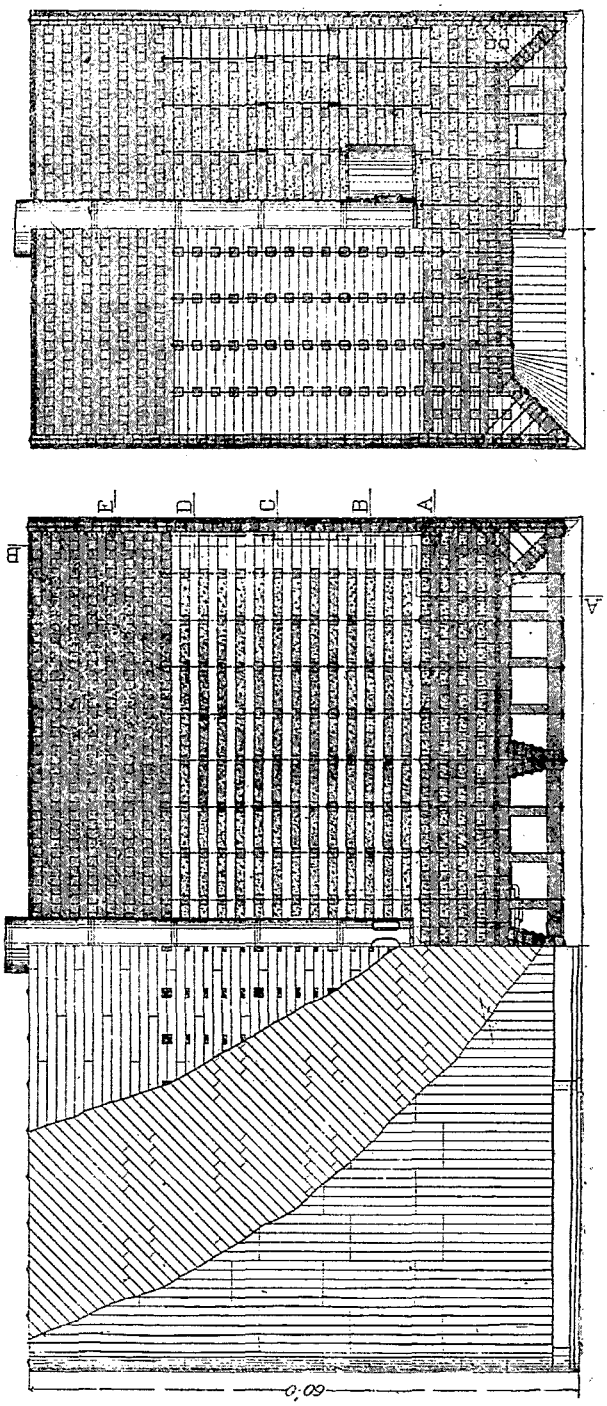


Рис. 620.—Деревянный кессонъ опоръ моста черезъ р. Миссисипи, близъ Мемфиса.

На рис. 620 изображенъ деревянный кессонъ одной изъ опоръ моста черезъ р. Миссисипи близъ Мемфиса. Въ отличіе отъ предыдущихъ типовъ стѣнка устроена изъ горизонтально уложенныхъ брусьевъ (на подобіе стѣнъ деревянныхъ элеваторовъ американскаго типа). При опредѣленіи размѣровъ кессона руководствовались тѣмъ соображеніемъ, чтобъ вѣсъ кессона съ кладкой на высоту отъ ножа до уровня земли былъ не болѣе вѣса вытѣсненнаго кессономъ песка, и чтобы за вычетомъ тренія по 400 англ. фунтовъ на кв. футъ боковой поверхности, давленіе на грунтъ (глина) не превышало двухъ тоннъ (120 пуд.) на кв. футъ. Показанный на рис. 620 кессонъ имѣетъ въ длину 92 фут., а въ ширину 47 фут. Общая высота кессона 59,4 фут. Боковыя стѣнки, составленныя изъ горизонтальныхъ вѣнцовъ, опираются на желѣзный ножъ и стянуты по высотѣ 2 д. болтами, пропущенными въ нижнемъ ярусѣ сквозь брусья и горизонтальную полку ножа; въ слѣдующихъ ярусахъ болты по-

мѣщены съ внутренней стороны стѣнки и опираются головками и гайками въ концы поперечныхъ прогоновъ. Консоли состоятъ изъ рядовъ брусьевъ, притянутыхъ наклонными болтами къ стѣнкѣ. Треугольное пространство внутри консоли заполнено бетономъ. Потолокъ состоитъ изъ нѣсколькихъ рядовъ взаимно пересѣкающихся брусьевъ, врубленныхъ въ стѣнки и стянутыхъ болтами. На высоту 17,3 ф. выше потолка промежутокъ между брусьями заполненъ бетономъ во всю ширину кессона; на высоту слѣдующихъ 26,7 ф. — заполненіе бетономъ сдѣлано только въ средней части и, наконецъ, на остальныхъ 15,4 ф.—уложены сплошные ряды брусьевъ, выше которыхъ начата кладка. По продольному направленію рабочей камеры имѣются три промежуточныя стѣнки, подвѣшенныя болтами къ потолку. Съ наружной стороны кессонъ обшитъ двумя рядами досокъ—наклонныхъ и вертикальныхъ.

Шахтовыя трубы. Онѣ дѣлаются круглаго или овальнаго сѣченія, по двѣ трубы малаго діаметра или по одной трубѣ подъ одинъ шлюзъ. Обыкновенные размѣры овальной трубы 3′ и 2,5′ (фиг. 293, табл. 41). Болты *a* изъ круглаго желѣза $^{7}/_{8}$ дюйма, стягивающіе прямыя стѣнки трубы, служатъ и лѣстницами для сообщенія; средняя часть трубы свободна для сообщенія, а крайнія служатъ для подъема матеріала. Иногда, впрочемъ, для спуска рабочихъ дѣлаютъ особую шахтовую трубу большихъ размѣровъ (въ кессонѣ моста въ С.-Лун средняя шахта имѣла въ діаметрѣ 3,05 метра), чтобы въ случаѣ несчастія всѣ рабочіе имѣли возможность подняться вверхъ. Если грунтъ добывается порьями, то размѣры шахтовыхъ трубъ дѣлаются также довольно значительные въ зависимости отъ діаметра шкивовъ и размѣра черпаковъ. Шахтовыя трубы составляются изъ звеньевъ въ 1 саж. длины изъ листовъ $^{3}/_{8}$″; по обоимъ концамъ звена прикленываются съ внутренней стороны уголки, между горизонтальными полками которыхъ прокладывается гуттаперчевая прокладка въ $^{5}/_{8}$ дюйма толщины, и затѣмъ полки уголковъ плотно свинчиваются болтами. Если подъемъ грунта производится по шахтовой трубѣ со сжатымъ воздухомъ, то труба начинается обыкновенно отъ потолка, будучи прикрѣпленной къ поперечнымъ балкамъ-консолями и пр. (фиг. 290 *б*, табл. 41). Если же подъемъ грунта помощью черпаковъ и пр. совершается по открытой шахтовой трубѣ, то она продолжается внутрь рабочей камеры и значительно ниже ножа кессона (фиг. 313, табл. 44).

Шлюза. Эти послѣдніе бываютъ однокамерные, двухкамерные и трехкамерные. Шлюзъ представляетъ собою непроницаемую для воздуха камеру, укрѣпляемую большею частью въ вершинѣ шахтовыхъ трубъ; въ него накачивается сжатый воздухъ и входятъ рабочіе, чтобы спуститься въ рабочую камеру, и въ немъ же выгружается земля изъ бадей, черпаковъ и проч. Иногда воздухъ накачивается изъ воздуходувной машины непосредственно въ рабочую камеру (мостъ черезъ р. Нѣманъ близъ Олиты), откуда онъ переходитъ въ шахтовыя трубы и въ шлюзъ. Въ шлюзѣ должны быть приспособленія (герметически закрываемыя крышки, дверцы), позволяющія разъединить внутреннее помѣщеніе шлюза отъ наружнаго воздуха или отъ сжатаго воздуха въ шахтовыхъ трубахъ. Въ верхней части устраивается колпакъ для помѣщенія шкива (фиг. 300, табл. 42), помощью котораго поднимаются бадьи съ грунтомъ. Ось шкива проходитъ чрезъ сальники въ стѣнкѣ колпака и приводится во вращательное движеніе рабочими, находящимися наружи; вращеніе можетъ быть сообщено моторомъ, помѣщаемымъ внутри шлюза и приводимымъ въ движеніе напр. сжатымъ воздухомъ (шлюзъ Тропицкаго моста). При наращиваніи шахтовыхъ трубъ шлюза снимаются и вновь

наставляются; для удобства съемки и установки ихъ виовь служитъ нераздѣльно связанный съ шлюзомъ короткій патрубокъ (фиг. 309, табл. 44) того же сѣченія, какъ и шахтовая труба. Шлюза малаго діаметра (фиг. 296, табл. 41) устанавливаются на раструбѣ шахтовыхъ трубъ; при бо́льшемъ діаметрѣ, а особенно двухкамерные и трехкамерные устраиваются на кронштейнахъ (фиг. 299, табл. 42 и фиг. 309, табл. 44). Шлюза помѣщаются вверху шахтовыхъ трубъ или же внизу, непосредственно подъ потолкомъ рабочей камеры для облегченія выхода рабочихъ при несчастныхъ случаяхъ.

При сооруженіи моста въ С.-Луи шлюзная камера шахтовой трубы была помѣщена не вверху, а въ рабочей камерѣ частью надъ потолкомъ и подъ потолкомъ; иногда же шлюзъ помѣщается непосредственно надъ потолкомъ. При расположеніи шлюза около рабочей камеры имѣется та выгода, что сберегается значительное количество сжатаго воздуха, такъ какъ шахтовая труба сообщена съ окружающимъ воздухомъ; кромѣ того выходъ изъ сжатаго воздуха происходитъ гораздо скорѣе и легче; затѣмъ какимъ бы способомъ ни вынимать грунтъ, удобнѣе приспособиться въ трубахъ, открытыхъ сверху, чѣмъ въ трубахъ, на которыхъ стоитъ шлюзъ; кромѣ того шлюзъ неподвиженъ, и нѣтъ надобности при наращиваніи трубъ снимать его, а слѣдовательно онъ можетъ быть сдѣланъ обширнѣе.

Въ кессонахъ моста черезъ р. East-River, какъ сказано было ранѣе, шлюзныя камеры были помѣщены непосредственно у потолка рабочей камеры. Вначалѣ предполагалось, что рабочіе по выходѣ изъ шлюзной камеры будутъ подниматься вверхъ по винтовой лѣстницѣ, но оказалось, что всходъ по лѣстницѣ непосредственно по выходѣ изъ пространства со сжатымъ воздухомъ значительно утомляетъ рабочихъ, что и вынудило впослѣдствіи устроить паровую подъемную машину (элеваторъ). Въ этихъ видахъ большинство американскихъ инженеровъ отдаетъ преимущество устройству шлюзныхъ камеръ (для впуска рабочихъ) вверху шахтовой трубы, если только не предполагается примѣненія элеваторовъ.

Однокамерные шлюза употребляются лишь тогда, когда они служатъ для сообщенія, причемъ извлеченіе грунта производится чрезъ другія особо назначенныя трубы (фиг. 296, таб. 41). Если производить уборку грунта чрезъ ту же трубу и при этомъ по возможности сдѣлать вынимаиіе грунта непрерывнымъ, то необходимо дать такіе размѣры шлюзу, чтобы можно было въ немъ помѣстить извѣстное количество грунта, который временами выбрасывать наружу, закрывъ на это время сообщеніе шлюза съ шахтовой трубой, причемъ, слѣдовательно, подъемъ грунта уже прекращается. Такимъ образомъ, послѣ каждаго выбрасыванія грунта—въ шлюзъ снова нагнетается воздухъ. Такое приспособленіе было сдѣлано въ шлюзахъ кессоновъ Окскаго моста на Ряжско-Вяземской желѣзной дорогѣ (фиг. 296, табл. 41) и въ шлюзахъ кессона Эльбскаго моста близъ Hämerten'а (фиг. 299, табл. 42). Оба шлюза имѣли открывающіяся внутрь шахтовой трубы крышки, а также открывающуюся внутрь шлюза крышку или дверцу для сообщенія съ наружнымъ воздухомъ. Вѣсъ такихъ шлюзовъ отъ 150 до 210 пудовъ.

При сооруженіи Екатеринославскаго моста черезъ р. Днѣпръ былъ между прочимъ примѣненъ однокамерный шаровидный шлюзъ (фиг. 302, табл. 42); шаровидная форма была выбрана для лучшаго сопротивленія давленію воздуха. Для выгрузки грунта шлюзъ былъ снабженъ двумя рукавами, расположенными подъ угломъ 45°; рукава, замѣняя собою въ отношеніи выемки грунта боковыя камеры трехкамернаго шлюза, не могли, однако, служить для входа и выхода людей, такъ что въ этомъ послѣднемъ случаѣ имѣетъ мѣсто остановка работы и потеря сжатаго

воздуха. Вѣсъ шаровиднаго шлюза діаметромъ 1,285 с. безъ рукавовъ 180 пуд., а съ рукавами—250 пуд.; оба рукава вмѣщали въ себѣ около 0,15 куб. саж. грунта.

Этотъ типъ камеры, предложенный С.-Петербургскимъ Металлическимъ заводомъ, былъ примѣненъ и при сооруженіи опоръ моста черезъ р. Нѣманъ на Вильно-Ровенской жел. дорогѣ. Толщина листовъ—$^1/_4$ д., склепанныхъ въ нахлестку двумя рядами заклепокъ. Въ верхней и нижней части шара приклепаны цилиндры: первый для помѣщенія подъемнаго механизма, а второй—для приболчиванія шахтовой трубы. Съ боку камеры имѣется круглое отверстіе діаметромъ 1,75 ф. для входа рабочихъ. Сквозь стѣнку верхняго цилиндра пропущена въ сальникахъ ось вращенія, на которую насажены—внутри камеры шкивъ съ перекинутымъ ремнемъ для подъема бадей; внѣ камеры насажено на ту же ось зубчатое колесо большого діаметра, закрѣпляющееся за шестерню на другой оси, на которой имѣется шкивъ съ канатнымъ приводомъ отъ машиннаго вала. Рабочій, находящійся внутри камеры, рукояткой можетъ по произволу разъединить зацѣпленіе между шестерней и колесомъ и пріостановить подъемъ бадей. Внизу камеры имѣется вынуклое дно съ дверцами для прохода людей. Боковые рукава длиною 6 ф., діаметромъ 2 ф., снабженные вверху и внизу дверцами, служатъ для выкидыванія грунта. Въ сутки бадьями поднималось 5,07 куб. саж. Указанныхъ выше размѣровъ камера при временномъ сопротивленіи желѣза въ $R = 1250$ пуд., полагая прочность швовъ въ нахлестку въ 70% отъ сопротивленія разрыва, можетъ быть разорвана лишь при внутреннемъ давленіи въ 324,8 фун. или около 20 атмосферъ.

Въ *двухкамерныхъ* шлюзахъ грунтъ складывается въ особую камеру, которая можетъ быть временно разобщена отъ камеры, соединенной съ шахтовой трубой. Слѣдовательно, въ этомъ случаѣ, при выбрасываніи грунта изъ второй камеры, нѣтъ надобности прекращать подъемъ грунта изъ рабочей камеры, хотя складываніе его во вторую камеру на это время и невозможно. Такое приспособленіе было сдѣлано въ шлюзѣ, употребленномъ при постройкѣ Ковровскаго моста черезъ р. Клязьму на Нижегородской желѣзной дорогѣ (фиг. 303, табл. 42), съ расположеніемъ второй камеры надъ первой камерой, а также при постройкѣ моста черезъ р. Маасъ близъ Роттердама (фиг. 300, табл. 42), гдѣ вторую камеру представляла наклонная труба; въ боковыя камеры k помѣщался бетонъ, назначенный для заполненія шахтовыхъ трубъ; камера l служила входною, такъ какъ шахтовыя трубы не имѣли крышекъ для разобщенія отъ шлюзной камеры. Одному и тому же шлюзу соотвѣтствовали двѣ шахтовыя трубы, по которымъ перемѣщались двѣ бадьи.

При сооруженіи моста черезъ р. Днѣпръ въ Екатеринославлѣ былъ между прочимъ употребленъ двухкамерный шлюзъ съ двумя рукавами для выемки грунта, расположенными подъ угломъ 33° къ вертикальной линіи (фиг. 301 a, табл. 42); въ немъ средняя большая камера всегда сообщена съ внутренностью кессона. Въ этомъ шлюзѣ своеобразно приспособленіе для затвора рукавовъ, обезпечивающее безопасность работы и охраняющее, благодаря особенностямъ конструкціи, порядокъ манипуляцій отъ произвола рабочаго. Устройство затворовъ слѣдующее: Затворъ c (фиг. 301 $б$ и фиг. 301 $в$), состоящій изъ плоскаго и выпуклаго диска, свободно вращается около оси (gg), продѣтой сквозь проушины приливовъ затвора и приливовъ рукава. Въ концевомъ сѣченіи рукава (a) имѣется четыре выступающихъ утолщенія (b) со сквозными цилиндрическими отверстіями. Въ эти отверстія могутъ свободно входить цилиндрическіе стержни (d), соединенные помощью кривыхъ рычаговъ (f) и шарнировъ съ кругомъ (m), насаженнымъ на ту же ось o, какъ и рукоятка e; стержни d, просунутые въ утолщеніе b, не позволяютъ затвору открыться. При вращеніи рукоятки въ ту или другую сторону, стержни (d) вдвигаются или выдвигаются изъ отверстія приливовъ (b) и, слѣдовательно, внутреннее давленіе воздуха передается поровну на всѣ четыре

стержня, не обременяя оси вращенія (*gg*). На фиг. 301 *б* показанъ затворъ въ закрытомъ положеніи. На фигурѣ 301 *в* показано схематически приспособленіе, которое не позволяло открывать наружный затворъ прежде, чѣмъ не будетъ закрытъ внутренній затворъ, разъединяющій рукавъ отъ шлюза. Такъ напр., чтобы повернуть рукоятку *e* въ положеніе *e'*, необходимо вдвинуть стержень *i*, т. е. привести его въ положеніе *i'*, непрепятствующее свободному вращенію рукоятки *e*. Какъ только стержень *i* вдвинутъ, т. е. занимаетъ положеніе, показанное пунктиромъ, одновременно съ этимъ поворачивается рычагъ *N*, открывая краиъ *N* для выпуска воздуха изъ рукава. Стержень же *i* тогда только можетъ быть вдвинуть, когда другой встрѣчный стержень *p*, проходящій сквозь стержень *i*, не будетъ тому препятствовать, т. е. когда оиъ займетъ положеніе, показанное на фигурѣ, что соотвѣтствуетъ закрытому положенію внутренняго затвора. Если внутренній затворъ открытъ, то стержень *p* входитъ въ проушину стержня *i* и препятствуетъ свободному его перемѣщенію.

Трехкамерный шлюзъ имѣетъ то преимущество, что извлеченіе грунта производится непрерывно; пока опоражнивается одна боковая камера, вынимаемый грунтъ складывается во вторую боковую камеру. На фигурѣ 309, табл. 44 показанъ такой шлюзъ, примѣненный при сооруженіи Кременчугскаго моста и моста Императора Александра II, причемъ вѣсъ шлюза составлялъ отъ 400 до 450 пуд. На фигурѣ 310, табл. 44 показанъ такой же типъ шлюза, употребляемый при работахъ фирмою: «Klein, Schmoll и Gaertner». Этотъ послѣдній типъ тѣмъ еще заслуживаетъ вииманія, что пріемъ грунта изъ ковшей и складываніе его въ боковыхъ камерахъ совершается автоматически. Камера *A* непосредственно соединена съ шахтовой трубой, по которой перемѣщаются ковши; *B* — входная камера для рабочихъ; *a*—наружная дверь, *b*—крышка для сообщенія съ шахтовой трубой и съ рабочей камерой; *c*—дверь изъ камеры *B* въ камеру *A*; въ боковыя камеры *C* складывается грунтъ. Такимъ образомъ шахта для спуска рабочихъ отдѣляется отъ шахты для подъема грунта сплошной стѣнкой. Нагруженный ковшъ, переходя чрезъ верхній шкивъ, опоражнивается, причемъ матеріалъ падаетъ въ особый ковшъ *d*, который можетъ скользить по кривой направляющей рамы: когда ковшъ *d* займетъ крайнее положеніе на направляющей рамѣ, онъ имѣетъ уже на столько наклонное положеніе, что матеріалъ надаетъ въ камеру *C*. Затѣмъ ковшъ *d* снова занимаетъ вертикальное положеніе, чтобы принять матеріалъ изъ слѣдующаго ковша и т. д. Движеніе ковша *d* взадъ и впередъ достигается вращеніемъ эксцентрика *n* при участіи дѣйствія цѣлой системы рычаговъ; эксцентрикъ получаетъ вращеніе отъ той же оси, которая вращаетъ ось барабана норьи. Размѣры эксцентрика и разстояніе между ковшами норьи такъ разсчитаны, что время, необходимое для опоражниванія ковша *d*, соотвѣтствуетъ промежутку времени между послѣдовательными положеніями двухъ ковшей на верхнемъ барабанѣ. Когда камера *C* наполнится, рабочій, передвигая особый рычагъ, сообщаетъ обратное движеніе эксцентрику *n*, причемъ ковшъ *d* опоражнивается во вторую камеру *C*. Выбрасываніе грунта изъ камеры *C* достигается поднятіемъ поршня *p*.

На устройство потолка шлюзной камеры слѣдуетъ обратить особенное вниманіе. Если внутри шлюза устанавливается шкивъ, то иногда, во избѣжаніе стѣсненія, надъ потолкомъ помѣщается особый колпакъ, который долженъ быть прочно скрѣпленъ съ боковой стѣнкой шлюза, лучше всего помощью кронштейновъ или бандажей. Если же шлюзъ довольно высокъ, то для помѣщенія шкива ие дѣлаютъ особаго

колпака, какъ напр. въ шлюзѣ Окскаго моста (фиг. 296, табл. 41) и въ шлюзахъ фирмы Harkort (фиг. 311, табл. 44). Потолокъ шлюза соединяется съ боковыми стѣнками уголками; во избѣжаніе опаснаго напряженія въ уголкахъ отъ изламывающаго момента, полезно соединять потолокъ въ нѣсколькихъ мѣстахъ кронштейнами со стѣнками (шлюзы фирмы Harkort фиг. 311, табл. 44), или склепать потолокъ со стѣнками въ нахлестку (какъ напр. въ шлюзахъ моста чрезъ р. Рейнъ у Germersheim'a или въ шлюзахъ Тропцкаго моста фиг. 305, табл. 42), придавъ потолку выпуклое очертаніе, а также пропустить нѣсколько стяжныхъ болтовъ между потолкомъ и днищемъ. Такъ какъ плоскій потолокъ подвергается значительному напряженію, то кромѣ внутреннихъ кронштейновъ полезно приклепывать сверху жесткія балки (шлюзъ Harkort'a, фиг. 311, таб. 44).

На фиг. 305 табл. 42 изображенъ трехкамерный шлюзъ съ двумя рукавами, примѣнявшійся при сооруженіи опоръ Троицкаго моста въ Петербургѣ. Прикрѣпленный къ шахтовой трубѣ помощью консолей шлюзъ имѣетъ высоту 2,7 м. при діаметрѣ въ 2 м. Въ днищѣ шлюза надъ шахтовой трубой сдѣланы отверстія съ герметически закрывающейся крышкой; надъ отверстіемъ укрѣпленъ патрубокъ діаметромъ 600 м. для болѣе удобнаго входа рабочихъ. По бокамъ вдѣланы два рукава діаметромъ 400 м., расширяющіеся книзу до 420 м.; рукава закрывались крышками вверху и внизу. Къ стѣнкѣ шлюза прикрѣплепъ внутри воздушный резервуаръ, сообщающійся съ воздуходувной машиной; отъ резервуара отдѣляются двѣ трубки: одна въ шахтовую трубу, а другая къ установленному вверху шлюза на двухъ балкахъ небольшому цилиндру съ поршнемъ, приводившемуся въ движеніе сжатымъ воздухомъ. Поршень рядомъ передачъ и шкивовъ поднималъ изъ рабочей камеры нагруженныя бадьи діаметромъ 600 м. и высотою 700 м. Воздуховодъ, сообщавшійся съ шахтовой трубой, имѣлъ вверху отростокъ съ краномъ, позволявшимъ соединять или разъединять воздухъ камеры отъ воздуха шахтовой трубы, въ томъ случаѣ, если крышка въ шахтовую трубу закрыта. Кромѣ того имѣлись отдѣльные воздуховоды, сообщавшіе шлюзъ съ рукавами. Когда бадья была поднята вверхъ, закрывали крышку отверстія въ шахтовую трубу, закрывали кранъ въ отросткѣ и выпускали воздухъ изъ шлюза и изъ рукава съ открытой верхней крышкой; затѣмъ высыпали грунтъ въ рукавъ, закрывали опять крышку, открывали кранъ въ отросткѣ, уравнивая этимъ упругость воздуха въ шахтовой трубѣ и въ шлюзѣ; далѣе открывали крышку отверстія въ шахтовую трубу и опускали бадью. Въ это же время стукомъ въ стѣнку шлюза давали знакъ рабочему, находившемуся наружу; послѣдній открывалъ нижнюю крышку рукава, и грунтъ вываливался. Послѣ сего, закрывъ нижнюю крышку, рабочій давалъ знакъ стукомъ—рабочимъ въ шлюзѣ, которые впускали сжатый воздухъ въ рукавъ, что давало возможность открыть верхнюю крышку рукава и повторить вышеописанный циклъ. Въ то время, какъ происходило опоражниваніе рукава — успѣвали поднять слѣдующую бадью и т. д. На той же фиг. изображенъ рукавъ, посредствомъ котораго подавался въ шахтовую трубу бетонъ, при помощи шлюзованія.

Воздуходувныя трубы. Онѣ бываютъ мѣдныя или чугунныя діаметромъ отъ 3″ до 4″; мѣдныя трубы заканчиваются фляпцами; въ стыкахъ фляпцы стягиваются болтами съ прокладкою между ними каучуковаго кольца; чугунныя трубы соединяются раструбомъ съ конопаткою стыка паклею, обмоченною въ растопленную смолу, причемъ вокругъ трубы въ стыкъ загоняются малепькіе деревянные клинья. Въ виду того, что кессонъ постоянно погружается, а воздуходувная машина часто

помѣщается на баркахъ, металлическій воздухопроводъ соединяется съ кессономъ и съ воздушнымъ резервуаромъ машины каучуковыми трубами діаметромъ въ 3″—4″ со спиральной проволокой внутри. Прочное соединеніе каучуковой трубы съ металлической трубой достигается тѣмъ, что наружной поверхности металлической трубы придаютъ въ концѣ волнообразную поверхность и, надѣвъ кишку, плотно обматываютъ тонкой проволокой. Металлическая трубка, соединенная со шлюзомъ, имѣетъ клапанъ, открывающійся внутрь для того, чтобы воздухъ, вошедшій въ кессонъ, не могъ выйти обратно при поврежденіи воздуходувныхъ трубъ и машины.

Сборка и склепка кессоновъ. Предварительно *сборки* и *склепки* кессона тщательно пригоняются всѣ части потолка и боковыхъ стѣнъ рабочей камеры. Для этого укладываются подъ ватерпасъ деревянные лежни, на нихъ помѣщаютъ листы потолка, а затѣмъ поперечныя и продольныя балки; по высверленнымъ заклепочнымъ отверстіямъ поперечныхъ балочекъ намѣчаютъ отверстія въ листахъ потолка. Для того, чтобы намѣтить заклепочныя отверстія въ листахъ боковой стѣнки рабочей камеры, потолокъ собирается въ опрокинутомъ видѣ, т. е. сначала кладутъ поперечныя и продольныя балочки, затѣмъ листы потолка, кронштейны, и по дырамъ въ уголкахъ кронштейновъ намѣчаютъ отверстія въ листахъ стѣнокъ. По изготовленіи кессона части его перевозятся на платформу или на барку для сборки и склепки. Для этого устраивается помостъ вышиною немного болѣе вышины рабочей камеры, который состоитъ изъ продольныхъ лежней со вставленными въ нихъ стойками, перекрытыми продольными же насадками. Въ продольномъ направленіи стойки подперты подкосами, а въ поперечномъ—діагональными полусхватками; на верхнія насадки кладутся листы потолка, поверхъ ихъ поперечныя и продольныя балочки; подъ балками привинчиваются кронштейны, на которыхъ собираются листы боковыхъ стѣнъ. По окончаніи склепки ножа, кессонъ подклинивается, помостъ разбирается, и производится дальнѣйшая клепка частей кессона. При постройкѣ Кремепчугскаго моста плотность швовъ достигалась тѣмъ, что всѣ кромки листовъ были скошены и гладко остроганы, а между стыками и подъ накладками помѣщался тонкій картонъ, пропитанный жидкой суриковой замазкой. Послѣ чеканки швовъ они обмазывались извнутри хорошей суриковой замазкой; для непропицаемости потолка онъ былъ залитъ слоемъ чистаго цемента въ 1 дюймъ толщины и затѣмъ вторымъ слоемъ изъ 1 части цемента и 2 частей песка. Пространство между кронштейнами обыкновенно задѣлываютъ сводчатой кладкой до опусканія кессона, чтобы увеличить отчасти непроницаемость стѣнокъ.

Относительно качества клепки слѣдуетъ замѣтить, что оно вообще должно быть такое же, какъ и въ корпусахъ желѣзныхъ судовъ. Требовать такой же плотной клепки, какъ для паровыхъ котловъ, нѣтъ необходимости, такъ какъ вызванное этимъ увеличеніе расходовъ значительно превзойдетъ сбереженія, которыя получатся отъ меньшей потери сжатаго воздуха. Кромѣ того это и съ гигіенической стороны не особенно выгодно, а именно при значительной глубинѣ пришлось бы примѣнять какія-либо особыя мѣры для вентиляціи при замѣнѣ испорченнаго воздуха свѣжимъ.

Погруженіе кессоновъ. Погруженіе кессоновъ на дно, смотря по глубинѣ воды, дѣлается съ постоянныхъ подмостей (до 3 саж.), съ плавучихъ подмостей, или съ барки, затопляемой водою. Подмости служатъ также для поддержанія кессона во время его опусканія до дна и ниже и для установки звеньевъ трубъ и шлюзовъ или только для одной послѣдней цѣли, если кессонъ не поддержи-

вается цѣпями. Въ послѣднемъ случаѣ подмостей часто совсѣмъ не дѣлаютъ, причемъ звенья трубъ и шлюзовъ устанавливаются помощью плавучихъ крановъ.

На фиг. 312 таб. 44 показано поперечное сѣченіе постоянныхъ подмостей, употребленныхъ при сооруженіи опоръ Кіевскаго желѣзнодорожнаго моста. По обѣимъ сторонамъ продольной оси кессона забиты 3 ряда свай. На два ближайшихъ ряда надѣты насадки, въ которыя вставлены стойки, перекрытыя поверху насадками: на этихъ послѣднихъ двигались по рельсамъ двѣ телѣжки, поддерживавшія полиспастами кессонъ; наннжнемъ помостѣ собирался и склепывался кессонъ, какъ указано было раньше, а затѣмъ устанавливалось нѣсколько звеньевъ трубъ и наружной обшивки въ зависимости отъ глубины воды. Приподнявъ немного кессонъ, вырубали подъ нимъ помостъ и опускали кессонъ, пока онъ не становился на дно; при большей глубинѣ, опусканіе кессона продолжалось до тѣхъ поръ, пока онъ не держался самъ собою на водѣ; въ обоихъ случаяхъ шахтовыя трубы остаются открытыми, и часть кессона выше потолка между наружной оболочкой и шахтовой трубой играетъ здѣсь ту же роль, какъ судно, т. е. поддерживаетъ кессонъ на водѣ. Затѣмъ подмости служили лишь для установки трубъ и шлюзовъ.

На фиг. 313 табл. 44 показаны постоянныя подмости Кельскаго моста; во время опусканія кессона онъ поддерживался цѣпями.

На фиг. 314 табл. 44 показаны постоянныя подмости, употреблявшіяся при сооруженіи моста чрезъ р. Рейнъ близъ Гермерсгейма. Нижній этажъ состоитъ изъ двойного ряда свай, забитыхъ вертикально и наклонно; сваи стянуты двойными схватками какъ въ поперечномъ, такъ и въ продольномъ направленіи, съ оставленіемъ свободнаго мѣста для опусканія кессона. Верхній этажъ состоитъ изъ 10 подкосныхъ фермъ, изъ которыхъ 7 служили для принятія давленія отъ штангъ подвѣсныхъ цѣпей. Стойки парощены на сваи и соединены деревянной вертикальной накладкой. Вершины стоекъ перекрыты насадками, поддертыми подкосами; рядомъ съ насадкой помѣщены два короткихъ бруса, соединенныхъ съ ней болтами; эти брусья опираются частью на продольныя схватки и главнымъ образомъ на насадку изъ составного бруса, которая въ свою очередь поддерживается особыми насадками; насадка росперта ригелемъ съ подбалкой и образуетъ такимъ образомъ вторую подкосную ферму. Для уничтоженія горизонтальнаго распора подкосовъ у основанія этихъ послѣднихъ помѣщены желѣзные тяжи, что могло быть сдѣлано, очевидно, лишь послѣ того, какъ кессонъ опустился ниже этого уровня.

На фиг. 316, табл. 44 показаны плавучія подмости съ подъемною силою въ 200 тоннъ, примѣнявшіяся при опусканіи кессона моста черезъ р. Рону близъ Arles, причемъ кессонъ во время опусканія поддерживался особыми привѣсными цѣпями при діаметрѣ штангъ въ 80 мм. Глубина опусканія—18 метр. ниже межени. Въ кессонѣ длиною 14,8 метр. было три шахтовыхъ трубы. Понтоны удерживались въ неизмѣнномъ положеніи цѣпями, зачаленными за другіе понтоны, которые были прикрѣплены къ якорямъ.

Опусканіе кессона безъ подмостей дѣлается при помощи барки, приводимой къ мѣсту предполагаемой установки кессона и затопляемой затѣмъ водою (Кременчугскій мостъ, мостъ Императора Александра II и Волжскій мостъ). Плавающій кессонъ устанавливается послѣ того точно на предназначенномъ для него мѣстѣ; затопленная барка оставляется на днѣ или вынимается по частямъ. Кессоны нѣкоторыхъ быковъ моста Императора Александра II были опущены при помощи плавучихъ доковъ, причемъ затоплялись водой нижнія камеры доковъ.

При погруженіи барки въ воду кессонъ наклоняется обыкновенно довольно значительно въ ту или другую сторону и для того, чтобы вода не могла попасть въ пространство *abcd* (фиг. 317, табл. 44), стѣнки *ac* и *bd* возвышаются на 2 саж. выше потолка кессона; для того, чтобы тонкія стѣнки ($^3/_8$ дюйма — $^1/_8$ дюйма) могли сопротивляться давленію воды, между ними располагаются деревянныя распорки.

На фиг. 318 показаны плавучія подмости для установки трубъ и шлюзовъ.

На фиг. 319, табл. 44 показанъ плавучій кранъ для установки трубъ и шлюзовъ, употребляемый въ томъ случаѣ, если плавучихъ подмостей совсѣмъ не имѣется.

По спускѣ кессона на воду начинаютъ выводить кладку надъ потолкомъ, поверхъ сводиковъ между поперечными балками. Отъ увеличенія тяжести кессонъ погружается, пока не встанетъ на дно; затѣмъ кладку продолжаютъ еще на нѣкоторую высоту, чтобы не допустить кессонъ съ кладкой приподняться при наполненіи его сжатымъ воздухомъ; тогда устанавливаются шлюзы, и приступаютъ къ работѣ сжатымъ воздухомъ. При неровномъ днѣ, во избѣжаніе наклоненія кессона, дно выравнивается предварительно мѣшками съ глиною. При сооруженіи моста чрезъ р. Рейнъ у Гермерсгейма былъ употребленъ другой пріемъ: къ потолку кессона были прикрѣплены сваи (всего 18), нижній конецъ которыхъ выступалъ изъ-за обрѣза ножа (minimum на 1,5 метра), и притомъ концы свай были срѣзаны сообразно уклону дна. По установкѣ кессона на дно и по вытѣсненіи воды, рабочіе подбрасывали грунтъ къ свободному краю кессона, причемъ грунтъ уносился теченіемъ. Послѣ того, какъ кессонъ всталъ ножемъ на грунтъ, сваи были спилены, и грунтъ извлекался помощью шлюзованія.

Рапѣе опусканія кессона необходимо сдѣлать зондировку грунта какъ по продольной, такъ и по поперечной оси кессона. Вообще нужно выбрать такое мѣсто, чтобы грунтъ по возможности былъ однородный по всему периметру кессона, во избѣжаніе неодинаковаго тренія, а слѣдовательно и неравномѣрнаго опусканія кессона. При сооруженіи желѣзнаго моста чрезъ р. Вислу на Обводной вѣтви въ Варшавѣ не было сдѣлано зондировки по поперечному направленію, и, при опусканіи кессона быка № 3, оказался подъ однимъ краемъ плывучій песокъ, между тѣмъ какъ подъ остальными была плотная глина, что и имѣло слѣдствіемъ наклоненіе кессона, причемъ необходимо было остановиться на глубинѣ заложенія 28′ вмѣсто предположенныхъ 42 футъ. Принимавшіяся мѣры путемъ подрыванія подъ ножъ кессона въ той части его, которая приходилась въ глинѣ и подкладываніе деревянныхъ брусьевъ подъ ножъ въ плывунѣ — мало содѣйствовали выпрямленію положенія кессона.

Углубившись съ кессономъ на данную глубину, предварительно бетонированія рабочей камеры полезно убѣдиться въ мощности и однородности грунта буреніемъ въ рабочей камерѣ, изслѣдованіемъ сопротивленія грунта непосредственнымъ опредѣленіемъ величины вдавливанія подъ даннымъ давленіемъ, или путемъ сжатія пробныхъ кубиковъ изъ свѣже-извлеченнаго грунта.

Рапѣе было упомянуто, что кессоны погружаются, удерживаемые подвѣсными цѣпями или чаще всего трепіемъ о грунтъ. Въ песчаныхъ и плотныхъ глинистыхъ грунтахъ треніе на столько велико, что кладка ведется сплошною; въ слабыхъ грунтахъ для уменьшенія вдавливанія кессона приходится вести кладку съ пустотами (опора Троицкаго моста) или (какъ это, напр., было сдѣлано при сооруженіи моста Александра II въ Петербургѣ) оставлять неразобранными земляные столбы, подпирающіе потолокъ камеры, или же складывать клѣтки изъ брусьевъ и т. д.

Обыкновенно шахтовыя трубы съ перваго же раза дѣлаются такой высоты, чтобы во время производства работъ не требовалось снимать шлюзъ для наращиванія. Если же онѣ выходятъ при этомъ очень высокими, что́ требуетъ особыхъ высокихъ подпорокъ для шлюзовъ, тогда во время работъ приходится нѣсколько разъ снимать шлюзы для наращиванія трубъ.

Такъ какъ шахтовыя трубы по окончаніи опусканія кессона обыкновенно вынимаются, то кладка ведется такимъ образомъ, чтобы между нею и шахтовой трубой всегда оставался промежутокъ около 0,10 с. Во время производства работъ необходимо слѣдить за тѣмъ, чтобы въ этотъ промежутокъ не попадали камни, которые могли бы затруднить обратное выниманіе трубъ; полезно поэтому окружать это отверстіе досчатымъ кольцомъ или кольцевой подушкой изъ соломы, обернутой рогожей. Такъ какъ по плоскости потолка кессона, вслѣдствіе невполнѣ плотной клепки, всегда просачивается вода, то это кольцевое пространство между кладкой и шахтовой трубой обыкновенно бываетъ наполнено водой. По окончаніи опусканія кессона шахтовыя трубы вынимаются, и оставшійся колодезь заполняется бетономъ.

Во время опусканія кессона необходимо постоянно слѣдить за тѣмъ, чтобъ онъ оставался отвѣснымъ, въ чемъ убѣждаются помѣщеніемъ уровня на полки близъ ножа или нивеллированіемъ кромокъ оболочки, которая обыкновенно наращивается листами одинаковой ширины. Иногда употребляютъ для сего водяной уровень, т. е. длинную гуттаперчевую трубку, которую наполняютъ водой, и въ концы которой вставлены водомѣрныя стекла. Приставляя стекла къ потолку кессона, можно по положенію горизонта воды опредѣлить уклонъ потолка. Равнымъ образомъ необходимо отмѣчать положеніе опредѣленныхъ мѣтокъ на оболочкѣ или на кладкѣ и на шахтовой трубѣ; если замѣчено будетъ измѣненіе относительнаго положенія обѣихъ мѣтокъ, то это будетъ служить доказательствомъ того, что произошелъ разрывъ кладки и т. д.

Способы выемки грунта. Извлеченіе грунта производится различными способами:

а) Помощью норьи въ открытой трубѣ, какъ это напр. было примѣнено при сооруженіи опоръ Кельскаго (фиг. 313, табл. 44) и Прегельскаго мостовъ, а также висячаго моста чрезъ East-River. Для того, чтобы сжатый воздухъ не могъ выходить подъ нижнее ребро трубъ, эти послѣднія опускаются значительно ниже ножа (такъ напр. въ кессонахъ моста чрезъ р. East-River (фиг. 291 въ табл. 41) онѣ были опущены ниже ножа на 0,60 метра) и, имѣя сообщеніе съ водой въ рѣкѣ помощью проницаемаго песчанаго грунта, всегда были наполнены водой наравнѣ съ горизонтомъ воды въ рѣкѣ. Необходимо тщательно слѣдить за тѣмъ, чтобы эти трубы были постоянно наполнены водой въ уровень съ внѣшнимъ горизонтомъ, что достигается наполненіемъ ихъ водою сверху. При сооруженіи моста чрезъ р. East-River однажды не досмотрѣли за этимъ, вслѣдствіе чего сжатый воздухъ камеры, не встрѣчая уравновѣшивающаго давленія со стороны шахтовой трубы, весь вышелъ изъ камеры, такъ что вся кладка быка удерживалась однимъ потолкомъ. Неудобство этого способа состоитъ въ томъ, что при разрывѣ норьи приходится дѣлать исправленія помощью водолаза, прекращая работы на значительное время. Норьи кессона моста чрезъ East-River вынимали ежедневно отъ 300 до 400 куб. метровъ (около 30—40 куб. саж.). Ковши норьи Кельскаго моста (фиг. 313, табл. 44) имѣли объемъ въ 0,05 куб. метр. и были расположены на взаимномъ разстояніи въ 2,5 м. Они приводились въ движеніе двумя 12-силь-

ными паровыми машинами. Машина работала съ 60 оборотами, а валъ норьи съ 6 оборотами въ минуту; скорость перемѣщенія цѣпи—8,4 метр. въ минуту.

б) Помощью порьи въ трубѣ, наполненной сжатымъ воздухомъ (фиг. 310, табл. 44). При работахъ Кременчугскаго моста вмѣсто цѣпей былъ употребленъ ремень шириною 7 дюймовъ и толщиною 6 дюймовъ, составленный поперемѣнно изъ слоевъ холста и гуттаперчи. Къ этому ремню привинчивались небольшіе черпаки изъ кровельнаго желѣза (фиг. 320, табл. 44). Въ сутки вынималось до 10 куб. саж. Вверху и внизу были устроены два барабана; верхнему барабану вращеніе сообщалось помощью канатнаго привода отъ локомобиля, установленнаго на подмостяхъ. Конецъ оси верхняго барабана выходилъ сквозь сальникъ внаружу шлюза, и на этотъ конецъ былъ надѣтъ шкивъ, соединенный канатнымъ приводомъ со шкивомъ локомобиля.

При работахъ Екатеринославскаго моста было примѣнено очень остроумное приспособленіе, не требовавшее по мѣрѣ погруженія кессона постояннаго измѣненія длины привода отъ локомобиля къ оси барабана. На фиг. 321, табл. 44 изображено это приспособленіе. На постоянныхъ подмостяхъ была установлена деревянная рама BE, которая могла вращаться около горизонтальной оси. Верхній конецъ ея, по вращеніи на опредѣленный уголъ, закрѣплялся въ данномъ положеніи канатомъ G. На нѣкоторомъ разстояніи отъ верхняго конца рамы была помѣщена ось, на которую насажены два шкива; одинъ изъ нихъ соединялся безконечнымъ канатомъ со шкивомъ оси шлюза, а другой — со шкивомъ, насаженнымъ на нижнюю ось B; эта же послѣдняя въ свою очередь соединялась безконечнымъ ремнемъ съ осью локомобиля. По мѣрѣ погруженія кессона рама наклонялась въ сторону шлюза. Показанныя на той же фигурѣ подмости служили для подъема шлюза при наращиваніи шахтовыхъ трубъ.

При работахъ Ковровскаго и Окскаго мостовъ выемка грунта производилась ведрами, которыя поднимались рабочими помощью рукоятки и зубчатыхъ колесъ, установленныхъ внутри шлюза. На Окскомъ мосту цѣпь была замѣнена ремнемъ изъ слоевъ холста и гуттаперчи, и выемка грунта производилась однимъ большимъ ведромъ вмѣстимостью 2 куб. фута.

При сооруженіи Ковровскаго моста цѣпи состояли изъ полосъ желѣза $2'' \times {}^1/_8''$, соединенныхъ болтами (фиг. 322); на болты k, стягивающіе обѣ двойныя вѣтви цѣпи, навѣшивалисъ ведра съ пескомъ. Въ сутки вынимали до 3 куб. саж. песка.

На Волжскомъ мосту былъ только одинъ шкивъ—вверху; цѣпь была замѣнена толстымъ канатомъ, а ведра—мѣшками, навѣшиваніе мѣшковъ къ канату дѣлалось такимъ образомъ: мѣшокъ связывался вверху тонкимъ канатомъ съ узломъ на концѣ (рис. 621); затѣмъ этотъ канатъ надѣвался петлею на безконечный канатъ, и мѣшокъ держался однимъ треніемъ между канатами.



Рис. 621.

При сооруженіи Екатеринославскаго моста скорость поднятія мѣшковъ и бадей измѣнялась отъ 0,7 ф. до 1,3 ф. въ секунду. Объемъ большой бадьи—0,007 куб. саж.; объемъ малой бадьи—0,003 куб. саж.. Въ одномъ изъ кессоновъ грунтъ извлекался мѣшками, причемъ скорость движенія каната, къ которому прикрѣплялись мѣшки, составляла 10 саж. въ минуту; мѣшки прикрѣплялись на разстояніи 2 саж. одинъ отъ другого. Въ минуту подавалось въ камеру 5 мѣшковъ. (Партія въ 207 мѣшковъ давала не болѣе ${}^1/_4$ куб. саж. въ теченіе 40 минутъ при всякой глубинѣ).

в) Помощью эжектора, описаніе устройства котораго изложено было раньше при описаніи работъ моста черезъ р. Aa. Но Malezieux такой насосъ при діаметрѣ трубъ въ 88 мм. могъ извлечь въ часъ 15 куб. метр. песка, т. е. около 2 куб. саж., причемъ для выбрасыванія песка необходимо давленіе воды въ 10 атмосферъ.

г) Помощью песчанаго насоса, пользуясь для сего сжатымъ воздухомъ рабочей камеры. Такъ, въ кессонѣ устоя моста черезъ р. East-River (фиг. 291, табл. 41), кромѣ двухъ среднихъ открытыхъ шахтъ въ 4,4 кв. метра каждая, въ которыхъ грунтъ вычерпывался порьей (какъ въ Кельскомъ мосту), было установлено въ потолкѣ до 50 металлическихъ вертикальныхъ трубокъ 4 дюймовъ въ діаметрѣ; нижній конецъ трубъ доходилъ до дна кессона, верхній—выше обшивки; трубки подъ потолкомъ имѣли краны, по открытіи которыхъ сжатый воздухъ, устремляясь въ трубы, увлекалъ съ собою подбрасываемый лопатами песокъ и крупный гравій, выбрасывая его на высоту до 150 метр. со скоростью 0,4 килом. въ минуту. Каждая трубка выбрасывала въ двѣ минуты до 1 куб. метра песка съ глубины до 20 метр. Въ чистомъ пескѣ въ день выбрасывалось до 600—700 куб. метр. Въ виду громадныхъ размѣровъ камеры 52,5 метр. × 31,2 м. не могло быть замѣтнаго пониженія упругости воздуха. Этимъ пріемомъ пользуются также весьма часто, чтобы выпустить изъ кессона воду и жидкую грязь при проходѣ глинистыхъ слоевъ, когда вода не проходитъ сквозь непроницаемую глину. Надъ потолкомъ кессона устанавливается трубка около 3 дюймовъ въ діаметрѣ; продолженіе трубки подъ потолкомъ составляетъ кранъ, на который надѣвается гуттаперчевая кишка. Вставляя ее въ воду такъ, чтобы часть ея сѣченія была открыта для воздуха, а другая часть была погружена въ воду, открываютъ кранъ и тогда сжатый воздухъ, выходя сквозь кранъ, увлекаетъ съ собой воду и грязь. При этомъ выходитъ, однако, довольно значительное количество воздуха, такъ что нельзя держать кранъ открытымъ продолжительное время (при небольшихъ размѣрахъ рабочей камеры), иначе съ уменьшеніемъ давленія вода могла бы войти въ кессонъ изъ-подъ ножа.

Различныя особенности, встрѣчающіяся при погруженіи кессона. Въ зависимости отъ различныхъ обстоятельствъ принимаются различныя мѣры при погруженіи кессона. Въ песчаныхъ грунтахъ боковое треніе бываетъ настолько значительно *), что въ подвѣшиваніи кессона во время опусканія, не встрѣчается надобности. При значительной глубинѣ треніе становится такъ велико, что оно вмѣстѣ съ давленіемъ воздуха снизу вверхъ на потолокъ превышаетъ грузъ кладки съ кессономъ, трубами и шлюзами и кессонъ не погружается, хотя бы грунтъ былъ вынутъ ниже ножа. Для этого выпускаютъ часть или весь сжатый воздухъ; отъ уменьшенія давленія вода устремляется внутрь кессона съ большой силой, увлекая съ собою песокъ и уменьшая, слѣдовательно, треніе. При этомъ случается часто, что кессонъ опустится не болѣе какъ на 0,10 саж. или 0,15 саж., между тѣмъ какъ вся камера набьется пескомъ до потолка. Такимъ образомъ изъ кессона приходится вынимать значительно больше песка сравнительно съ объемомъ кладки.

При постройкѣ нѣкоторыхъ Рейнскихъ мостовъ фирмою Harkort было замѣчено, что въ сутки вынималось всего 68,5 куб. метр., между тѣмъ какъ погру-

*) По даннымъ Schmoll'я треніе въ песчаномъ грунтѣ можно оцѣнить отъ 1.900 до 3.000 килогр. на кв. метръ; въ другихъ грунтахъ 1.850 килогр. на кв. метръ.

женіе кессона соотвѣтствовало объему 45,6 куб. метр., т. е. извлекается матеріала на 33% болѣе, чѣмъ бы слѣдовало.

При погруженіи кессона быка № 5 Кіевскаго моста во время выпуска воздуха для умепьшенія бокового тренія (при глубинѣ 7,5 саж. ниже межени) образовалась въ кладкѣ трещина и разрывъ вертикальной шахтовой трубы. По исправленіи трубы разрывъ ея или порча повторялись каждый разъ, какъ только выпускали сжатый воздухъ изъ кессона, причемъ замѣчалось, что нижняя часть опускалась всегда болѣе чѣмъ верхняя, что ясно указывало на разрывъ кладки. При этомъ работа шла крайне медленно и чтобы пройти послѣднія 0,49 саж. потребовалось 2 мѣсяца времени. Разрывъ кладки произошелъ, вѣроятно, вслѣдствіе значительнаго тренія между кладкою въ верхней части и толстыми дубами до $1^1/_2$ арш. въ діаметрѣ, которые часто попадались при погруженіи кессона, на глубинѣ до 4 саж. Когда послѣ окончанія погруженія быка шахтныя трубы были вынуты и посланъ водолазъ для осмотра стѣнъ колодцевъ, оказалось, что въ одномъ колодцѣ, начиная отъ глубины 4,20 саж. ниже межени и въ другомъ на глубинѣ 4,60 саж. кладка была разстроена и стѣны колодцевъ покрыты горизонтальными трещинами. Наибольшая ширина трещинъ въ одномъ колодцѣ оказалось въ 0,12 саж. а въ другомъ—въ 0.18 саж. Для исправленія этихъ трещинъ воспользовались колодцами, какъ рабочими камерами, укрѣпивъ въ нихъ на глубинѣ 1,50 саж. ниже межени крышку изъ полудюймоваго котельнаго желѣза, поверхъ которой была установлена труба и шлюзъ. Для уменьшенія фильтраціи сквозь стѣнки кладки во внутрь временной рабочей камеры пришлось оштукатурить внутренность колодцевъ цементнымъ растворомъ; при этомъ оказалось возможнымъ понизить уровень воды до дна колодца, задѣлавъ временно трещины кирпичной кладкой на цементѣ. Приступить прямо къ замѣнѣ испорченной кладки не было возможности, такъ какъ, по сдѣланіи отверстія въ кладкѣ въ нѣсколько квадратныхъ дюймовъ, воздухъ быстро выходилъ. Поэтому рѣшено было залить сначала всѣ трещины жидкимъ растворомъ 1 части цемента и 4 частей песка и затѣмъ по отвердѣніи приступить къ разборкѣ кладки. Для этого въ предварительной задѣлкѣ трещины пробивали отверстіе въ $1^1/_2$—2 дюйма и тотчасъ затыкали паклею; затѣмъ вливали помощью желоба нѣсколько ведеръ жидкаго раствора, который увлекался въ трещину выходящимъ воздухомъ. Заливъ отверстіе, замазывали его густымъ растворомъ и на разстояніи $1^1/_2$—2 фут дѣлали второе отверстіе и т. д. Послѣ этого въ кладкѣ продѣланы были галлереи въ 2 арш. $\times$ $2^1/_2$ арш., т. е. во всю высоту поврежденной части, и выводилась новая кладка. При этомъ оказалось, что жидкій цементъ залилъ всѣ трещины и отлично затвердѣлъ, такъ что перекладка была почти излишней.

При опусканіи кессона въ жидкій иловатый грунтъ боковое треніе очень незначительно и поэтому здѣсь подвѣсныя цѣпи иногда могутъ быть полезны, такъ какъ однимъ внутреннимъ давленіемъ на потолокъ кессона нельзя значительно облегчить вѣсъ кессона съ кладкой, вслѣдствіе чего кессонъ погружается очень быстро въ грунтъ, что можетъ даже представить опасность для рабочихъ. При опусканіи кессона моста Императора Александра II встрѣтился такой грунтъ; кессоны этого моста, подобно Кіевскому и Кременчугскому мостамъ, опускались безъ привѣсныхъ цѣпей; онъ опускался очень быстро въ грунтъ, такъ что никогда нельзя было обпажить пожа, что вынуждало выбирать грунтъ не по всей площади камеры, а только около краевъ, оставляя всю среднюю часть певыбранной, подпирающей потолокъ. Но и эти подпорки изъ грунта оказались недостаточными,

и они впослѣдствіи были замѣнены деревянными клѣтками и кирпичными столбами, т. е. былъ примѣненъ почти тотъ же пріемъ какъ и при опусканіи кессоновъ моста въ С.-Луи и чрезъ East-River.

Кессоны опоръ Троицкаго моста опускались также безъ цѣпей. Для уменьшенія давленія на грунтъ приходилось вести кладку съ пустотами; банкеты шириною 700 мм. около ножа кессона (фиг. 336, табл. 50) также отчасти способствовавъ болѣе медленному погруженію.

Опусканіе кессона въ глинистомъ вязкомъ грунтѣ представляетъ еще болѣе затрудненія, чѣмъ въ пескѣ; глина облипаетъ вокругъ кессона и препятствуетъ ему опуститься внизъ, не смотря на быстрое опусканіе сжатаго воздуха. Вода, вошедшая внутрь кессона при умепьшеніи давленія, при новомъ нагнетаніи воздуха частью остается въ кессонѣ вслѣдствіе непроницаемости грунта и глина обращается въ жидкую грязь. Вода и жидкая грязь выпускаются обыкновенно помощью давленія воздуха сквозь узкую трубку, вдѣланную въ потолкѣ кессона, о чемъ раньше было упомянуто при описаніи способовъ извлеченія грунта.

Наибольшее затрудненіе встрѣчается, когда глина попадается отдѣльными глыбами въ пескѣ, причемъ происходитъ неравномѣрное опусканіе кессона. Для приведенія кессона въ вертикальное положеніе подрываются подъ пожъ со стороны глины, подкладывая деревянные чураки подъ края кессона въ песчаномъ грунтѣ, чтобы при впускапіи всего воздуха болѣе опустился край кессона, сидящій въ глинѣ. Если это не помогаетъ (такъ какъ часто вода, устремляясь извнѣ въ камеру, увлекаетъ съ собою жидкій песокъ и еще болѣе способствуетъ наклоненію кессона), тогда по окраинѣ глинянаго пласта выводятъ каменную стѣнку до потолка кессона, опуская кладку на $1—1^1/_2$ фута въ глиняный слой, чѣмъ преграждается доступъ песка во внутрь камеры.

При погруженіи быка № 6 Кременчугскаго моста во время весеннихъ водъ кессонъ былъ опрокинутъ. Забивъ кругомъ кессона шпунтовый рядъ, засыпали огражденное пространство пескомъ и на искусственномъ остовѣ опущенъ снова кессонъ сквозь старый, который пришлось прорубать и кусками вытаскивать внаружу.

Упомянемъ объ интересной особенности, встрѣтившейся при производствѣ работъ основанія быка № 2 моста у Марейкъ *), причемъ работы производились помощью съемнаго кессона. Когда кессонъ дошелъ до назначенной глубины 2,70 метра ниже межени, въ скалѣ оказались трещины и пустоты; зондировкой убѣдились, что въ скалѣ имѣются значительныя пустоты. Когда углубились съ кессономъ далѣе до 4,27 метра ниже межени, оказалось, что скала вездѣ имѣетъ тоже сложеніе, какъ и на глубинѣ 2,7 метра. Сдѣлали буровую скважину, и, когда прошли при этомъ слой въ 1,5 метра, то буръ подъ вліяніемъ собственнаго вѣса опустился на глубину отъ 1,5 до 1,6 метра. Зондировка показала, что подъ всей площалью быка существовала громадная пещера. Оставить опору надъ подобной пустотой оказалось рискованнымъ, равнымъ образомъ ничто не гарантировало, что при дальнѣйшемъ углубленіи встрѣтятся подобныя же пустоты, поэтому рѣшили остановиться на этой глубинѣ, заполнивши пещеру бетономъ. Для этого въ скалѣ были сдѣланы отверстія таковой величины, чтобы чрезъ нихъ могли пройти скафандры. Водолазы, вычистивъ предварительно пещеру отъ грязи, укладывали въ ней мѣшки съ бетономъ размѣромъ 0,26 метра длины и 0,15 метра

*) Инженер. Журналъ, Сент. 1883 г., Статья Вротновскаго.

въ діаметрѣ. Насосы, находившіеся на берегу, накачивали воздухъ въ рабочую камеру; въ этой послѣдней воздухъ вновь сгущался насосами для скафандровъ, чтобы дать имъ возможность работать на 7,5 метра ниже горизонта воды въ рѣкѣ,

Опредѣленіе потребнаго количества сжатаго воздуха. При опусканіи кессона грунтъ выбирается на нѣкоторую глубину ниже ножа кессона, а удобство работъ требуетъ, чтобы при этомъ не приходилось работать въ водѣ. Это достигается увеличеніемъ притока воздуха, причемъ онъ, входя въ грунтъ, напр. въ песокъ, вытѣсняетъ изъ него воду ниже ножа и самъ вмѣстѣ съ тѣмъ частью уходитъ сквозь грунтъ и воду, такъ что можно видѣть около погружаемаго кессона воздухъ, выходящій пузырьками на поверхность воды, иногда на разстояніи до 25 саж. отъ кессона. Слѣдовательно, количество потребнаго сжатаго воздуха зависитъ отъ грунта и меньше для глинистаго грунта. При погруженіи опоръ моста чрезъ р. Нѣманъ близъ Олиты на 1 куб. саж. вынутаго грунта расходовалось отъ 90 до 260 куб. саж. воздуха.

Обыкновенно принято, что объемъ воздуха, доставляемаго въ кессонъ, составляетъ 0,75 отъ объема, описываемаго поршнемъ воздуходувной машины, такъ какъ часть тратится вслѣдствіе несовершенства клапановъ, мертваго пространства и проч.

При работахъ Кіевскаго и Кременчугскаго мостовъ воздуходувныя машины давали въ секунду 3,5 и 5,5 фута воздуха, а такъ какъ главная потеря происходитъ чрезъ ножъ, то, при длинѣ ножей въ обоихъ кессонахъ 18,5 и 15,5 саж., на одну погонную сажень ножа потеря воздуха въ песчаномъ грунтѣ составляла 0,2—0,35 куб. фута въ сек. Въ Кельскомъ мосту потеря составляла 0,16—0,31 куб. фута на пог. саж.; въ Прегельскомъ мосту 0,19 куб. фут. въ 1 сек. При сооруженіи опоръ моста чрезъ р. Нѣманъ близъ Олиты, при глубинѣ погруженія 4 саж. ниже горизонта, въ песчаномъ грунтѣ утечка подъ ножемъ составляла 156 куб. ф. въ 1 часъ на 1 пог. саж. или 0,04 куб. ф. въ 1 сек. на 1 пог. саж. При увеличеніи глубины до 7 саж. утечка составляла: 0,054 куб. ф. въ 1 сек. Въ одномъ случаѣ при проходѣ плывуна на глубинѣ 9 саж. ниже горизонта— утечка возрасла до 0,20 куб. ф. въ 1 сек. на 1 пог. саж. или 4,52 куб. метра въ часъ на 1 кв. метръ боковой поверхности камеры кессона.

Приведемъ нѣсколько указаній инженера Schmoll'я относительно расхода воздуха при погруженіи кессона.

Наибольшая потеря воздуха имѣетъ мѣсто въ рабочей камерѣ кессона; въ шлюзахъ, въ шахтовыхъ трубахъ и воздухопродувныхъ трубахъ потеря сравнительно невелика, такъ какъ они до употребленія въ дѣло могутъ быть испытаны и затѣмъ во время самаго производства работъ замѣченная неисправность можетъ быть легко устранена. Такъ напр., Schmoll рекомендуетъ простое средство противъ замѣченной неплотности швовъ въ шлюзахъ и въ шахтовыхъ трубахъ: необходимо съ внутренней стороны, т. е. со стороны значительнаго давленія, обмазать швы разжиженной глиной при помощи обыкновенной кисти; жидкая глина давленіемъ воздуха вгоняется во всѣ швы и щели и дѣлаетъ ихъ непроницаемыми для воздуха.

Плотность швовъ рабочей камеры, очевидно, не можетъ быть испытана до употребленія ея въ дѣло, такъ какъ кессонъ, не измѣняясь въ формѣ, едвали могъ бы выдерживать это испытаніе. Потолокъ кессона обыкновенно покрывается слоемъ цемента толщиною въ 1—2 дюйма и затѣмъ еще слоемъ кладки между потолочными балками, на этомъ основаніи потолокъ можно считать не-

проницаемымъ для воздуха, за исключеніемъ лишь того мѣста, гдѣ потолокъ помощью уголковъ приклепывается къ вертикальной цилиндрической стѣнкѣ рабочей камеры; здѣсь имѣетъ мѣсто довольно значительная потеря воздуха. Несмотря на то, что боковыя стѣнки рабочей камеры обдѣлываются каменной кладкой (между кронштейнами) внизу толщиною въ 0,10 метр., а вверху до 1 метр., потеря воздуха чрезъ эту стѣнку довольно значительна, что доказывается напр. тѣмъ, что, по наблюденіямъ Schmoll'я, дѣйствительный расходъ воздуха превосходитъ отъ 20% до 30% расчетный въ зависимости отъ давленія наружнаго столба воды. Слѣдуетъ замѣтить, что при этихъ изслѣдованіяхъ рабочая камера была еще частью наполнена водой и слѣдовательно потеря воздуха чрезъ ножъ кессона не могла имѣть мѣста. Кромѣ того извѣстно также, что въ глинистыхъ грунтахъ или послѣ того, какъ рабочую камеру начинаютъ наполнять бетономъ, получивъ такимъ образомъ на подошвѣ кессона какъ бы непроницаемый для воздуха слой,—необходимо все время нагнетать воздухъ, что также указываетъ на существующую потерю воздуха сквозь боковую стѣнку камеры. Обыкновенно во время работы грунтъ выбираютъ ниже ножа кессона на 0,10 метр. до 0.20 метр., такъ что помимо потери воздуха сквозь стѣнки камеры она главнымъ образомъ имѣетъ мѣсто у ножа кессона.

Разсмотримъ отдѣльно расходъ воздуха:

1) Необходимый для вытѣсненія воды изъ шахтовой трубы и рабочей камеры до приступа къ каменной кладкѣ, и

2) Расходъ воздуха во время погруженія кессона въ грунтъ.

Въ таблицахъ I и II приведены данныя относительно расхода воздуха въ обоихъ случаяхъ, наблюденныя при постройкѣ опоръ моста чрезъ р. Рейнъ въ Швейцаріи близъ мѣстечка С. Маргариты и опоръ моста кронприпца Рудольфа въ Вѣнѣ.

Числа, помѣщенныя въ предпослѣднемъ столбцѣ показываютъ бо́льшую потерю воздуха, т. е. потерю не только вслѣдствіе неплотности швовъ кессона, но и трату воздуха на преодолѣніе тренія и сопротивленія, представляемаго грунтомъ для вытѣсненія сквозь него воды.

Какъ среднее изъ нѣсколькихъ наблюденій, Schmoll предлагаетъ считать потерю воздуха въ 2,892 куб. метра въ часъ и на каждый квадратный метръ боковой поверхности.

Возьмемъ численный примѣръ. Пусть напр. требуется опредѣлить, въ какое время вытѣсняется вода изъ кессона, ножъ котораго на 3,55 метра ниже горизонта воды, боковая поверхность рабочей камеры 51,39 кв. метра, объемъ пространства въ шахтовой трубѣ и въ шлюзахъ выше горизонта 19,45 куб. метра, а объемъ пространства шахтовыхъ трубъ и рабочей камеры ниже горизонта воды 56,63 куб. метра, причемъ воздуходувная машина доставляетъ за каждый ходъ поршня 0,07 куб. метра, дѣлая въ минуту 70 оборотовъ. Искомое время:

$$x = \frac{V}{L - V'},$$

гдѣ V — объемъ воздуха, необходимый для заполненія воздуходувныхъ трубъ, шлюза, шахтовыхъ трубъ и рабочей камеры;

L — объемъ воздуха, доставляемый машиной въ минуту;

V' — потеря воздуха въ 1 часъ на кв. метръ боковой поверхности.

Начнемъ съ опредѣленія V. Столбу воды въ 3,55 метра соотвѣтствуетъ давленіе въ $\frac{3,55}{10,33} = 0,3437$ атмосферы, а такъ какъ объемъ пространства выше горн-

ТАБЛИЦА I.

Мѣсяцъ и число. Мѣсяцъ.	Число.	№ опоры.	Положеніе ножа кессона. Ниже горизонта межени. (метры)	Ниже горизонта воды. (метры)	Въ грунтѣ. (метры)	Родъ грунта.	Размѣры рабочей камеры кессона. Периметръ. (пог. метры)	Высота. (пог. метры)	Боковая поверхность. (кв. метры)	Площадь основанія. (кв. метры)	Объемъ пространства выше горизонта воды, т. е. объемъ воздухопроводныхъ трубъ, шлюза и шахтовыхъ трубъ, въ куб. метрахъ.	Объемъ пространства ниже горизонта воды, т. е. объемъ шахтовыхъ трубъ и рабочей камеры, въ куб. метрахъ.	Продолжительность вытѣсненія воды, въ часахъ и минутахъ.	Наибольшее показаніе манометра во время вытѣсненія воды, т. е. избытокъ давленія выше 1 атмосферы, въ долях атмосферы.	Объемъ воздуха нормальнаго давленія необходимый для заполненія пространства и для вытѣсненія воды. Соотвѣтственно вѣсу столба воды и объему пространства. (куб. метры)	Соотвѣтственно показанію манометра и объему пространства. (куб. метры)	Дѣйствительно израсходованное количество. (куб. метры)	Потеря воздуха въ часъ на кв. метръ боковой поверхности рабочей камеры, по отношенію объема исчисленнаго: соотвѣтственно вѣсу столба воды и объему пространства. (куб. метры)	соотвѣтственно показанію манометра и объему пространства. (куб. метры)
1872 г.						**Мостъ близъ мѣстечка С. Маргариты, въ Швейцаріи.**													
Мартъ	27	IV	2,10	2,00	0,80	Гравій и пѣсокъ . .	23,26	2,20	51,39	33,00	20,67	69,96	0ч. 23м.	0,25	87,52	92,62 *)	144,90	2,913	2,614 **)
Апрѣль	15	III	0,10	0,30	0,60	„ „ „ . .	23,26	2,20	51,39	33,00	61,86	9,50	0ч. 10м.	0,05	11,57	13,07 *)	42,00	3,553	3,378 **)
„	19	III	3,30	3,55	4,00	„ „ „ . .	23,26	2,20	51,39	33,00	19,45	56,63	0ч. 30м.	0,60	82,77	103,27	147,00	2,500	1,702
1872 г.						**Мостъ кронпринца Рудольфа, въ Вѣнѣ.**													
Октябрь	7	IX	6,91	6,23	9,61	Желтый песокъ и на половинѣ площади основанія—глина .	63,43	2,20	139,55	223,60	368,57	107,70	0ч. 30м.	0,68	394,43	431,58	622,76	3,265	2,740
Ноябрь	10	VIII	4,70	3,70	2,50	Обыкновенный гравій	48,22	2,20	106,80	111,70	22,18	199,13	0ч. 30м.	0,31	278,38	267,93	351,00	1,360	1,549

*) $92,62 = 0,25 \times 20,67 + 1,25 \times 69,96 = 5,17 + 87,45$; $13,07 = 0,05 \times 61,86 + 1,05 \times 9,50 = 3,09 + 9,98$ и т. д.

**) $2,614 = \left(\frac{144,90 - 92,62}{51,39}\right) \times \frac{60}{23} = 1,018 \times 2,6$; $3,378 = \left(\frac{42,00 - 13,07}{51,39}\right) \times \frac{60}{10} = 0,5129 \times 6$ и т. д.

зопта воды (шахтовыхъ трубъ, шлюза и воздуходувныхъ трубъ) уже наполненъ воздухомъ обыкновеннаго атмосфернаго давленія, то для полученія избытка давленія въ 0,3437 атмосферы необходимо въ этотъ объемъ накачать недостающее количество воздуха въ размѣрѣ:

$$19{,}45 \times 0{,}3437 = 6{,}685 \text{ куб. метра.}$$

Затѣмъ объемъ ниже поверхности воды (шахтовыя трубы и кессонъ) наполненъ водой; слѣдовательно для замѣщенія этой воды воздухомъ съ избыткомъ давленія въ 0,3437 атмосферы необходимо накачать объемъ воздуха для замѣщенія воды: (56,63 × 1 атмосферу) куб. метра и для увеличенія давленія на 0,3437 атмосферы сверхъ атмосфернаго еще

56,63 × 0,3437 куб. метра, а всего: $56{,}63 \times 1{,}3437 = 76{,}094$ куб. метра

Итого $V = \ldots$ 82,779 куб. метра.

Съ другой стороны воздуходувная машина даетъ въ 1 часъ.

$$L = 60 \times 70 \times 0{,}07 = 294{,}000 \text{ куб. метра.}$$

V' — потеря воздуха въ 1 часъ на всю боковую поверхность кессона составляетъ:

$$V' = 51{,}39 \times 2{,}892 = 148{,}620 \text{ куб. метра.}$$

Слѣдовательно: $x = \dfrac{82{,}779}{294{,}00 - 148{,}62} = 0{,}57$ час. $= 34{,}2$ мин.

Разсмотримъ теперь полный расходъ воздуха во время *погруженія* кессона и опредѣлимъ затѣмъ собственно потерю воздуха:

въ 1 часъ на кв. метръ площади дна,
» 1 » » пог. метръ периметра,
» 1 » » кв. метръ боковой поверхности.

Ниже помѣщены въ таблицѣ дѣйствительно наблюденныя величины:

ТАБЛИЦА II.

Мѣсяцъ и число. Мѣсяцъ	Число	№ опоры	Положеніе ножа кессона. Ниже ложки. (метры)	Ниже горизонта воды. (метры)	Въ грунтѣ. (метры)	Родъ грунта ниже кессона.	Размѣры кессона. Периметръ. (пог. мет.)	Высота. (пог. мет.)	Боковая поверхность. (кв. мет.)	Площадь основанія. (кв. мет.)	Объемъ нижней рабочей камеры за вычетомъ объема кладки между консолями.	Очертаніе кессона.	Число разъ выпуска воздуха въ теченіе 24 час. Въ шлюзъ для заполненія землей.	Въ шлюзъ для пуска рабочихъ.	Число рабочихъ въ сжатомъ воздухѣ	Показаніе манометра въ шлюзной камерѣ; избытокъ давленія въ долях атмосферы.	Показаніе термометра. Въ окружающемъ воздухѣ, по Реомюру.	Въ кессонѣ, по Реомюру.	Расходъ воздуха въ теченіе 1 часа. Объемъ воздуха, накачиваемаго въ кессонъ въ теченіе 1 часа. (куб. метры)	Для шлюзованія грунта. (куб. метры)	Для шлюзованія рабочихъ. (куб. метры)	Для увеличенія давленія вслѣдствіе увеличенія глубины опусканія. (куб. метры)	Всего. (куб. метры)	Періодъ опусканія.	Потеря воздуха въ теченіе 1 часа. На кв. метръ основанія кессона. (куб. метры)	На пог. метръ периметра. (куб. метры)	На кв. метръ боковой поверхности. (куб. метры)
1872 г.			Мостъ чрезъ р. Рейнъ близъ мѣстечка Маргариты (въ Швейцаріи).																								
Апрѣль	3	IV	4,35	5,25	2,25	Мелкій песокъ .	23,36	2,20	51,39	33,00	54,10	Прямоугольникъ съ закругленными концами длиною 9,50 м. и шириною 3,80 м.; одна шахтовая труба.	26	50	11	0,45	10,0	11,0	252,00	0,74	2,10	0,32	3,16	2	7,541	10,652	4,842
»	7	—	8,05	8,25	5,95	—	23,36	2,20	51,39	33,00	54,10		32	9	6	0,9—1,0	15,0	9,5	235,00	1,57	0,61	0,28	2,46	2	7,046	9,955	4,525
»	8	—	8,40	8,65	6,30	—	23,36	2,20	51,39	33,00	54,10		14	7	6	0,9—1,3	13,0	9,5	235,00	0,72	0,50	0,28	1,50	2	7,076	10,000	3,543
Іюнь	7	I	+0,20	0,90	2,20	Крупный гравій и песокъ . .	23,36	2,20	51,39	33,00	54,10		12	6	7	0,10	16,0	12,0	252,00	0,06	0,05	1,18	1,29	1	7,567	10,732	4,878
»	12	—	—3,40	9,90	5,80	—	23,36	2,20	51,39	33,00	54,10		31	6	7	0,50	14,0	12,0	273,00	0,82	0,25	0,35	1,42	2	8,229	11,626	5,285
»	13	—	4,40	5,90	6,80	—	23,36	2,20	51,39	33,00	54,10		65	10	7	0,60	16,0	12,0	273,00	2,09	0,49	0,38	2,96	2	8,183	11,560	5,255
1872 г.			Мостъ кронпринца удольфа въ Вѣнѣ.																								
Сентябрь	24	IX	3,21	2,87	3,91	Плотный гравій.	63,43	2,20	139,55	223,60	423,98	Тоже, длина 27,187 м., шириною 8,850 м.; три шахтовыя трубы.	204	20	24	0,310	9,7	17,5	512,40	3,43	0,48	0,61	3,52	1	2,271	8,009	3,639
Октябрь	7	—	6,91	6,23	9,61	Желтый песокъ и на половинѣ площади основанія—глина .	63,43	2,20	139,55	223,60	423,98		195	19	24	0,820	5,0	14,0	707,74	7,32	0,99	0,92	9,23	2	3,124	10,997	5,006
»	17	—	8,67	7,97	9,31	Синяя глина . .	63,43	2,20	139,55	223,60	423,98		128	19	24	0,860	12,0	17,0	436,80	6,15	1,28	—	7,43	2	1,921	6,769	3,007
Ноябрь	20	VIII	5,25	4,40	3,05	Мелкій гравій .	48,22	2,20	106,08	111,70	195,36	Тоже, длина 20,861 м., шириною 5,690 м.; двѣ шахтовыя трубы.	105	13	16	0,410	1,0	6,0	504,00	2,26	1,18	0,87	3,61	1	4,480	10,377	4,717
Декабрь	4	—	9,05	8,15	5,85	Песчано-глинистый грунтъ .	48,22	2,20	106,08	111,70	195,36		105	13	16	0,820	5,0	10,0	453,00	5,32	0,90	0,30	6,52	2	4,002	9,272	4,214

Изъ сравненія таблицъ I и II слѣдуетъ, во-первыхъ, что расходъ воздуха во время вытѣсненія воды значительно менѣе расхода во время погруженія кессона. Затѣмъ таблица II показываетъ, что потеря воздуха на шлюзованіе составляетъ не болѣе 1% отъ общаго накачиваемаго объема и что потеря воздуха, отнесенная на 1 кв. метръ боковой поверхности кессона, выражается довольно постоянными числами, что указываетъ, что правильнѣе относить потерю на эту единицу, нежели на периметръ ножа или на площадь основанія кессона.

Изъ сравненія какъ этихъ данныхъ, такъ и нѣкоторыхъ другихъ, Schmoll приходитъ къ слѣдующему заключенію: Въ глинистыхъ и плотныхъ гравелистыхъ грунтахъ при глубинѣ опусканія отъ 2,37 м. до 8,25 м. ниже поверхности воды, потеря воздуха на каждый кв. метръ боковой поверхности рабочей камеры, составляетъ въ 1 часъ отъ 3,007 куб. м. до 4,543 куб. м.; при глубинѣ въ 7,18 м. ниже поверхности воды расходъ составляетъ 3,985 куб. м.; при слабыхъ песчаныхъ грунтахъ при глубинѣ опусканія отъ 3,70 м. до 10.25 м. ниже поверхности воды потеря воздуха измѣняется отъ 3,866 куб. м. до 5.285 куб. м. и при глубинѣ въ 6.85 м. потеря составляетъ 4,373 куб. метра. Эти данныя примѣнимы ко всѣмъ случаямъ, когда площадь кессона не менѣе 50 кв. метровъ. (Въ противномъ случаѣ, даже самая слабая изъ обыкновенно употреоляемыхъ воздуходувныхъ машинъ доставляетъ воздухъ съ избыткомъ, такъ что значительная часть его теряется чрезъ ножъ; въ этомъ случаѣ полезно одною воздуходувной машиной питать два кессона, имѣя два отростка трубы, отдѣляющіеся отъ общей магистральной трубы. Открывая краны частью или вполнѣ, можно питать одновременно два кессона, находящіеся не на одинаковой глубинѣ. Подобный пріемъ былъ примѣненъ Schmoll'емъ при постройкѣ набережной въ Бона въ Африкѣ).

Изъ той же таблицы II явствуетъ между прочимъ, что съ увеличеніемъ глубины потеря воздуха увеличивается. Можно принять, что приращеніе этой потери составляетъ на каждый кв. метръ боковой поверхности и на каждый метръ глубины 0,1075 куб. метровъ.

Вообще же общая потеря слагается изъ:

а) Потери вслѣдствіе неплотности швовъ воздуховодовъ, шлюзовъ, шахтовыхъ трубъ и кессона.

б) Потери воздуха изъ-подъ ножа кессона.

Чтобъ опредѣлить эту послѣднюю потерю, обратимся къ таблицѣ II.

Такъ въ кессонѣ № IV моста близъ мѣстечка Маргариты, 3 апрѣля 1872 г. при глубинѣ опусканія кессона въ 5,25 м. ниже уровня воды общая потеря воздуха, за исключеніемъ потери на шлюзованіе и на увеличеніе глубины, составляла въ 1 часъ: $(252{,}00 - 3{,}16) = 248{,}84$ куб. метра. Затѣмъ согласно послѣдняго столбца таблицы I во время вытѣсненія воды изъ рабочей камеры 27 марта потеря воздуха вслѣдствіе неплотности швовъ составляла въ часъ $= 2{,}614 \times 51{,}39 = 136{,}38$ куб. метра. Но такъ какъ 27 марта кессонъ былъ лишь на 2 метра ниже уровня воды, то, принимая во вниманіе потерю вслѣдствіе увеличенія глубины, получимъ добавочный расходъ въ $0{,}1075$ куб. м. $\times 51{,}39$ кв. м. $\times (5{,}25 - 2{,}00) = 17{,}95$ куб. м. Слѣдовательно 3 апрѣля потеря воздуха чрезъ неплотные швы и проч. составляла: $136{,}38 + 17{,}95 = 154{,}33$, а потому на потерю изъ-подъ ножа остается: 94,51 куб. м., т. е. въ часъ на пог. метръ периметра ножа: $\frac{94{,}51}{23{,}36} = 4{,}046$ куб. м., или $40{,}93\%$ отъ общей потери.

Разсмотримъ еще кессонъ № IX моста кронпринца Рудольфа: 7-го октября 1872 г. общая потеря воздуха составляла въ часъ = 707,74 — 9,23 = 698,51.

По таблицѣ I при вытѣсненіи воды изъ кессона въ тотъ же день и при той же еще глубинѣ общая потеря составляла: 2,74 куб. м. × 139,55 кв. м. = = 382,37 куб. м. Слѣдовательно потеря изъ-подъ ножа 316,14, или въ 1 часъ на пог. метръ периметра: $\frac{316,14}{63,43} = 4,984$ куб. м., или 45,26% отъ общей потери.

(По другимъ вышеприведеннымъ даннымъ Кіевскаго, Кременчугскаго, Прегельскаго и Кельскаго мостовъ потеря составляла въ 1 секунду на 1 пог. саж. ниже периметра ножа около 0,25 куб. фута, а по этимъ же даннымъ около 0,3 куб. ф.).

Такимъ образомъ изъ общаго количества воздуха, которое накачивается въ 1 часъ времени, на шлюзованіе и увеличеніе глубины расходуется 1% (по даннымъ инженера Венда, наблюденнымъ при сооруженіи моста чрезъ р. Нѣманъ близъ Олиты—расходъ при шлюзованіи составлялъ 40% отъ расхода подъ ножемъ или примѣрно 16% отъ общей потери), а 99% на общую потерю воздуха подъ ножемъ и чрезъ неплотные швы, причемъ первая потеря составляетъ 43% отъ 99% или всего 42,5%, а вторая потеря 57% отъ 99%, или всего 56,5%.

Возьмемъ численный примѣръ. Пусть требуется опредѣлить, какое количество воздуха слѣдуетъ доставлять въ 1 часъ въ кессонъ въ то время, когда онъ достигаетъ глубины 15 метровъ ниже уровня воды (полагая, что вода уже вытѣснена), если высота кессона — 2,20 м.; периметръ — 57,45 м.; площадь основанія — 130,18 кв. м.; потеря на каждый кв. мет. боковой поверхности при глубинѣ опусканія 6,85 м. на основаніи вышеприведенныхъ данныхъ Schmoll'я: 4,373 куб. мет. Грунтъ — смѣсь гравія съ пескомъ. Неизвѣстное найдется по формулѣ:

$$V = [(U \times V') + Z \times U \times (T - 6,85)] + C,$$

гдѣ V — общій расходъ воздуха въ 1 часъ времени,

U — боковая поверхность периметра = 57,45 × 2,20 = 126,39 кв. метра,

V' — общая потеря въ часъ на кв. метръ боковой поверхности, что въ гравіи при глубинѣ опусканія въ 6,85 метра (какъ выше было указано) составляетъ 4,373 куб. м.,

Z — увеличеніе расхода на каждый пог. метръ ниже глубины 6,85, составляющее на кв. метръ = 0,1075 куб. метра (также выше было указано),

T — глубина опусканія ниже поверхности воды,

C — процентное увеличеніе на расходъ по шлюзованію и проч., всего 1%

Слѣдовательно:

$$V = [(126,39 \text{ кв. м.} \times 4,373 \text{ куб. м.}) + (0,1075 \text{ куб. м.} \times 126,39 \text{ кв. м.} \times$$

$$\times (15,00 - 6,85)] + 1\% = 670 \text{ куб. метрамъ.}$$

Вліяніе сжатаго воздуха на здоровье рабочихъ. Пребываніе въ сжатомъ воздухѣ съ упругостью до 3-хъ и болѣе атмосферъ (одной атмосферѣ соотвѣтствуетъ высота столба воды въ 16,278 ф.), не вредно для здоровья рабочихъ, за исключеніемъ развѣ неизбѣжной сырости и тяжелаго для вдыханія воздуха въ глинистыхъ и иловатыхъ грунтахъ, благодаря выдѣленію газовъ и малой интенсивности вентиляціи. Что же касается входа и въ особенности выхода изъ кессона,

то непринятіе необходимыхъ предосторожностей можетъ имѣть гибельныя послѣдствія. При впускѣ сжатаго воздуха въ шлюзную камеру, ощущается вначалѣ сильная боль въ ушахъ, пока не уравновѣсится давленіе воздуха на барабанную перепонку съ обѣихъ сторонъ.

Скорѣйшему уравновѣшиванію содѣйствуетъ слѣдующій пріемъ: — необходимо закрыть ротъ и зажать носъ и, надуваясь, вогнять воздухъ въ барабанную полость или же проглатывать воду частыми, но небольшими глотками; для страдающихъ насморкомъ или подверженныхъ болѣзнямъ сердца и легкихъ — входъ въ кессонъ долженъ быть воспрещенъ; впускъ сжатаго воздуха необходимо совершать достаточно медленно (около $2^1/_2$ минуть при расчетѣ давленія въ 2 атм.).

Выходъ изъ сжатаго воздуха, всегда болѣе нагрѣтаго, требуетъ еще бо́льшихъ предосторожностей; необходима медленность въ уравновѣшеніи воздуха (не менѣе 20 минутъ при 2 атмосферахъ); при этомъ также появляется боль въ ушахъ, вызванная тою же причиной, какъ и при впускѣ сжатаго, съ тѣмъ только отличіемъ, что теперь внутри организма воздухъ обладаетъ бо́льшей упругостью. При выходѣ изъ шлюза слѣдуетъ дышать чрезъ респираторъ, быть тепло одѣтымъ и заткнуть уши ватой. Несоблюденіе всѣхъ этихъ предосторожностей вызываетъ глухоту (разрывъ барабанной перепонки) и ревматизмъ. Вообще послѣдняя болѣзнь «кессонная болѣзнь» развивается отъ продолжительной работы въ кессонѣ. Рабочая смѣна продолжается не болѣе 6 часовъ; съ увеличеніемъ давленія уменьшается продолжительность смѣны; при 15 фунтахъ давленія—назначаютъ 6 час. работы и 6 час. отдыха, а при 25 фунтахъ—2 час. работы и 10 час. отдыха. Вообще при давленіи до $1^1/_2$ атм. работаетъ въ сутки 4 смѣны, а при давленіи свыше 2 атм. — 8 смѣнъ.

Успѣхъ работы. Успѣхъ работы зависитъ какъ отъ качества грунта, формы кессона съ болѣе или менѣе развитымъ периметромъ, отъ цилиндрической или конической формы, отъ удобства работы въ рабочей камерѣ, пріемовъ выемки грунта, бо́льшей или меньшей обезпеченности противъ отклоненія кессона въ сторону, неравномѣрной осадки и проч.

При сооруженіи Кіевскаго желѣзнодорожнаго моста среднее углубленіе въ сутки составляло 0,25 саж., въ Ковровскомъ—0,08 саж.; при сооруженіи моста чрезъ р. Миссисипи у С.-Луи—кессонъ погружался въ сутки на 0,033 саж., въ началѣ же работъ на 0,70 саж. Однокамернымъ шлюзомъ поднимается отъ 2,25 куб. саж. до 5 куб. саж. въ сутки; двухкамернымъ и трехкамернымъ отъ 5 до 7,5 куб. саж. рыхлаго грунта въ сутки.

При сооруженіи опоръ моста чрезъ р. Нѣманъ близъ Олиты инженеръ Венда наблюдалъ, что при работѣ въ 4 бадьи, которыя—емкостью каждая 0,06 куб. саж.— одновременно находятся на подъемной машинѣ и въ шлюзѣ, въ сутки вынималось однимъ шлюзомъ отъ 3,28 до 5 куб. саж. Слѣдующій расчетъ инженера Венда указывалъ на возможность извлекать до 6,5 куб. саж. При глубинѣ опусканія до 9 саж. на шлюзованіе требуется—около $1^1/_4$ мин. Этому же времени соотвѣтствовала и скорость подачи бадьи въ шлюзъ. На шлюзованіе одной смѣны рабочихъ требуется 20 мин.; слѣдовательно, расчитывая въ среднемъ на пять смѣнъ—въ сутки требуется 1 ч. 40 мин.; на подборку подъ ножомъ при глинистомъ грунтѣ требуется $1^1/_2$ часа времени, а въ песчаномъ—1 ч.; дѣлая эту подборку отъ 2-хъ до 3 разъ въ сутки — расходуется соотвѣтственно 3 часа; полагая накопецъ на мелкія задержки, на проходъ мастера и проч. до 1 ч. 20 м., полезныхъ рабочихъ часовъ остается: 24 — (1 ч. 40 м. + 3 ч. + 1 ч. 20 м.) = 18 ч.

Слѣдовательно въ сутки можетъ быть извлечено въ рыхломъ тѣлѣ: $V = 18 \times \times 60 \times 0{,}01 : 1\frac{1}{4} = 8{,}64$ куб. саж., а въ плотномъ тѣлѣ: $8{,}64 \times \frac{3}{4} = 6{,}5$ куб. саж.

На $1^1/_3$ кв. саж. площади кессона полагается одинъ каменщикъ, который въ 12 час. вырабатываетъ $^1/_3$ куб. саж. бутовой кладки. Поэтому максимальная работа

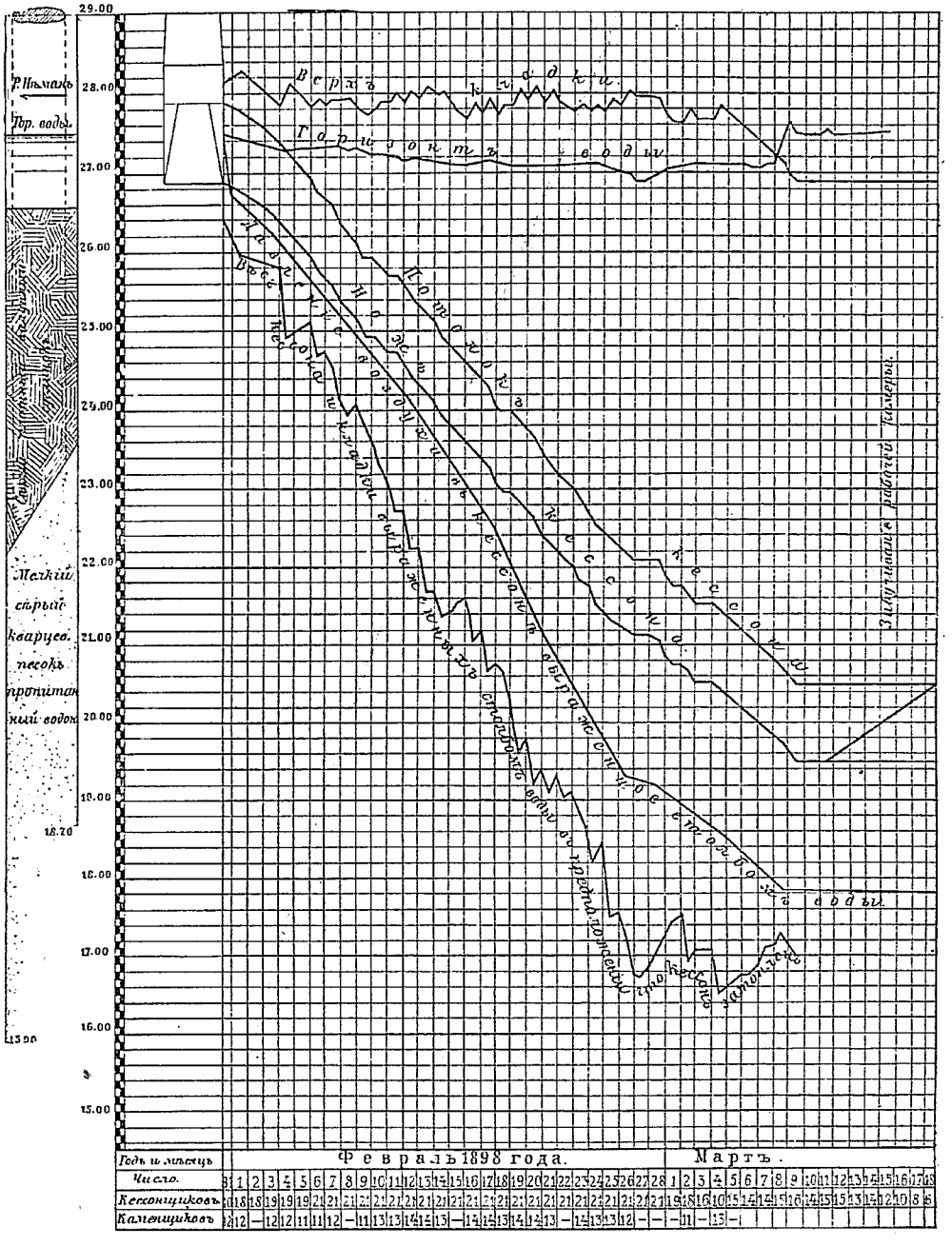


Рис. 622. — Графикъ хода работъ по опусканію кессона.

при двухъ смѣнахъ каменщиковъ выразится слоемъ кладки толщиною $^2/_3 : 1^1/_3 = = 0{,}5$ саж. или для запаса 0,4 саж. Очевидно, что наиболѣе продуктивная работа будетъ въ томъ случаѣ, если скорость погруженія кессона въ грунтъ соотвѣтствуетъ максимальной скорости возведенія кладки по всей площади кессона.

Ежедневный успѣхъ работы для наглядности изображается графически (рис. 622)

По оси абсциссъ откладывается продолжительность времени, принимая за единицу сутки, съ указаніемъ года, мѣсяца и числа; тутъ же надписывается число кессонщиковъ и каменщиковъ на каждый день. По оси ординатъ, принимая за единицу напр. сотую долю сажени, откладываютъ положеніе верха кладки, горизонта воды, положеніе потолка кессона, ножа кессона, а также отмѣчаютъ давленіе воздуха въ кессонѣ и вѣсъ кессона и кладки, выражаемыхъ столбомъ воды въ предположеніи, что кессонъ затопленъ (рис. 622).

Открытые кессоны. Необходимость заложенія въ извѣстныхъ случаяхъ основанія опоръ на значительной глубинѣ ниже уровня воды, на глубинѣ, превосходящей предѣлъ 32 м. (до 6 атм.), при которой люди могутъ еще работать въ сжатомъ воздухѣ, хотя и съ большимъ трудомъ—заставила отказаться отъ примѣненія въ такихъ случаяхъ сжатаго воздуха и прибѣгнуть къ выемкѣ грунта по всей площади кессона черпаками въ открытыхъ шахтахъ. Хотя и съ примѣненіемъ сжатаго воздуха выемка грунта можетъ производиться въ открытыхъ шахтахъ, но отличіе состоитъ въ томъ, что въ послѣднемъ случаѣ число и поперечное сѣченіе шахтъ ограничено, и рабочіе, выкапывая грунтъ, подвозятъ или подбрасываютъ его къ мѣсту помѣщенія норьи или черпака (фиг. 291, табл. 41). Въ сущности этотъ способъ напоминаетъ идею опускныхъ колодцевъ, при чемъ въ одной опорѣ имѣется не одинъ колодезь (трубчатыя опоры моста чрезъ р. Аму-Дарью), а нѣсколько. Употребляемые для сего кессоны должны имѣть достаточное число шахтъ или колодцевъ значительнаго діаметра для удобства маневрированія черпаками по всей площади кессона и должны допускать удобное заполненіе кладкой. Они состоятъ обыкновенно (фиг. 306, табл. 43) изъ внѣшней металлической оболочки, соединенной по высотѣ рѣшеткой съ металлической оболочкой колодцевъ, которые расположены внутри и между которыми также устраивается связь изъ сквозной рѣшетки. Въ образующейся такимъ образомъ кольцевой стѣнкѣ нижняя часть дѣлается заостренной. Для удобства регулированія погруженія полезно колодцы размѣщать симметрично относительно продольной и поперечной оси. Такъ полагаютъ, что число колодцевъ должно быть не менѣе четырехъ (опоры моста Poughkeepsie). Иногда кессонъ состоитъ изъ двойной оболочки по всему периметру (фиг. 307, табл. 43), взаимно связанной по высотѣ рѣшеткой; ограниченное двойной оболочкой пространство раздѣляется по высотѣ трубчатыми сквозными стѣнками на два или на три отдѣленія, въ которыхъ производится выемка грунта; стѣнки эти служатъ вмѣстѣ съ тѣмъ для увеличенія жесткости кессона и имѣютъ въ средней части заостренный внизъ замкнутый колодезь, заполняемый кладкой или бетономъ для увеличенія вѣса. Если оболочка продолжается не на всю глубину погруженія, то во избѣжаніе разрыва кладки при опусканіи—съ металлическимъ кессономъ связывается каркасъ, который продолжается вверхъ и задѣлывается въ кладку (фиг. 307, табл. 43) во время погруженія. Черпаки, емкостью до 3—4 куб. метр., приводимые обыкновенно въ движеніе паровыми лебедками, устанавливаются на подмостяхъ.

Опишемъ нѣсколько примѣровъ. На фиг. 306, табл. 43 показанъ открытый кессонъ опоры моста черезъ Hawkesbury въ Новомъ Валлисѣ на югѣ Австраліи. Общая длина моста 884,58 метр., семь пролетовъ, при разстояніи между осями опоръ въ 126,88 м. и 124,44 м. Ложе рѣки состоитъ изъ пла съ песчаной подпочвой, расположенной на глубинѣ отъ 18,30 м. до 51,85 м. ниже высокаго уровня; наибольшая глубина рѣки 23,48 м. Наибольшая глубина заложенія опоръ 49,41 метр. ниже уровня высокихъ водъ. Кессонъ—прямоугольнаго очертанія съ полукруглыми оконечностями. Длина его—14,64 метр.; ширина—6,10 м. Въ двухъ опорахъ кессонъ расширялся книзу, съ укло-

номъ: $\frac{(7{,}32-6{,}10)}{2\times 6{,}10}=0{,}1$; хотя при этомъ облегчалось опусканіе, но съ другой стороны трудно было удерживать кессонъ въ отвѣсномъ положеніи, и въ слѣдующихъ опорахъ мѣра эта была оставлена. По направленію продольной оси имѣется три цилиндрическихъ желѣзныхъ колодца, діаметромъ 2,44 м., на взаимномъ разстояніи 4,27 м., которые предназначены для производства въ нихъ вычерпыванія грунта. Стѣнки кессона и колодцевъ взаимно связаны рѣшеткой; ножъ кессона и низъ промежуточныхъ стѣнокъ заострены. Кессонъ былъ собранъ на берегу и подвезенъ къ мѣсту работъ на плоту; по загрузкѣ плота онъ былъ удаленъ, и кессонъ опущенъ. Погруженіе кессона до дна достигнуто было загрузкой бетономъ промежутковъ между стѣнками. Послѣ того какъ черпаками кессонъ былъ опущенъ въ слой песка, забетонировали колодцы бетономъ до уровня низкихъ водъ, а выше вывели кладку; составъ бетона былъ: 1 ц.+3 п.+6 щ. Наибольшее напряженіе грунта достигаетъ: 9,7 $\frac{\text{кил.}}{\text{сант.}^2}$. Двѣ опоры опущены на глубину 43,92 м. и 49,41 м. ниже горизонта высокихъ водъ. За невозможностью забить сваи для направленія движенія, кессоны не могли быть опущены вполнѣ отвѣсно. Опора № 5 наклонилась въ поперечномъ направленіи и не смотря на усиленное вычерпываніе со стороны менѣе погрузившагося конца—нельзя было его выправить. Пришлось вывести бутовую кладку напусками въ видѣ свѣса, для помѣщенія опорной подушки. Въ опорѣ № 6 отклоненіе произошло въ продольномъ направленіи; всѣ принятыя мѣры оказались безуспѣшными и оказалось необходимымъ увеличить одинъ изъ пролетовъ на 1,3 м., передвинувъ на ту же величину устой крайняго пролета. Инженеры, руководившіе работами, приписывали это отклоненіе конической формѣ кессона, и въ слѣдующихъ опорахъ низъ кессона на высотѣ до 7 м. былъ окруженъ цилиндрической отвѣсной оболочкой (какъ обозначено буквой P на фиг. 306), причемъ не было уже замѣчено отклоненія.

На фиг. 307, табл. 43 изображены разрѣзы опоры моста «Дюфферинъ» чрезъ р. Гангъ въ Индіи, открытый кессонъ и различныя приспособленія при погруженіи. Общая длина моста 1.074,52 метр., наибольшая величина пролета—108,58 м. Ложе рѣки Ганга въ мѣстѣ перехода состоитъ изъ желтой глины, залегающей на слоѣ песка неопредѣленной толщины. При высокихъ водахъ скорость доходитъ до 24 километровъ въ часъ или 3,14 саж. въ 1 сек., причемъ размывы достигаютъ глубины 21 метр. ниже межени, т. е. распространяются на глубину 36,25 м. ниже горизонта высокихъ водъ; въ виду сего нѣкоторыя изъ опоръ опущены на глубину до 42,75 м. ниже высокихъ водъ. Кессонъ эллиптической формы, при длинѣ большой оси въ 19,88 метр., и малой въ 8,54 метр.; двойная металлическая оболочка на взаимномъ разстояніи 1,83 м. идетъ не во всю высоту опоры, а лишь на 8 м., что отвѣчаетъ глубинѣ воды при низкомъ горизонтѣ. По длинѣ кессонъ раздѣленъ на три отдѣленія; промежуточныя сквозныя стѣнки, въ которыхъ имѣется сплошной колодезь, не доходятъ до низу на высоту 1,83 м. Толщина оболочки—12,5 мм.; на высоту 1,83 м. и далѣе она уменьшена до 9,51 мм. Выше кессона расположенъ металлическій каркасъ, имѣющій цѣлью связать верхнюю часть кладки съ бетоннымъ заполненіемъ промежутка между стѣнками. Выемка грунта производилась черпаками, приводимыми въ движеніе паровыми лебедками, установленными на подмостяхъ, на понтонахъ. Діаметръ черпака—2,44 метр.; вѣсъ въ порожнемъ состояніи—3500 кил.; объемъ захватываемой черпакомъ земли—3,68 куб. метр., вѣсомъ 6 тоннъ. Паровая лебедка могла поднимать грузъ въ 20 тоннъ; необходимость такой значительной подъемной силы обусловлена была тѣмъ, что приходилось преодолѣвать значительное сопротивленіе при выхватываніи черпака изъ грунта. Подмости для вычерпыванія грунта установлены были на тѣхъ же понтонахъ, которые служили для сборки и спуска кессона на воду. Понтоны были желѣзные, длиною 61,00 метр., шириною 7,63 метр. и высотою 3,05 метр.; они были раздѣлены на отдѣленія пятью водонепроницаемыми перегородками съ затворами. Понтоны были соединены по концамъ желѣзными поперечными балками, причемъ между понтонами образовалась прямоугольная свободная площадь, размѣровъ 9,76 м. $\times$ 21,35 м., отвѣчающая съ запасомъ площади, занимаемой кессономъ; затѣмъ на понтонахъ устроены были деревянныя подмости высотою 17,35 м. Послѣ того, какъ оба понтона, связанные по концамъ поперечными балками, были точно установлены на мѣстѣ, настлали между ними временной помостъ, опиравшійся на края понтоновъ, и на помостѣ собрали кессонъ, высотою 3,05 м.; затѣмъ приподняли его при помощи цѣпей, разобрали помостъ и опустили кессонъ на воду, поддерживая его все время на цѣпяхъ. Постепенное углубленіе производилось заполненіемъ кладкой

или бетономъ промежутка между оболочками. Когда ножъ кессона дошелъ до дна, выправили точно положеніе кессона, водолазами разобрали внизу привѣсныя цѣпи и приступили къ вычерпыванію, выводя кладку на 3,66 метр. выше уровня воды. Въ сутки кессонъ опускался на 0,60 метр.; вычерпываніе производилось ночью при электрическомъ освѣщеніи, а кладка велась днемъ. Послѣ опусканія на надлежащую глубину—заполнили колодцы бетономъ; но когда замѣчено было, что бетонъ дастъ осадку подъ дѣйствіемъ нагрузки верхней кладки, признано было безопаснѣе заполнять нижнюю коническую часть колодцевъ пескомъ, и никакихъ осѣданій не было уже замѣчено. Верхняя часть опоры — нѣсколько меньшихъ размѣровъ, чѣмъ нижняя, сплошная на высоту 20,61 м. Обрѣзъ оставленъ былъ въ виду возможнаго отклоненія опоры отъ правильнаго положенія. Въ дѣйствительности отклоненіе нигдѣ не превосходило 0,152 метр. Наибольшее давленіе на подошву основанія составляло: 12 $\frac{\text{кил.}}{\text{см.}^2}$ или 4,8 $\frac{\text{пуд.}}{\text{дм.}^2}$.

Раскосныя (пирамидальныя) опоры.—Общее описаніе раскосныхъ опоръ.—Детали устройства раскосныхъ опоръ съ чугунными ребрами.—Примѣры.—Детали устройства желѣзныхъ раскосныхъ опоръ.—Примѣры.

Раскосныя (пирамидальныя) опоры. Наибольшее развитіе металлическія раскосныя опоры получили со времени постройки Крумлинскаго віадука (фиг. 324 *В*, табл. 45) въ 1853 г. До 1869 г. было всего 23 віадука съ металлическими опорами. Съ того времени построены: Нёрдлингомъ 4 віадука во Франціи (Bouble, Sioule, Neuvial и Bellon); другими строителями: віадукъ Varrugas въ Перу, Туарскій, Оппортскій чрезъ р. Дуэро, пролетомъ около 160 метровъ съ 7 быками, изъ которыхъ 2 поставлены на металлической аркѣ (фиг. 329, табл. 46), віадукъ Гараби (рис. 115), віадукъ близъ Мюнгстена (рис. 118), и т. д. Въ Америкѣ металлическія раскосныя опоры получили также очень широкое распространеніе; можно указать на мостъ черезъ р. Ніагару (рис. 108), на віадукъ Pecos (рис. 110), віадукъ Portage (рис. 635), построенный взамѣнъ сгорѣвшаго деревяннаго и т. д. Въ Россіи металлическія раскосныя опоры примѣнены въ Варгольскомъ віадукѣ (фиг. 332, таб. 47) на Орловско-Грязской ж. д., въ Графскомъ (фиг. 331, таб. 47) и Камышловскомъ віадукахъ на Лозово-Севастопольской ж. д. (первый віадукъ замѣненъ нынѣ земляным полотномъ, построеннымъ въ сторонѣ отъ віадука) и въ віадукѣ черезъ р. Царицу (рис. 634) въ Царицынѣ на Тихорѣцко-Царицынской вѣтви Владикавказской жел. дороги.

Общее описаніе раскосныхъ опоръ. Раскосныя опоры состоятъ обыкновенно: 1) изъ чугунныхъ реберъ (колоннъ) (фиг. 324 *В*, табл. 45), взаимно сосдиненныхъ въ плоскости граней и въ горизонтальныхъ сѣченіяхъ чугунными или желѣзными распорками и желѣзными тяжами, при чемъ вмѣсто распорокъ и тяжей помѣщаются иногда рѣшетчатыя рамы, какъ напр. въ Фрейбургскомъ віадукѣ (фиг. 325, табл. 45), или 2) изъ желѣзныхъ или стальныхъ реберъ съ распорками и тяжами изъ того же матеріала (рис. 634). Ребра (ноги) такихъ опоръ обыкновенно опираются на каменный фундаментъ или на отдѣльные каменные столбы.

Въ слѣдующей таблицѣ помѣщенъ перечень нѣкоторыхъ віадуковъ и относящіяся къ нимъ данныя.

Въ настоящее время ребра дѣлаютъ преимущественно желѣзными, хотя нѣкоторые инженеры, какъ напр. Нёрдлингъ, не находятъ достаточныхъ причинъ замѣнять чугунъ желѣзомъ, въ виду того, что проявляющееся въ ребрахъ наибольшее вытягивающее напряженіе всегда значительно менѣе наибольшаго сжимающаго напряженія, и размѣры, расчитанные на сжимающее усиліе, вполнѣ обезпечиваютъ сопротивленіе продольному изгибу.

№№	Названіе віадука.	Годъ постройки.	Число путей.	Длина віадука.	Полная наибольшая высота віадука.	Наибольшій пролетъ.	Число быковъ.	Наибольшая высота металлической части віадука.	Размѣры. Вверху. Вдоль пути.	Вверху. Поперекъ пути.	Внизу. Вдоль пути.	Внизу. Поперекъ пути.	Число этажей.	Высота этажа.	Діаметръ колонны.
				метры.				метры.						метры.	
1	Crumlin	1853	2	—	58,5	45,7	11	53,00	4,88	9,00	6,54	13,25	14	5,25	0,305
2	Sitter	1854	1	163,6	62,4	38,4	3	47,79	3,5	4,85	5,50	10,50	—	—	—
3	Thur	1854	1	—	—	33,6	3	14,67	—	—	—	—	—	—	—
4	Glatt	1854	1	—	—	36,0	2	23,6	—	—	—	—	—	—	—
5	Saone	1857	2	396,0	76,0	44,1	6	43,32	4,18	6,30	6,20	10,00	12	3,82	0,240
6	Beelah	1863	1	—	—	18,2	15	51,5	3,73	4,72	5,76	15,09	6	4,57	0,305
7	Busseau d'Ahun	1863	2	338,7	56,5	50,0	5	33,9	2,0	6,0	3,4	10,2	8	4,5	0,35
8	Cère	1863	1	308,5	55,3	50,0	4	33,9	2,5	5,0	4,6	9,2	8	4,5	0,30
9	Bonble	1868	1	395,0	66,0	50,0	5	55,8	2,5	3,5	5,29	7,41	4	5,0	0,5
10	Sioule	1868	1	180,6	58,8	56,4	2	47,5	2,5	3,5	4,25	6,71	4	5,0	0,5
11	Neuvial	1868	1	160,2	44,0	49,1	1	37,5	2,5	3,5	4,29	6,0	4	5,0	0,5
12	Bellon	1868	1	231,0	48,5	44,0	2	37,5	2,5	4,29	3,5	5,95	4	5,0	0,5
13	Iglava	1865	1	373,5	42,7	59,4	5	26,4	2,8	4,8	5,55	9,52	4	5,0	0,5
14	Castelanetta . .	1868	1	202,0	60,35	54,0	3	47,60	2,71	4,87	6,66	12,70	4	5,6	0,35
15	San Stefano . .	1868	1	127,0	43,5	56,0	2	17,97	2,34	4,5	6,5	12,5	4	3,3	—
16	Palagianello . .	1868	1	138,0	40,0	52,0	2	27,47	2,7	—	5,0	9,0	4	4	—
17	Guarizzas . . .	1869	1	147,0	41,0	52,2	2	26,22	2,70	4,34	3,70	6,00	4	4,40	—
18	Arrogo-Canero .	1869	1	66,9	—	33,5	1	19,17	1,81	5,45	2,55	6,60	4	3,95	—
19	Genil	1869	1	138,0	28,0	52,2	2	22,75	2,30	4,34	3,20	5,65	4	4,63	—
20	Chorro	1869	1	190,3	20.0	38,1	4	15,58	2,02	3,58	2,95	5,45	4	3,54	—
21	Weissenbach . .	1869	1	163,4	38,0	47,4	2	26,95	2,21	4,82	5,06	8,23	4	4,42	0,5
22	Varrugas	1872	1	175,4	—	38,1	3	76,81	15,25	4,57	15,25	17,4	12	7,62	0,305
23	Thouars	1873	2	20,6	38,6	51,1	3	27,6	—	—	—	—	6	4,27	0,45
24	Portage	1875	1	250,0	71,7	36,5	6	61,0	6,1	15,5	11,3	15,2	4	7,6	—

Наименьшее число реберъ—очевидно четыре; но между существующими сооруженіями, особенно болѣе ранней постройки, имѣется много примѣровъ, гдѣ въ зависимости отъ высоты опоры, числа фермъ, путей и проч.—число реберъ значительно болѣе; такъ, въ продольномъ направленіи встрѣчаются три ребра (фиг. 324 *B* и 325, табл. 45), а въ поперечномъ—три ребра подъ одинъ путь (фиг. 324 *Г* табл. 45), четыре или даже шесть реберъ подъ два пути (фиг. 325 и фиг. 324 *B*, табл. 45).

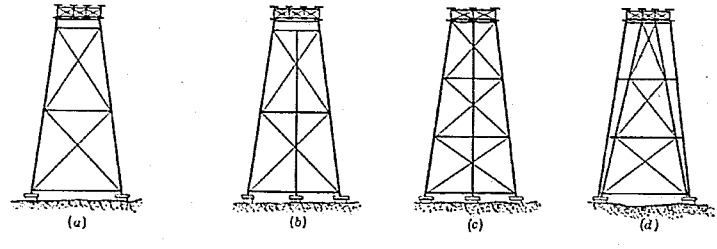


Рис. 623.

Въ настоящее время и подъ два пути ставятъ два ребра, размѣщая въ случаѣ надобности промежуточныя фермы на поперечной балкѣ (рис. 623*a*). Для облегченія поперечной балки ее можно подпереть по серединѣ стойкой, опирающейся на отдѣльный фундаментъ (рис. 623*b*). Другіе два употребительные типа опоръ для двойного пути указаны на рис. 623*c* и рис. 623*d*. Послѣдній типъ примѣняется

въ томъ случаѣ, если первоначально опора устраивается подъ одинъ путь, а затѣмъ пристраиваются два наружныхъ ребра для двухъ добавочныхъ фермъ.

Если число реберъ болѣе четырехъ, то во избѣжаніе кажущагося пересѣченія ихъ (въ перспективѣ) необходимо давать ребрамъ такое направленіе, чтобы оси ихъ сходились въ одной точкѣ. На фиг. 324 *А*, табл. 45 показана горизонтальная проекція опоръ віадука Busseau d'Ahun подъ два пути, въ которой направленія всѣхъ реберъ сходятся въ одну точку. На фиг. 324 *Б*, табл. 45 показана въ проекціи и въ перспективѣ опора Фрейбургскаго віадука, не удовлетворяющая этому условію, вслѣдствіе чего происходитъ кажущееся пересѣченіе реберъ.

Что касается уклона крайнихъ реберъ въ поперечномъ направленіи, измѣняющагося обыкновенно въ предѣлахъ отъ $^1/_3$ до $^1/_{10}$, то онъ опредѣляется изъ того условія, чтобы при наименьшей ширинѣ опоры по верху ребра были настолько раздвинуты внизу, чтобы при расчетѣ на опрокидываніе отъ дѣйствія вѣтра (предполагая поѣздъ состоящимъ изъ порожнихъ вагоновъ), а также отъ центробѣжной силы въ кривыхъ, — коэффиціентъ устойчивости, не считая сопротивленія отъ закрѣпленія, былъ не менѣе 1,50—2,00. Съ этой же цѣлью нижнія части реберъ снабжаются иногда особыми дополнительными наклонными придатками (фиг. 326*а* и 326*б*, табл. 45), увеличивающими коэффиціентъ устойчивости. Наименьшая ширина по верху зависитъ отъ разстоянія между фермами (фиг. 331*в* и 332*г* табл. 47); иногда оставляютъ запасъ до 0,5 м. Что касается уклона граней въ продольномъ направленіи, то онъ дѣлается значительно менѣе чѣмъ въ поперечномъ направленіи, и ребра внизу раздвигаются на меньшую величину, такъ какъ давленіе вѣтра имѣетъ менѣе существенное вліяніе; эти уклоны измѣняются отъ $^1/_{15}$ до $^1/_{40}$; наиболѣе опасное условіе представляется при тормаженіи поѣзда, въ особенности въ случаѣ разрѣзныхъ фермъ (горизонтальную силу, развивающуюся при тормаженіи, оцѣниваютъ въ 0,25 отъ вѣса поѣзда). Ширина по верху въ продольномъ направленіи зависитъ отъ возможности размѣщенія двухъ опорныхъ подушекъ разрѣзныхъ фермъ (фиг. 331*в*, табл. 47) или общей опорной подушки неразрѣзныхъ фермъ (фиг. 332*г*, табл. 47); наименьшая ширина обыкновенно: $0{,}04\,l$ съ запасомъ въ 0,5 м. Въ американскихъ типахъ раскосныхъ металлическихъ опоръ — ребра въ продольномъ направленіи дѣлаются большею частью отвѣсныя (фиг. 327, табл. 46, рис. 624); при этомъ разстояніе между ребрами вверху получается уже настолько велико, что его приходится перекрывать независимыми балками или фермами, опирая фермы смежныхъ пролетовъ непосредственно на ребра (фиг. 327*в*, табл. 46 и рис. 624), между тѣмъ какъ въ европейскихъ типахъ опорныя подушки опираются на балку, связывающую оба ребра (фиг. 331*в* и 332*г*, табл. 47). Послѣднее расположеніе болѣе раціонально въ смыслѣ осевого направленія вертикальнаго давленія при неравномѣрной нагрузкѣ смежныхъ пролетовъ.

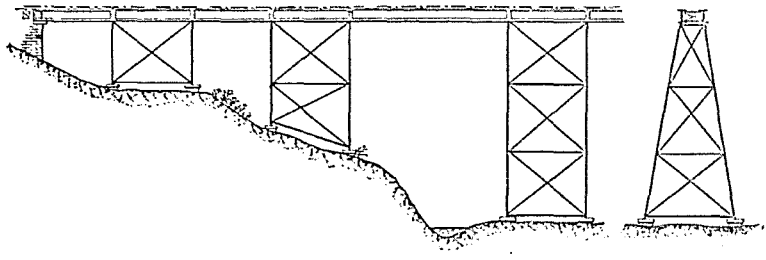


Рис. 624.

Устанавливаемыя на металлическихъ раскосныхъ опорахъ фермы бываютъ разрѣзныя безъ свѣсовъ и со свѣсами, и неразрѣзныя. Если число пролетовъ не

велико, такъ что можно ограничиться одной общей неразрѣзной фермой, то неподвижную опору предпочитаютъ устраивать на одномъ изъ устоевъ. Для увеличенія сопротивленія опрокидываніе и вообще для бо́льшей устойчивости сооруженія полезно располагать проѣзжую часть въ уровнѣ вершины опоры; поэтому при ѣздѣ по верху и въ случаѣ примѣненія разрѣзныхъ фермъ наиболѣе предпочтительны фермы со срѣзанными концами, параболическія и т. д. Во всякомъ случаѣ, если ферма устроена съ ѣздою по верху, то полезно располагать проѣзжую часть немного ниже уровня верхнихъ поясовъ для того, чтобы ослабить послѣдствія возможнаго схода поѣзда съ рельсовъ; въ тѣхъ же видахъ слѣдуетъ мостовое полотно устраивать сплошнымъ. Пролеты дѣлаются большею частью одинаковой величины. Хотя наиболѣе выгодное рѣшеніе получается при равенствѣ стоимости опоръ и пролетнаго строенія, но въ цѣляхъ увеличенія устойчивости—съ увеличеніемъ высоты опоръ—величина пролетовъ обыкновенно уменьшается, по крайней мѣрѣ начиная съ извѣстнаго предѣла.

Детали устройства раскосныхъ опоръ съ чугунными ребрами.—Ребра обыкновенно полаго сѣченія, безъ вертикальныхъ ребордъ или съ ребордами, которые допускаютъ болѣе удобное соединеніе съ фасонными планками и съ рамой рѣшетки, помѣщаемой между ребрами (фиг. 325, табл. 45, фиг. 330*б*, табл. 46). Ребра въ основаніи наглухо прикрѣпляются къ чугунному башмаку, неразрывно связанному съ каменной кладкой (фиг. 325, табл. 45); по высотѣ ребра связываются какъ въ плоскости наружныхъ и внутреннихъ граней, такъ и въ горизонтальныхъ плоскостяхъ системой распорокъ—чугунныхъ, сплошного или сквознаго сѣченій, или желѣзныхъ—и системой раскосовъ—всегда желѣзныхъ; вмѣсто распорокъ и раскосовъ примѣняютъ иногда частую рѣшетку (фиг. 325*б* табл. 45, фиг. 330*б* таб. 46). Распорки помѣщаются обыкновенно вблизи стыковъ звеньевъ; въ стыкахъ отдѣльныя звенья, заканчивающіяся горизонтальными флянцами съ приливами (фиг. 324 *Г*, фиг. 324 *В*, табл. 45), соединяются болтами, причемъ во избѣжаніе поперечнаго сдвига флянцы имѣютъ небольшой выступъ (фиг. 324 *В*, табл. 45). Чугунныя распорки соединяются съ ребрами весьма разнообразными способами. Такъ, на фиг. 324 *Г*, табл. 45 изображенъ оригинальный способъ соединенія, примѣненнаго въ опорахъ віадука Deepdale. Вблизи вершины каждаго чугуннаго звена имѣется горизонтальный кольцевой буртикъ, на который можетъ опираться концевая часть распорки и удерживаться такимъ образомъ на опредѣленной высотѣ; распорка сплошного двутаврового сѣченія имѣетъ на концахъ уширенія, помощью которыхъ она обхватываетъ цилиндрическую часть ребра; уширенія эти, смотря по положенію ребра промежуточнаго или крайняго, отвѣчаютъ полуокружности или одной трети окружности (на фиг. 324 *Г*, табл. 45 показана одна треть окружности); части взаимно соединяются болтами, на которыхъ надѣваютъ кромѣ того раздвоенныя проушины горизонтальныхъ діагональныхъ связей. Связи въ плоскости граней опоры состоятъ изъ полосового желѣза и соединяются съ распорками помощью натяжныхъ клиньевъ, для каковой цѣли въ утолщенной около концевыхъ частей стѣнкѣ распорки имѣются два наклонныхъ сквозныхъ прорѣза, куда вставляются концы раскосовъ съ натяжными клиньями.

Способы прикрѣпленія желѣзныхъ связей къ чугуннымъ колоннамъ также очень разнообразны. Такъ, на фиг. 325, табл. 45, показанъ пріемъ, примѣненный въ опорахъ Фрейбургскаго віадука. Связи между наружными ребрами состоятъ изъ желѣзной рамы изъ парныхъ уголковъ, которые соединены въ углахъ планками и между полками которыхъ зажата частая полосовая рѣшетка; рама эта приболчена

къ соотвѣтственнымъ приливамъ въ колоннахъ опоры. Рама между внутренними колоннами опоры состоитъ изъ двухъ только реберъ, верхняго и нижняго, къ которымъ приклепаны двѣ діагонали. Взаимно склепанныя горизонтальныя ребра двухъ смежныхъ рамъ образуютъ распорку; въ промежуткѣ между уголками зажаты горизонтальныя фасонныя прокладки, къ которымъ приклепаны горизонтальныя корытообразныя діагонали; одинъ конецъ діагонали приклепанъ наглухо, а другой соединяется натяжнымъ клипомъ съ короткой частью, приклепанной къ фасонной накладкѣ.

На рис. 625 и 626 показаны другіе пріемы прикрѣпленій желѣзныхъ связей къ чугуннымъ колоннамъ, состоящіе въ томъ, что къ колоннѣ прикрѣпляется фа-

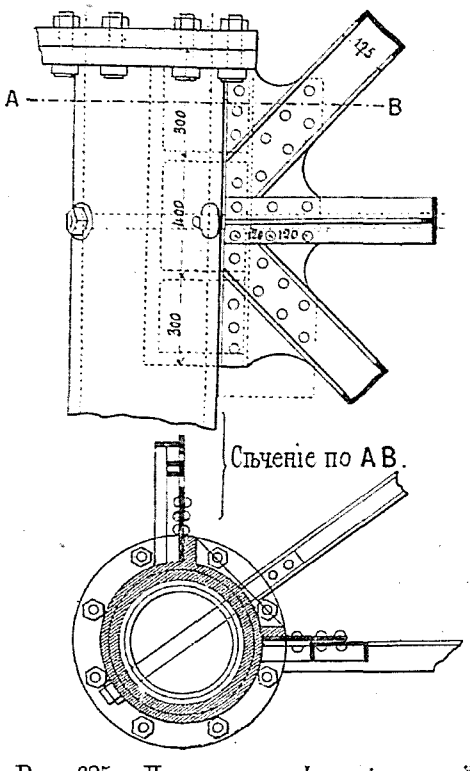


Рис. 625.—Деталь прикрѣпленія связей въ опорахъ віадука Bouble.

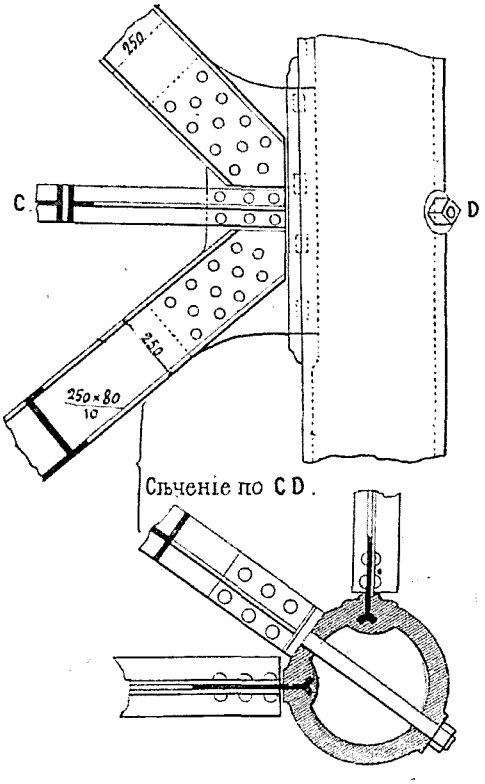


Рис. 626.—Деталь прикрѣпленія связей въ опорахъ віадука Sioule.

сонная планка, къ которой приклепываются распорки и діагонали. Наиболѣе существенную часть составляетъ прикрѣпленіе фасонной планки; для сего отливаютъ колонны съ вертикальными ребордами въ мѣстахъ прикрѣпленія планокъ (фиг. 625 віадукъ Bouble и Bellon) и къ нимъ приболчиваютъ или приклепываютъ планку. Приклепываніе къ чугуну требуетъ искусныхъ клепальщиковъ и во всякомъ случаѣ представляетъ рискованную работу. Въ виду сего заслуживаетъ вниманія остроумный пріемъ, примѣненный Эйфелемъ въ опорахъ віадуковъ Sioule et Neuvial, пріемъ, исключающій необходимость клепки и достигающій тѣмъ не менѣе весьма совершеннаго соединенія желѣзной планки съ чугуномъ; на фиг. 626 показано это приспособленіе. Именно, въ желѣзной планкѣ, въ той ея части, которая должна быть прикрѣплена къ колоннѣ, просверливаются заклепочныя отверстія и дѣлаются по высотѣ надрѣзы такъ, чтобы между двумя надрѣзами помѣщалось по отверстію. Затѣмъ надрѣзанныя части кромки планки

отгибаются въ сторону, одна надрѣзанная часть въ одну сторону, а другая—въ противоположную. Послѣ сего планка вставляется въ форму, назначенную для отливки колонны. При отливкѣ колонны расплавленный чугунъ входитъ въ отверстія въ надрѣзахъ и образуетъ какъ бы чугунныя заклепки; кромѣ того достигается и непосредственная связь чугуна съ желѣзомъ. На обѣихъ фиг. 625 и 626 показано сверхъ того соединеніе горизонтальныхъ діагональныхъ связей съ колонной: въ колоннѣ просверливаются по направленію діаметра два отверстія, въ которыя вставляютъ круглый стержень, снабженный на одномъ концѣ винтовой нарѣзкой, а на другомъ — уширеніемъ, откованнымъ соотвѣтственно формѣ діагонали (корытообразное или тавровое сѣченіе); къ этому уширенію приклепывается діагональ.

Примѣры. Опоры Крумлинскаго віадука при величинѣ пролетовъ въ 150 ф. и при наибольшей высотѣ въ 175 фут. (фиг. 324 *В*, табл. 45), поддерживающія четыре фермы двойного пути, имѣютъ 14 реберъ, изъ которыхъ только 2 среднія вертикальны, остальныя наклонны; наибольшій уклонъ — $\frac{1}{12}$. Двѣнадцать реберъ принимаютъ непосредственно давленіе отъ фермъ; 2 наружныхъ ребра служатъ лишь для приданія бо́льшей устойчивости. Въ виду того, что фермы—системы Варрена,—среднія ребра выше крайнихъ и подпираютъ верхній узелъ, а на крайнія ребра ферма опирается нижними узлами. Діаметръ колоннъ 12″, толщина стѣнокъ 1″ и $^3/_4$″; длина звена 10′. Сопряженіе звеньевъ сдѣлано помощью наружныхъ флянцевъ и болтовъ; одно звено входитъ внутрь другого на величину полу-дюймоваго уступа; въ сопряженіяхъ звенья обточены и плотно пригнаны; вершина каждаго ребра заканчивается площадкой въ 2 кв. фута и толщиною въ 1 дюймъ. Между ребрами въ уровнѣ стыковъ звеньевъ помѣщены чугунныя распорки крестообразнаго сѣченія; въ мѣстахъ соприкасанія распорокъ съ колоннами эти послѣднія имѣютъ осьмиугольное сѣченіе, причемъ распорки соединяются съ колоннами болтами, пропущенными сквозь стѣнку колонны и сквозь приливъ распорки. Горизонтальныя діагональныя связи состоятъ изъ болтового желѣза толщиною $1^1/_2$ дюйма; онѣ проходятъ сквозь стѣнку колонны и завинчиваются съ внутренней стороны гайками. Связи въ плоскости граней состоятъ изъ полосового желѣза $4'' \times {}^1/_2''$, прикрѣпленнаго однимъ концомъ къ распоркамъ; другой конецъ не доходитъ до слѣдующей распорки и имѣетъ прорѣзъ, приходящійся противъ прорѣза короткой полосы, соединенной со слѣдующей распоркой. Въ прорѣзы вставлены клинья, что позволяетъ сообщить раскосамъ должную натянутость. Нижняя часть реберъ заканчивается башмакомъ съ ребордами, прикрѣпленнымъ къ кладкѣ болтами длиною 12 ф.

На фиг. 324 *Г* таб. 45 показаны нѣкоторыя части металлической опоры Бплахскаго (Beelah) и Дипдэльскаго (Deepdale) віадуковъ въ Англіи, построенныхъ по одному и тому же типу при величинѣ пролетовъ въ 60 фут. Каждая опора состоитъ изъ 6 реберъ, составленныхъ изъ чугунныхъ колоннъ; 2 ребра вдоль продольной оси моста и 3 поперекъ оси; въ наиболѣе высокой опорѣ высотою 195 ф. разстояніе между крайними колоннами по направленію перпендикулярному къ оси моста—50 футовъ внизу и 22 фута вверху, по другому же направленію 15 футовъ 9 дюймовъ и 12 футъ, что соотвѣтствуетъ уклонамъ $\frac{1}{12}$ и $\frac{1}{100}$ при высотѣ опоръ въ 195 футъ; внѣшній діаметръ колоннъ 12 дюйм., толщина стѣнокъ измѣняется отъ $^7/_8$ до $1^1/_4$ дюйма, высота звена 15 фут.; сопряженіе звеньевъ сдѣлано помощью флянцевъ и болтовъ при отсутствіи чугунной и всякой другой замазки, которая вообще не достигаетъ цѣли; сопрягаемыя по-

верхности правильно обточены и отверстія просверлены; въ стыкѣ на внутренней поверхности колонны имѣются выступъ и выемка въ $^5/_8$ д., препятствующіе поперечному сдвигу. Распорки состоятъ изъ чугунныхъ балокъ двутавроваго сѣченія, которыя къ концамъ расширяются и заканчиваются цилиндрической поверхностью; концы 2-хъ поперечинъ (въ случаѣ крайней колонны) и 3-хъ (для среднихъ колоннъ) составляютъ полную цилиндрическую поверхность, которою онѣ и обхватываютъ колонну; выпаданію поперечинъ внизъ препятствуетъ приливъ на колоннѣ, а отклоненію ихъ въ сторону препятствуетъ цилиндрическое очертаніе колонны при томъ условіи, что разстояніе между колоннами непзмѣнно; это послѣднее условіе при одновременномъ участіи поперечины въ передачѣ усилій достигается присутствіемъ горизонтальныхъ связей, соединенныхъ болтомъ съ выступающими ребордами поперечинъ; въ мѣстахъ соприкасанія поперечины и колонны правильно обточены, и для уменьшенія издержекъ на обточку соприкасаніе сдѣлано не во всю высоту поперечины. Діагональныя связи въ плоскости граней—желѣзныя; онѣ входятъ внутрь поперечинъ въ соотвѣтственныя гнѣзда, сходящіяся около нейтральной оси балки, и соединяются съ этой послѣдней клиньями для сообщенія должной натянутости связямъ. Башмаки подъ наклонными ребрами установлены также наклонно съ соотвѣтственными наклонными рядами въ кладкѣ. Пролетная часть устроена подъ одинъ путь и состоитъ изъ 3-хъ фермъ, опирающихся каждая на колонну; поверхъ 3-хъ фермъ положены деревянныя поперечины, къ которымъ прикрѣплены рельсы. Незначительность пролетовъ (60 футъ) позволила упростить сборку опоръ; на устоѣ былъ установленъ кранъ съ горизонтальной проекціей укосины въ 60 футъ, помощью котораго поднимали на опредѣленную высоту всѣ части опоры. Когда первый быкъ былъ оконченъ — положена была временная деревянная ферма и на нее надвинута на 2-хъ низкихъ вагонахъ желѣзная ферма, которая помощью того же крана была установлена на опорахъ. Затѣмъ выдвигали кранъ на первый быкъ и продолжали сооруженіе далѣе такимъ же путемъ. Общая длина віадука Beelah—1000 фут.; на сооруженіе его потребовалось 776 тоннъ чугуна, 398 тоннъ желѣза и 12,343 куб. ф. дерева для поперечинъ; сборка продолжалась 4 мѣсяца.

На фиг. 325 табл. 45 изображены опоры Фрейбургскаго семипролетнаго віадука, подъ два пути, при величинѣ пяти среднихъ пролетовъ по 48,88 метр. и двухъ крайнихъ—по 44,92 метр., и при наибольшей высотѣ опоры въ 75,23 метр., причемъ высота металлической части опоры составляетъ 43,23 метр. Во Фрейбургскомъ віадукѣ расположеніе реберъ такое же, какъ и въ Крумлинскомъ; исключены только 2 боковыхъ опорныхъ ребра. Разстояніе между ребрами вверху (по направленію оси моста) 4,28 м., внизу 6,20 м., а по другому направленію: 6,27 м. и 10 м.; высота звеньевъ 3,82 м.; ребра состоятъ изъ чугунныхъ колоннъ съ четырьмя продольными ребордами въ видѣ тавра; внѣшній діаметръ колоннъ 24 сантим.; толщина стѣнки 32 миллим., толщина тавра 3 сантиметра. Наружныя ребра связаны рѣшеткой изъ плоскаго желѣза, заключенной въ четыреугольную раму, составленную изъ 2-хъ уголковъ; размѣры уголковъ $80\times80\times10$ миллим.; размѣры полосъ 10×100 миллим.; уголки рамы соединены съ продольными приливами колоннъ помощью болтовъ. Внутреннія ребра связаны крестами, которые приклепаны къ прокладкамъ, зажатымъ между двумя горизонтальными уголками, которые соединены болтами съ продольнымъ приливомъ колонны. Горизонтальныя діагональныя связи состоятъ изъ ⌊⌋ желѣза размѣровъ $100\times40\times$ $\times10$ мм. и приклепаны къ трапецоидальнымъ прокладкамъ, въ свою очередь при-

клепаннымъ къ горизонтальнымъ уголкамъ рамы. Другой конецъ діагонали не доходитъ до накладки, но перекрывается короткой встрѣчной діагональю, соединяясь съ нею клипомъ. Четыре фермы расположены непосредственно надъ колоннами; верхъ всѣхъ реберъ (колоннъ) перекрытъ особою капителью изъ чугунныхъ балокъ двутавроваго несимметричнаго еѣченія, евинченныхъ во флянцахъ; внизу ребра опираются на подобиыя же чугунныя подушки, связанныя чугунными балками. Напряженіе матеріала въ верхнихъ звеньяхъ 125,4 кпл. на кв. сантим., а въ нижнемъ — 178,9 кил. на кв. сантим. Поверхъ капители непосредственно надъ колоннами помѣщается деревянная подушка, на которую опирается поясъ фермы; на устояхъ концы фермы лежатъ на каткахъ. Для сборки опоръ былъ употребленъ слѣдующій пріемъ: на полотнѣ дороги были собраны на каткахъ 3 пролета неразрѣзной фермы; затѣмъ она была надвинута на столько, чтобы конецъ пролета приходился противъ предполагаемой опоры. Въ концѣ пролета былъ установленъ кранъ, которымъ и поднимались различныя части опоры. Во избѣжаніе прогиба фермы, конецъ ея поддерживался проволочнымъ канатомъ, перекинутымъ черезъ высокую стойку на опорѣ и закрѣпленнымъ на устоѣ; окончивъ сборку перваго быка, надвигали ферму далѣе, присоединяя къ ней другіе пролеты, и поступали подобнымъ же образомъ. Между вершинами опоръ помѣщались предохранительныя цѣпи во избѣжаніе отклоненія опоры при накатываніи фермы. Общая длина віадука включая и устои — 396 м.; средняя высота всего сооруженія—51,7 м.; стоимость—2.400.000 фр.; стоимость кв. метра подмостового профиля, включая и высоту фермъ—117 фр. Стоимость пог. метра по высотѣ опоры—3.260 фр.

На фиг. 326 *а* табл. 45 показана опора віадука Bouble (такого же типа и опоры віадука Sioule), состоящая изъ 4-хъ чугунныхъ колоннъ діаметромъ 500 миллим.; толщина стѣнокъ измѣняется отъ 30 миллим. вверху до 45 миллим. внизу; внутренность заполнена бетономъ; между средними колоннами устроена винтовая лѣстница для осмотра опоры. Особенность опоръ этихъ двухъ віадуковъ составляютъ добавочныя ноги противъ опрокидыванія; радіусъ закругленія этихъ ногъ 24 метра; обѣ ноги, при толщинѣ стѣнокъ въ 45 мм., имѣютъ сходящееся направленіе. Одно изъ звеньевъ, соотвѣтствующее началу кривой ноги, отлито съ боковой вѣтвью, на подобіе водопроводныхъ трубъ. На рис. 627 показана деталь устройства опорной подушки шестипролетной по 50 м. неразрѣзной фермы; подушка опирается на трубчатую желѣзную балку, огибающую вершины двухъ колоннъ. На рис. 628 изображено каменное основаніе, состоящее изъ отдѣльныхъ столбовъ подъ каждой опорой, связанныхъ арками; на томъ же рисункѣ изображено и закрѣпленіе болтовъ. На рис. 625 показана деталь прикрѣпленія связей. Въ опорахъ віадуковъ Bellon и Neuvial (фиг. 326 *б*, табл. 45), имѣющихъ много общаго съ описанными, добавочныхъ кривыхъ ногъ нѣтъ, но главныя ребра разогнуты внизу по дугѣ кубической параболы: $y = \frac{x^3}{1000}$, имѣющей, какъ извѣстно, постепенно умень-

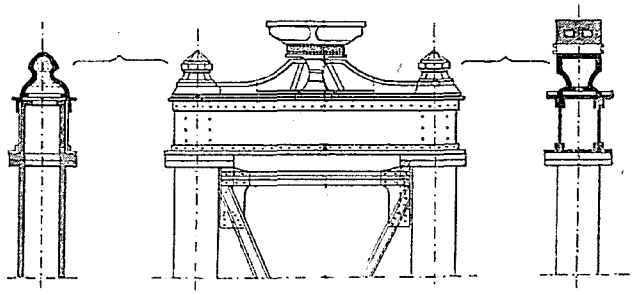


Рис. 627.—Вершина опоры віадука Bouble съ показаніемъ расположенія опорной подушки неразрѣзной фермы.

шающіеся радіусы кривизны, начиная отъ безконечности въ точкѣ касанія. Всѣ эти четыре віадука проектированы Nördling'омъ.

На фиг. 330 *а*, 330 *б* и 330 *в*, табл. 46 показана металлическая опора віадука на Южной желѣзной дорогѣ въ Италіи на линіи Вари — Тарапто. Фермы неразрѣзныя четырехпролетныя съ двумя крайними пролетами въ 47 метр. и

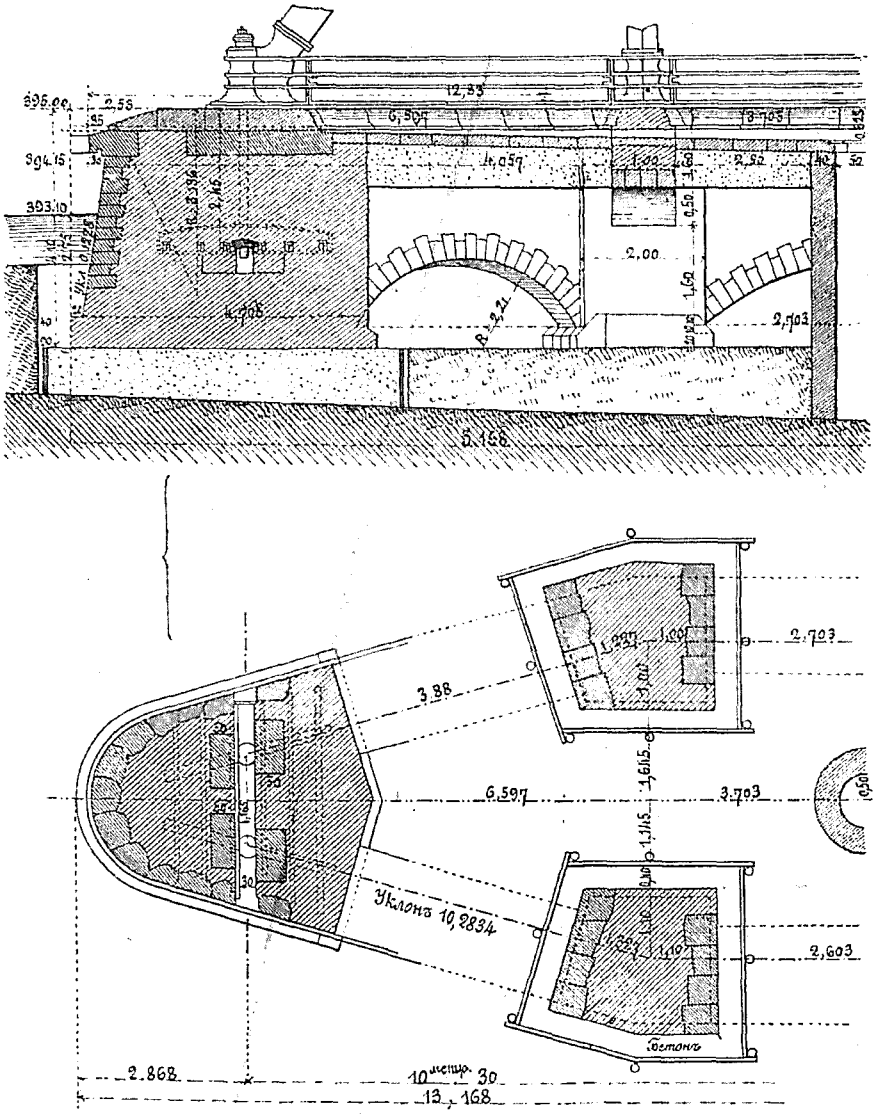


Рис. 628. — Каменное основаніе подъ металличеекими опорами віадука Bouble.

двумя средними въ 50 метр. Наибольшая высота опоры 57,946 м. Каждая опора состоитъ изъ 4-хъ чугунныхъ реберъ кольцевого сѣченія; внутренній діаметръ 29 сантим., внѣшній—35 сантим. Ребра снабжены по всей высотѣ 4-мя ребордами (фиг. 330 *б*); къ двумъ изъ этихъ ребордъ приклепаны желѣзные раскосы рѣшетки. По направленію вдоль оси моста ширина опоры внизу 8,10 метр., вверху 2 метра; по направленію перпендикулярному къ оси моста ширина внизу 15 м., вверху 4,50 метр. Раскосы рѣшетки взаимно параллельны, вслѣдствіе чего панели уменьшаются по мѣрѣ приближенія къ вершинѣ; въ одной грани раскосы пересѣкаются 7 разъ, а въ другой—3 раза. Высота звеньевъ чу-

гунныхъ реберъ постепенно уменьшается. Отдѣльныя звенья соединяются между собою 4-мя болтами, пропущенными сквозь горизонтальныя реборды (фиг. 330 *в*). Нѣсколько ниже каждаго стыка чугунныхъ реберъ пропущенъ сквозь колонну болтъ, къ концу котораго приварена плоская накладка, помощью которой онъ соединяется съ горизонтальными діагоналями сѣченія ⊏ (фиг. 330 *б*). Горизонтальныхъ распорокъ не имѣется. Для предупрежденія бокового выпучиванія граней въ плоскости горизоитальныхъ діагональныхъ связей помѣщены поперечныя распорки, приклепанныя къ двумъ взаимно перееѣкающимся раскосамъ помощью 2-хъ болтовъ съ приваренными къ нимъ накладками. Верхнія и нижнія рамы чугунныя. Прикрѣпленіе колоннъ къ каменной кладкѣ показано на фиг. 330 *а*. Фасадъ и разрѣзъ сомкнутаго устоя показаны на фиг. 100, табл. 11.

На рис. 600 показана раскосная чугунная опора прежняго Тэйскаго моста.

Детали устройства жесткихъ раскосныхъ опоръ. Въ зависимости отъ величины пролета и высоты опоръ, ребра имѣютъ сѣченіе трубчатое, крестовое, дву-

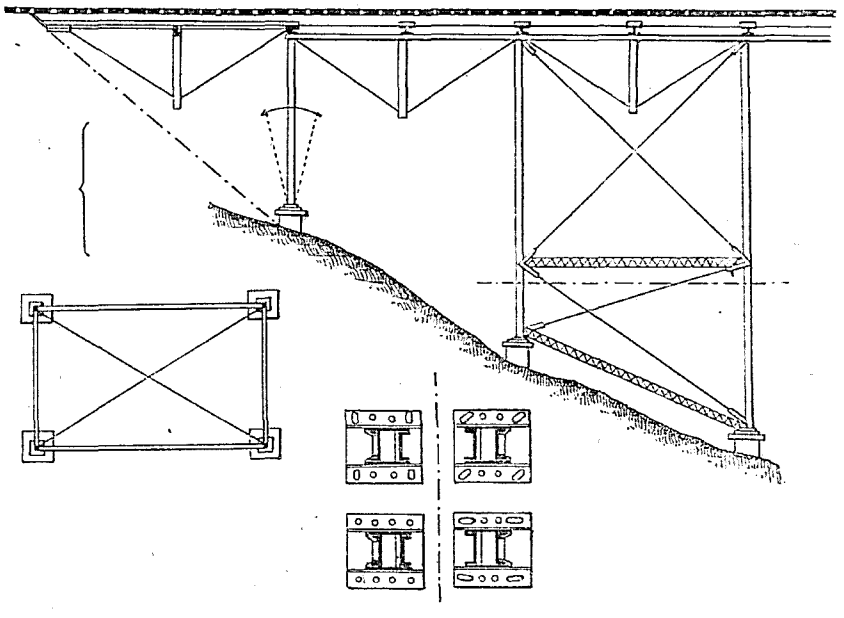


Рис. 629. — Опоры віадука на Южной Цинциннатской жел. дор.

тавровое и т. д.; взаимное соединеніе—по длинѣ дѣлается заклепками; прикрѣпленіе же связей къ ребрамъ бываетъ какъ заклепочное, такъ и болтовое (въ американскихъ типахъ), при чемъ діагонали всегда должны быть такъ направлены, чтобы ось ихъ проходила чрезъ точку встрѣчи осевыхъ линій распорки и ребра; отъ этого послѣдняго условія однако при очень широкихъ ребрахъ иногда отступаютъ (фиг. 332 *б*, табл. 47), что впрочемъ нельзя рекомендовать. Фермы, какъ неразрѣзныя, такъ и разрѣзныя опираются на балку, соединяющую вершину двухъ реберъ, расположенныхъ вдоль оси моста (фиг. 331 *в* и 332 *г*, табл. 47); въ американскихъ же типахъ съ малыми пролетами концы разрѣзныхъ фермъ опираются непосредственно на ребра (фиг. 327); то же расположеніе было впрочемъ примѣнено и въ опорахъ Царицынскаго віадука (рис. 634) съ малыми пролетами. Если ребра опоры очень раздвинуты въ основаніи, въ такомъ случаѣ основаніе одного ребра закрѣпляютъ неподвижно; основаніямъ же остальныхъ реберъ даютъ возможность свободно перемѣщаться (рис. 629), устраивая въ опорныхъ подушкахъ

овальныя отверстія или располагая опоры на каткахъ; при этомъ для ребра, расположеннаго по діагонали, проведенной чрезъ неподвижную опору, овальныя отверстія устраиваютъ по направленію діагонали, или же примѣняютъ двухъярусныя подушки на каткахъ. На рис. 629 показана кромѣ того одна изъ опоръ качающаяся. Вмѣсто овальныхъ отверстій или катковъ пользуются иногда качающимся балансиромъ (рис. 630), въ верхней части котораго устроенъ второй шарниръ, прикрѣпляющій ребра опоры къ балансиру. На указанномъ рисункѣ изображена нижняя опорная подушка круглаго очертанія діаметромъ 1,143 м., прикрѣпленная къ фундаменту пятью болтами, изъ которыхъ одинъ помѣщенъ въ

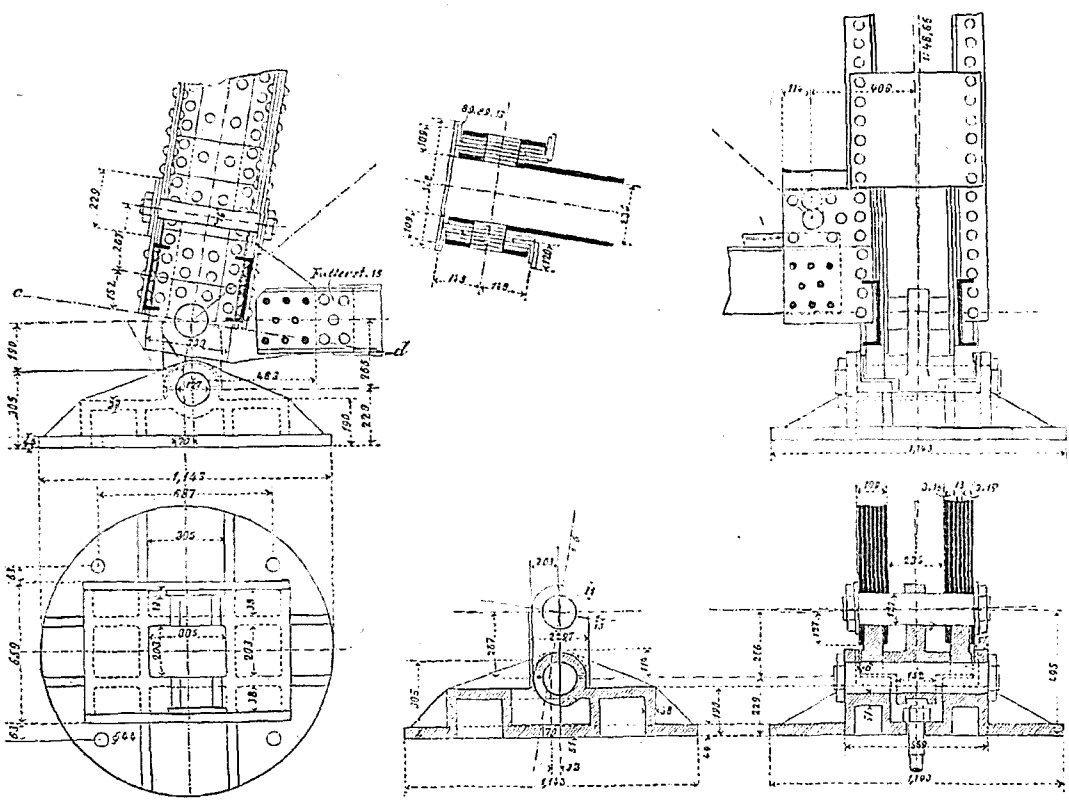


Рис. 630. — Детали устройства подвижнаго соединенія ребра металлической опоры съ опорной подушкой (віадукъ Marent-Gulch на Сѣверной Тихоокеанской жел. дор.).

центрѣ. Подушка имѣетъ въ средней части ребордчатую профиль съ двумя боковыми высокими стѣнками, въ которыхъ сдѣланы отверстія для помѣщенія шарнира; отъ средней части подушки направляются къ окружности восемь ребордъ. На шарниръ, вставленный въ отверстіе, надѣта верхняя балансирная подушка, имѣющая въ средней части кольцевой приливъ; верхняя часть этой балансирной подушки имѣетъ три ребра, среднее болѣе высокое, въ которомъ также сдѣлано отверстіе для пропуска болта діаметромъ 127 мм., связывающаго основаніе ноги съ балансирной подушкой. На крайнихъ ребрахъ сдѣлана полуцилиндрическая выкружка для помѣщенія болта діаметромъ 127 мм. Съ этими крайними ребрами связывается нога, двутавроваго сѣченія путемъ утолщенія ея рядами листовъ, изъ которыхъ наружные, болѣе длинные, обхватываютъ чугунныя ребра.

Это приспособленіе примѣнено въ опорахъ віадука Marent-Gulch на Сѣверной Тихоокеанской жел. дорогѣ. Длина віадука—242,82 м.; онъ расположенъ на прямой, но на уклонѣ въ 0,02; наибольшая высота опоры, состоящей изъ четырехъ реберъ—57,60 м. Въ поперечномъ направленіи разстояніе

между ребрами вверху—6,10 м., внизу—25.30 м.; до половины высоты, считая снизу, имѣется еще среднее вертикальное ребро, подобно изображенному на фиг. 327 *a*, табл. 46; въ продольномъ направленіи разстояніе между ребрами вверху — 8,43 м. и внизу — 9,52 м. Пролеты между опорами величиною 35,56 м. перекрываются фермами Пратта, опирающимися на ребра опоры (рис. 631).

Примѣры. Изъ извѣстныхъ въ Россіи віадуковъ на металлическихъ опорахъ слѣдуетъ упомянуть о Камышловскомъ и Графскомъ віадукахъ (фиг. 331, табл. 47) на Лозово-Севастопольской желѣзной дорогѣ, о Варгольскомъ віадукѣ на Орловско Грязской ж. д. (фиг. 332, табл. 47) и о Царицынскомъ віадукѣ близъ Царицына на Тихорѣцкой вѣтви Ростово-Владикавказской ж. д. (рис. 634).

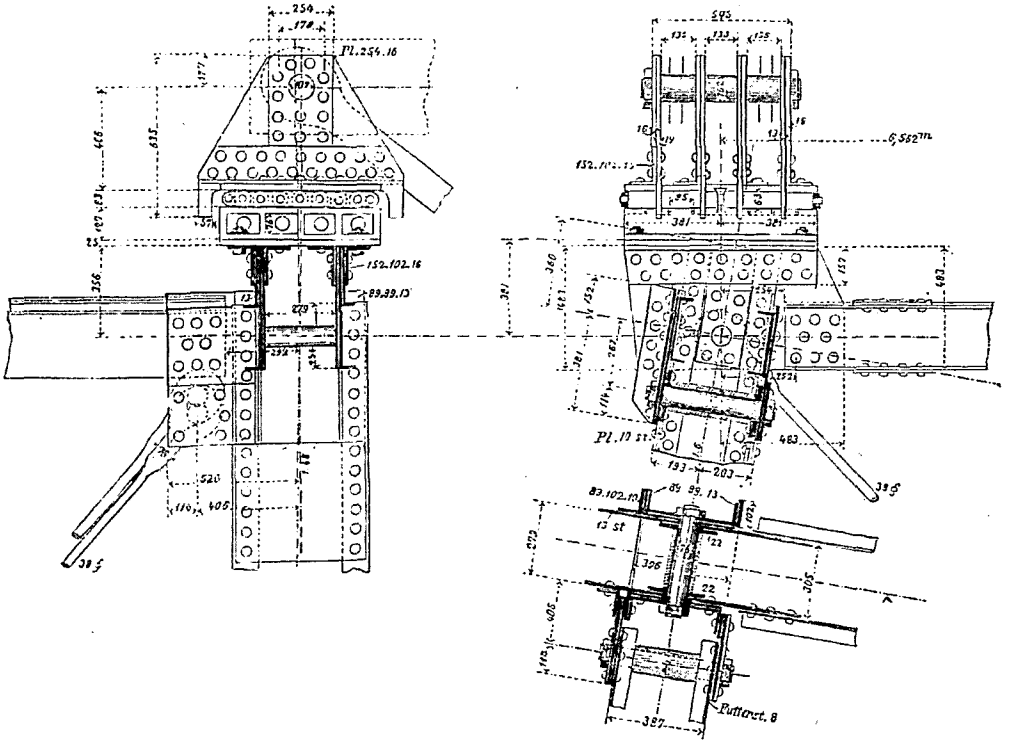


Рис. 631. — Детали устройства вершины опоры віадука Marent-Gulch.

Опоры Графскаго (замѣненнаго нынѣ насыпью на обходной вѣтви) и Камышловскаго віадуковъ (фиг. 331, табл. 47) одинаковы въ отношеніи устройства. Величина пролета 100 футъ и 100 футъ и 9 дюйм.; фермы устроены подъ одинъ путь; въ Графскомъ віадукѣ 3 пролета; въ Камышловскомъ 8 пролетовъ. Наибольшая высота желѣзной части быка 70 футъ 9,5 д.; вдоль оси моста ширина внизу 10 ф., вверху—7 ф.; по направленію, перпендикулярному къ оси моста — ширина внизу 13 ф., вверху 8 ф. 11 д. При такомъ незначительномъ разстояніи между ребрами въ основаніи опора оказывалась устойчивою лишь въ случаѣ уширенія ея для постановки второй пары фермъ (фиг. 331 *e*), какъ это и предполагалось исполнить впослѣдствіи, сообразно чему каменное основаніе и было выведено подъ два пути. Въ виду сего до осуществленія второго пути для приданія быку большей устойчивости относительно опрокидывающаго момента отъ дѣйствія вѣтра—приклепано къ узловой точкѣ 4-го этажа откосное ребро (фиг. 331 *d* и 331 *e*), состоящее изъ листа 11 д. $\times$ $^3/_8$ д. и двухъ уголковъ $4 \times 4 \times {}^1/_2$ д. и соединенное съ ребрами стойки діагоналями и распорками; основаніе откоса отнесено отъ основанія ребра на 18′. Каждое изъ четырехъ реберъ со-

стоитъ изъ 4-хъ склепанныхъ уголковъ; вверху размѣры уголковъ $4^1/_2'' \times 4^1/_2'' \times {}^1/_2''$; по серединѣ $5^1/_2'' \times 5^1/_2'' \times {}^1/_2''$; внизу $6'' \times 6'' \times {}^1/_2''$; распорки и діагонали въ боковыхъ граняхъ сдѣланы изъ уголковаго желѣза $3'' \times 3'' \times {}^3/_8''$; крестообразныя діагонали въ горизонтальной плоскости имѣютъ размѣры $2^1/_2'' \times 2^1/_2'' \times {}^3/_8''$. Прикрѣпленіе распорокъ и діагоналей къ ребрамъ сдѣлано помощью фасонныхъ прокладокъ и накладокъ; а именно, для прикрѣпленія распорокъ и діаг[illegible]ой боковыхъ граней приклепана вертикальная фасонная прокладка, зажатая между уголками (фиг. 331 *д*); для прикрѣпленія же діагоналей горизонтальныхъ связей къ горизонтальнымъ полкамъ уголковъ распорокъ, сходящихся у одного и того же ребра, приклепана горизонтальная планка, а къ этой послѣдней приклепаны горизонтальныя діагональныя связи (рис. 287 *б*). Стыки уголковъ реберъ перекрыты двойными накладками, изъ которыхъ одна накладка уголковая, а другая состоитъ изъ двухъ планокъ; діаметръ заклепокъ ${}^3/_4''$. Капитель опоры (фиг. 331 *б* и 331 *в*), на которой располагаются опорныя подушки, имѣетъ въ высоту 3 ф. 4 д. и состоитъ по направленію перпендикулярному къ оси моста

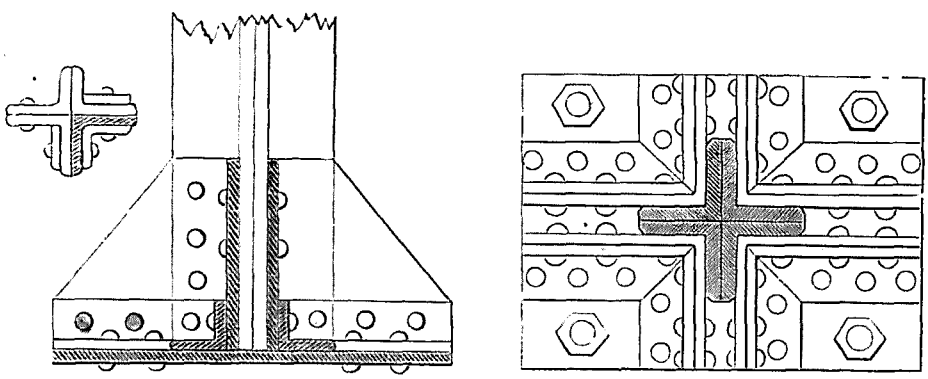


Рис. 632. — Деталь устройства базы ребра опоры Графскаго віадука.

изъ сквозной рѣшетки, а по направленію вдоль оси моста, въ виду необходимости передать давленіе отъ фермъ, грань капители состоитъ изъ вертикальнаго листа съ пояснымъ уголками и для предупрежденія бокового выпучиванія усилена по серединѣ стойкой изъ 4-хъ уголковъ и 2-мя діагоналями изъ таврованаго желѣза. Горизонтальныя связи (фиг. 331 *б*) въ верхнемъ этажѣ, въ капители, состоятъ изъ 8 діагоналей, попарно пересѣкающихся. Одна изъ опоръ неподвижная, а другая — подвижная на каткахъ; детали опорныхъ подушекъ показаны на рис. 287 *г*. Основанія реберъ опоры и откоснаго ребра соединены помощью фасонныхъ прокладокъ и уголковъ съ желѣзной горизонтальной плоской доской (рис. 632 и фиг. 331 *г*). Подъ эту послѣднюю положена чугунная доска, сквозь которую проходятъ 4 болта, заложенные въ кладку на 1 саж.; стержни болтовъ проходятъ сквозь желѣзную доску, поверхъ которой расположена гайка.

На фиг. 332, табл. 47 изображена опора Варгольскаго віадука, перекрытаго четырехпролетными неразрѣзными фермами при величинѣ пролетовъ въ 66,65 метра; въ опорѣ 4 ребра; вышина опоры 19,488 м.; 4 этажа по 4,872 м. Ребра — углового сѣченія и состоятъ (рис. 633) изъ желѣзныхъ листовъ, соединенныхъ между собою уголками; края листовъ, образующихъ ребра, во избѣжаніе выпучиванія окаймлены уголками. Стыки перекрыты накладками. Распорки состоятъ изъ 2-хъ балокъ формы $\sqsubset \frac{84}{12} \times \frac{250}{14}$ мм. Горизонтальныя діагональныя связи таврованаго сѣченія $\frac{170}{13} \times \frac{100}{15,5}$ мм. помѣщены въ плоскости всѣхъ горизонтальныхъ распо-

рокъ; того же сѣченія діагопали въ плоскости боковыхъ граней. Прикрѣпленіе діагоналей къ ребрамъ показано на фиг. 332 *б*, причемъ заклепки работаютъ на отрываніе головокъ, что нельзя признать удовлетворительнымъ. Нижняя рама, связывающая стойки, состоитъ изъ балокъ сплошного сѣченія, соединенныхъ между собой 3-мя такими же поперечинами и горизонтальными связями. Верхняя рама или капитель также состоитъ изъ балокъ сплошного сѣченія (фиг. 332 *г*). Короткія балки рамы служатъ для поддержанія опорныхъ подушекъ; средняя же поперечина служитъ только для лучшей связи верхней рамы, скрѣпленной еще кромѣ того діагональными связями изъ тавроваго и плоскаго желѣза. Давленіе отъ фермъ передается опорѣ посредствомъ опорныхъ чугунныхъ подушекъ, неподвижныхъ на одномъ устоѣ и подвижныхъ на быкахъ и на другомъ устоѣ (фиг. 332 *г*). Нижняя доска подушки снабжена внизу продольными и поперечными ребордами; верхняя же доска, расположенная надъ катками, состоитъ изъ двухъ частей, соединенныхъ клиньями, причемъ во избѣжаніе сдвига верхней части по клиньямъ одна часть входитъ въ другую выступомъ (фиг. 332*г*). Концы стоекъ упираются на чугунные башмаки и закрѣплены въ нихъ 4-мя болтами діаметромъ 70 миллим. (фиг. 332 *д*); каждый башмакъ прикрѣпленъ къ каменной кладкѣ 4-мя болтами 80 миллим. въ діаметрѣ, заложенными на глубину 4 метр. и закрѣпленнымп посредствомъ чекъ и чугунныхъ досокъ.

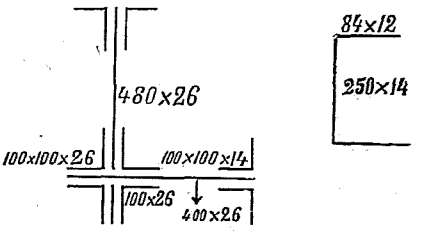


Рис. 633.

На рис. 634 *а* изображены металлическія опоры віадука черезъ р. Царицу на Царицынской вѣтви Владикавказской ж. д. Вся длина віадука по верху—72 метр., при наибольшей высотѣ металлической части опоръ въ 29,0 метр. Величина четырехъ среднихъ пролетовъ, считая отъ оси ребра одной опоры до другой, составляетъ 8,487 метр.; величина двухъ крайнихъ пролетовъ 6,651 метр., разстояніе между осями двухъ реберъ опоры въ продольномъ направленіи 4,218 м. Балочныя, разрѣзныя фермы сплошного сѣченія перекрываютъ пролеты—какъ между двумя смежными опорами, такъ и между двумя ребрами одной опоры. Въ этомъ послѣднемъ отношеніи опоры эти подходятъ къ типу американскихъ металлическихъ оноръ. Опоры проектированы подъ два пути съ четырьмя фермами; въ настоящее время уложены линь двѣ фермы. Каждая опора состоитъ изъ шести реберъ, двухъ вертикальныхъ и четырехъ наклонныхъ; въ поперечномъ направленіи имѣется три ребра, а въ продольномъ—два. На каждое изъ реберъ опираются фермы; на среднія ребра—вертикальныя—опираются двѣ фермы. Уклонъ граней : $^1/_5$. Въ поперечномъ направленіи разстояніе между двумя смежными ребрами вверху — 3,150 м., а внизу при высотѣ опоры въ 29 м. — 8,95 м.; въ продольномъ направленіи разстояніе одинаково вверху и внизу — 4,218 м. По высотѣ наиболѣе высокая опора раздѣлена на пять этажей по 5,8 м. высотою съ помѣщеніемъ въ узлахъ распорокъ, а между распорками — крестовъ какъ въ горизонтальной плоскости, такъ и въ плоскости граней. Всѣ ребра—трубчатаго сѣченія (рис. 634 *б*), при чемъ наклонныя ребра состоятъ изъ четырехъ уголковъ 125 × 125 × 12,5 мм., разставленныхъ на взаимномъ разстояніи по 500 мм. и связаиныхъ плоской рѣшеткой, а вертикальныя ребра, поддерживающія двѣ фермы, состоятъ изъ двѣнадцати такихъ же уголковъ, связанныхъ рѣшеткой. Въ узлахъ, вблизи которыхъ помѣщены стыки уголковъ, рѣшетка замѣнена сплош-

нымъ фасоиимъ листомъ, для удобства прикрѣпленія распорокъ и діагоналей; въ поперечномъ направленіи фасонные листы проходятъ цѣльными во всю ширину ребра; въ продольномъ же направленіи они могутъ быть приклепаны только къ одной полкѣ уголка; во избѣжаніе выгиба уголка помѣщены выше и ниже фасоннаго листа стяжныя плаики. Въ поперечномъ направленіи всѣ распорки за исключеніемъ верхней состоятъ изъ четырехъ уголковъ $125 \times 75 \times 10$ мм., связанныхъ рѣшеткой; верхняя же распорка—трубчатаго сѣченія изъ двухъ вертикальныхъ стѣнокъ 700×10 мм. и четырехъ уголковъ $125 \times 125 \times 12{,}5$ мм., связанныхъ рѣшеткой, которая замѣнена надъ ребрами сплошнымъ горизонтальнымъ

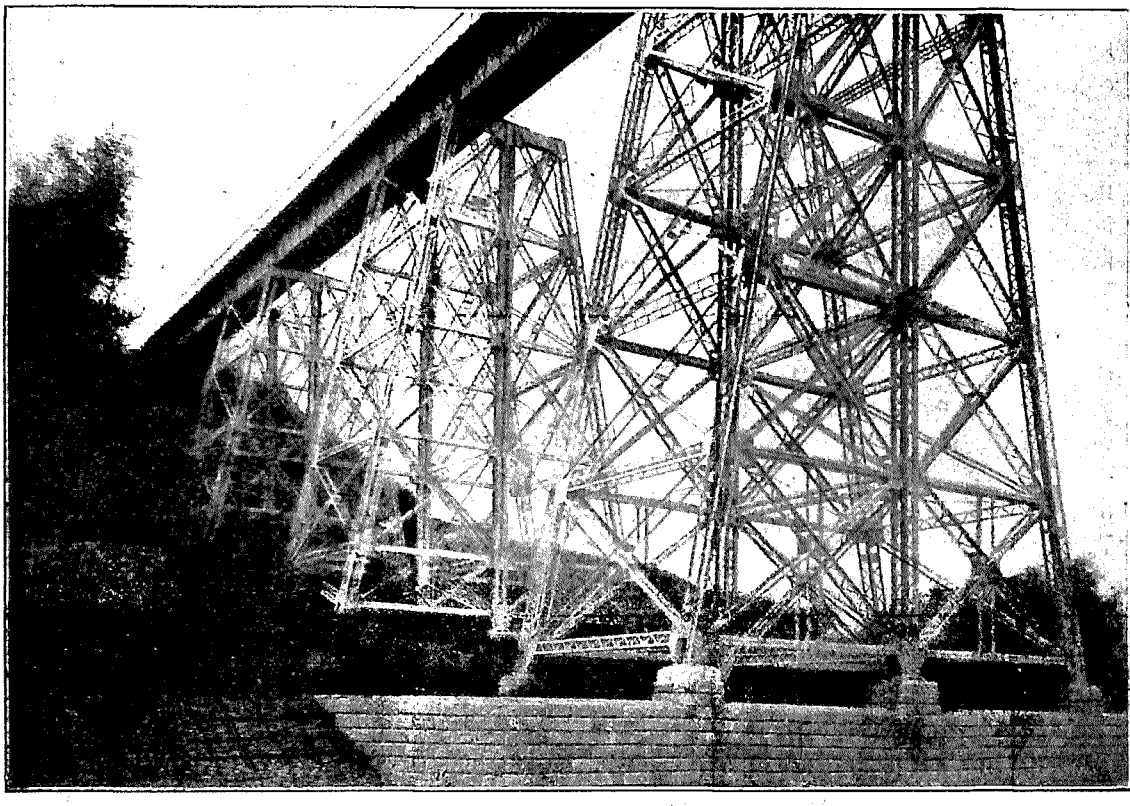
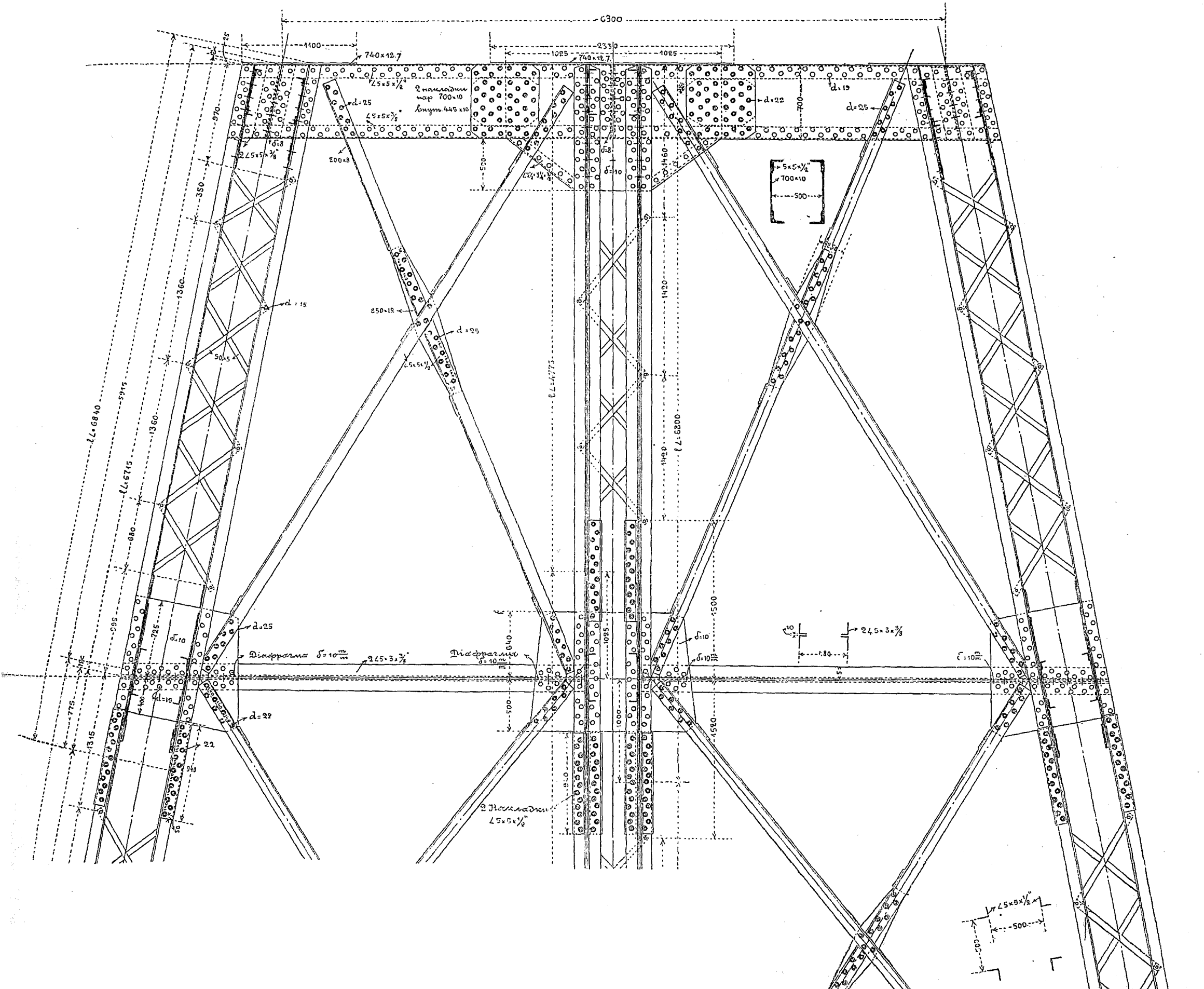


Рис. 634*а*.—Віадукъ черезъ р. Царицу на Царицынской вѣтви Ростово-Владикавказской ж. д.

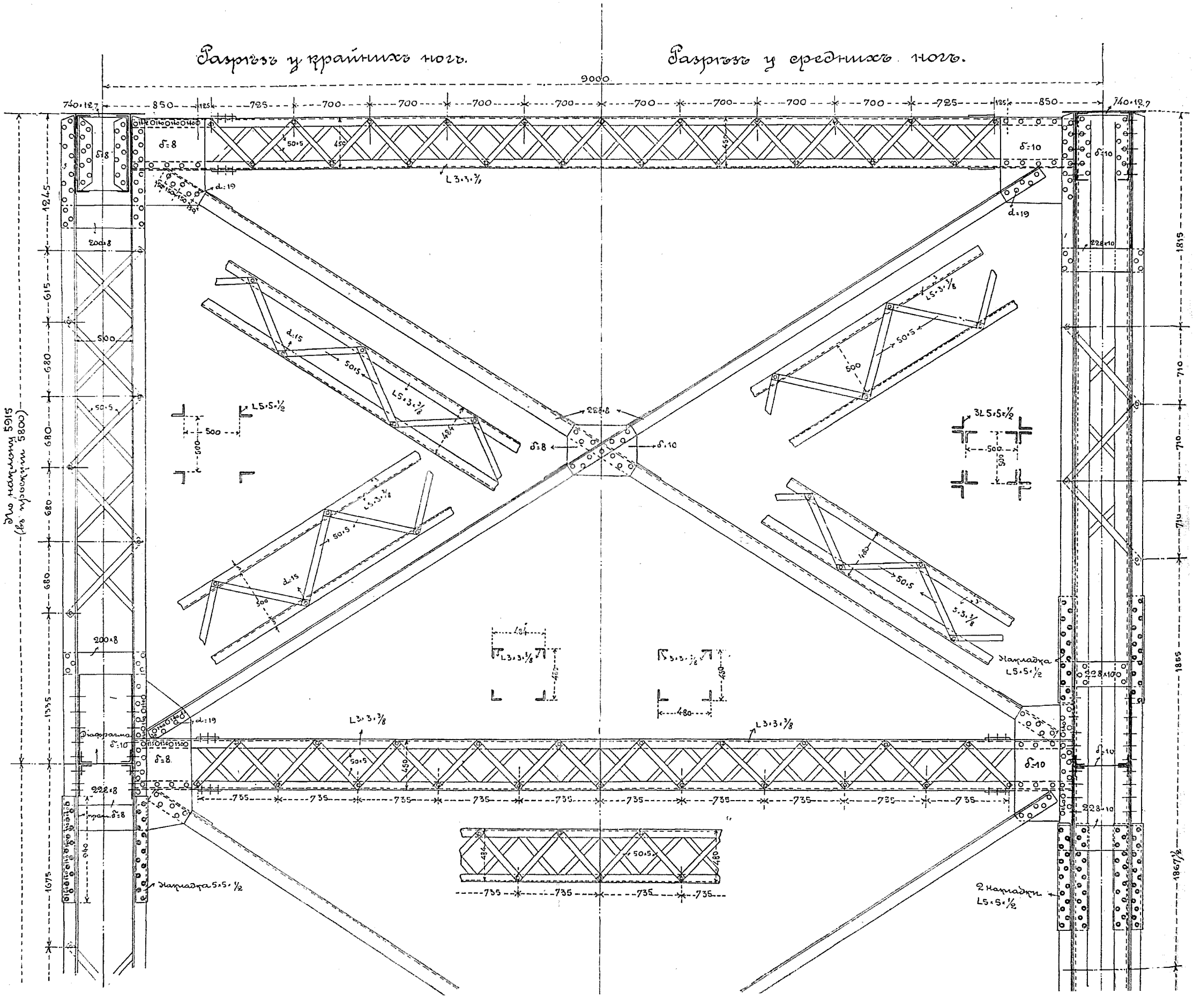
листомъ. Въ продольномъ направленіи (рис. 634*в*) распорки трубчатыя изъ четырехъ уголковъ $75 \times 75 \times 9$ мм. Всѣ діагонали въ плоскости граней состоятъ изъ двухъ уголковъ $125 \times 75 \times 9$ мм., связаиныхъ рѣшеткой; что же касается діагоналей въ горизонтальной плоскости, направленныхъ отъ одного наружнаго ребра къ другому, то онѣ проектированы болтового сѣченія діаметромъ 175 мм. съ стяжными муфтами. По концамъ эти діагонали снабжеиы вилками; въ точкѣ взаимнаго пересѣченія концы діагоналей сдѣлаиы плоскими и взаимно связываются двумя планками толщиною 15 мм. Встрѣчная діагональ и планка ея расположены ниже первой на 15 мм. Въ основаніи всѣ четыре грани ребра состоятъ изъ сплошныхъ листовъ, окаймленныхъ уголками, къ которымъ приклепанъ горизонтальный листъ; этотъ листъ скрѣпленъ болтами съ чугунной подушкой, опирающейся иа каменный фундаментъ. Каждое ребро опирается иа отдѣльный каменный столбъ. На рис. 634*г* изображена деталь сопряженія двухъ фермъ, при чемъ одна ферма заходитъ за другую, такъ что вертикальные

Къ стр. 850.


6300
1100
740×12.7
2330
1025
1025
740×12.7
2 накладки пар 700×10
болтъ 445×10
∠5×5×½
∠5×5×⅜"
d=25
d=22
d=19
d=25
d=8
200×8
δ=10
5×5×½"
700×10
500
970
350
1360
1360
680
595
725
775
1315
50
50×5
d=15
250×18
d=25
∠5×5×½
ℓ=4773
ℓ=6840
ℓ=5915
ℓ=6715
ℓ=6200
1420
1420
1460
700
530
1500
1520
1000
1025
940
500
400
d=10
d=19
d=22
22
24
Диафрагма δ=10 мм
2∠5×3×⅜"
Диафрагма δ=10 мм
2 Накладки ∠5×5×½"
2∠5×3×⅜"
180
10
10
δ=10
δ=10
δ=10
δ=10
∠5×5×½"
500
200

Разрѣзъ у крайнихъ нотъ.

Разрѣзъ у среднихъ нотъ.



Деталь сопряжения двух ферм Цекцицынского виадука.

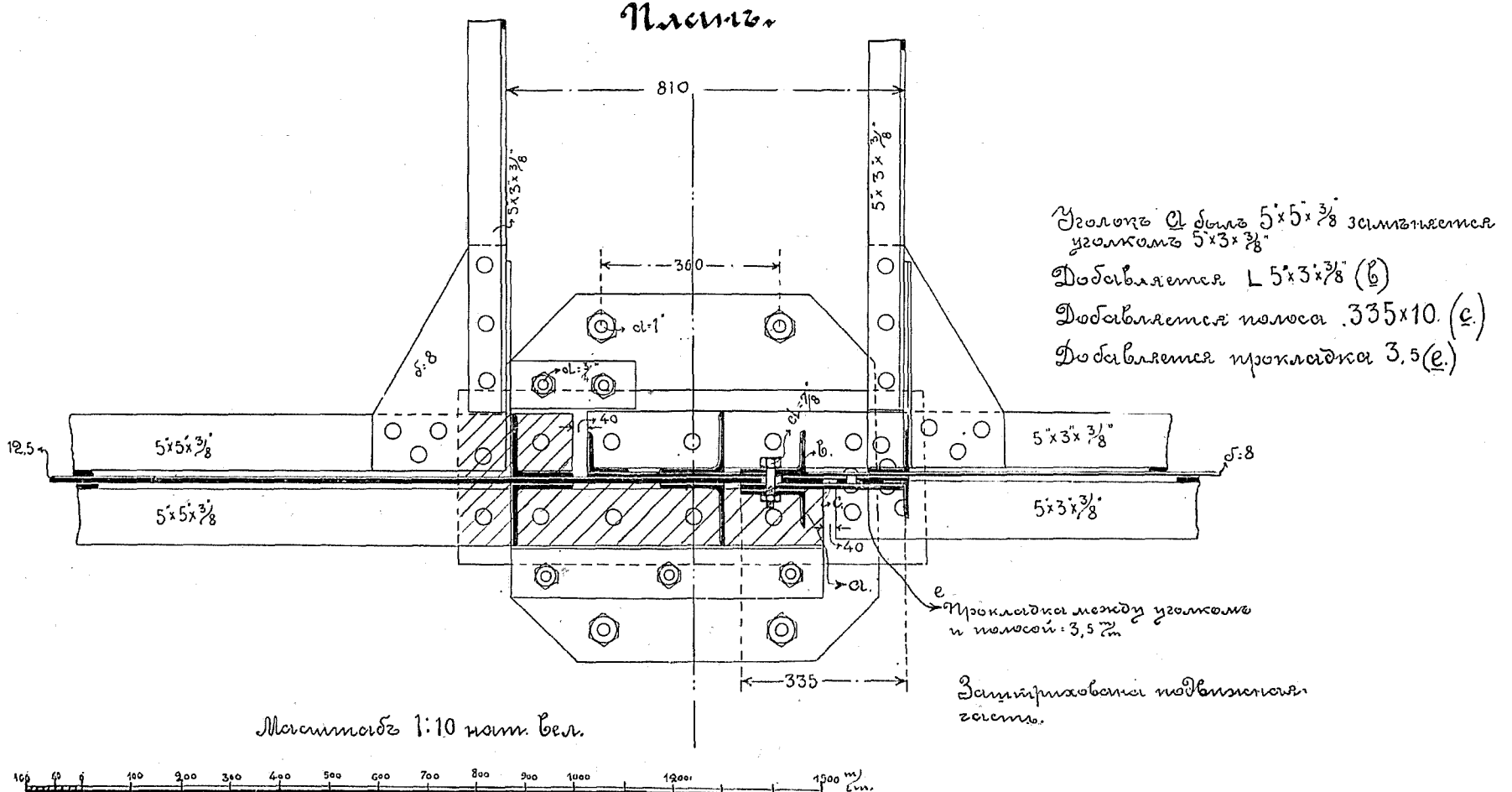


Рис. 634 г.

листы сплошныхъ фермъ не находятся въ одной плоскости; одинъ такой уголокъ въ каждой фермѣ протянутъ до конца вертикальнаго листа, а другой обрѣзанъ ранѣе; зазоръ на удлиненіе отъ измѣненія температуры оставленъ въ 40 мм.; заклепки, прикрѣпляющія вертикальные уголки, сдѣланы потайными; въ одной парѣ уголковъ часть среднихъ по высотѣ потайныхъ заклепокъ замѣнена болтами въ овальныхъ отверстіяхъ для взаимной связи фермъ.

На фиг. 335, табл. 48 и 49—показаны нѣкоторыя детали металлическихъ опоръ віадука Garabit (рис. 115). Этотъ віадукъ, построенный на линіи жел. дор. изъ Neussargues въ Marvejols, имѣетъ въ длину 564,66 м. и состоитъ изъ 6 пролетовъ, изъ которыхъ одинъ величиною 165 метр. перекрытъ арочной фермой, а остальные — балочными неразрѣзными фермами при величинѣ пролетовъ въ 52,04 м. и 55,5 м. На арочную ферму опираются помощью четырехъ металлическихъ опоръ — балочныя фермы длиною въ 51,85 м., 74,02 м. и 51,85 м., причемъ двѣ крайнія фермы составляютъ каждая продолженіе примыкающихъ къ нимъ неразрѣзныхъ фермъ, опирающихся на металлическія опоры внѣ предѣловъ арки; средняя же ферма въ 74,02 метра представляетъ неразрѣзную трехпролетную ферму. Такимъ образомъ имѣется пятипролетная неразрѣзная ферма, одна неразрѣзная трехпролетная и одна двухпролетная ферма. Каменныя основанія, на которыя опираются пяты арки, служатъ вмѣстѣ съ тѣмъ основаніемъ для двухъ металлическихъ опоръ, изображенныхъ на фиг. 335 и имѣющихъ въ высоту 60,736 метр. Опора имѣетъ четыре ребра съ уклономъ въ поперечномъ направленіи въ 0,11088, при разстояніи между ребрами вверху 8,00 м. и внизу 18,31 м.; въ продольномъ направленіи эти размѣры составляютъ 2,333 м. и 7 м. и образуютъ уклонъ въ 0,0388. Разсматриваемая опора имѣетъ всего 6 этажей, а именно капитель высотою 0,718 метр., верхній этажъ высотою 9,466 м. и пять этажей по 9,936 м.; затѣмъ имѣется еще промежутокъ въ 0,900 м. отъ оси нижней распорки до поверхности кладки. Капитель или верхнія распорки представляютъ въ планѣ прямоугольникъ размѣрами по оси въ 2,333 м. и 5 м. и состоятъ изъ трубчатыхъ балокъ (фиг. 335 *A* и фиг. 335 *B*, табл. 48) сплошного сѣченія высотою 0,7 м. съ горизонтальными листами шириною въ 1 м.; въ верхней распоркѣ по направленію широкой грани—горизонтальные листы замѣнены рѣшеткой; въ плоскости верхнихъ распорокъ помѣщены горизонтальныя связи. Ребра опоры—коробчатаго сѣченія (фиг. 335 *g*, табл. 48) и составлены изъ листовъ сѣченія 600 × 9 мм., одна изъ граней этого сѣченія сквозная, въ видѣ зигзага изъ уголковъ 100 × 100 × 10 мм. Сѣченіе ребра измѣняется наклепкой горизонтальныхъ листовъ 600 × 9 мм.; постепенное измѣненіе сѣченія, расположеніе стыковъ и стыковыхъ накладокъ указаны на фиг. 335 *H*, табл. 49. Раскосы въ плоскости поперечныхъ граней опоры—трубчатаго сквознаго сѣченія (фиг. 335 *E*, табл. 48 и фиг. 335 *D*, табл. 49); раскосы же въ плоскости продольныхъ граней (фиг. 335 *C* и 335 *I*, табл. 49) состоятъ каждый изъ двухъ уголковъ 70 × 70 × 8 мм., расположенныхъ въ формѣ *Z*, причемъ въ каждой панели имѣется по два креста; распорки въ плоскости поперечныхъ граней—трубчатаго сѣченія (фиг. 335 *I*, табл. 49), а въ плоскости продольныхъ граней опоры—двутавроваго сѣченія со сквозной стѣнкой. Трубчатые раскосы и распорки входятъ внутрь коробки (фиг. 335 *I*, табл. 49), причемъ сквозная рѣшетка замѣняется фасоннымъ листомъ, уголки обрываются и замѣняются уголками, приклепанными съ внутренней стороны; эти уголки обращены полками внутрь и связаны горизонтальнымъ листомъ. Прикрѣпленіе раскосовъ и распорокъ въ узкихъ граняхъ

опоры сдѣлано помощью прямоугольныхъ накладокъ, прнклепанныхъ къ листамъ коробчатаго сѣченія (фиг. 335 *I*, табл. 49). Горизонтальныя связи также коробчатаго сѣченія со сквозными стѣнками; детали прикрѣпленія показаны на фиг. 335 *F*, табл. 48 и 335 *I* табл. 49. Основанія реберъ прикрѣплены къ фундаменту помощью болтовъ діаметромъ 118 мм. и длиною, измѣняющеюся для различныхъ опоръ отъ 6,225 м. до 9,580 м.; болты вставлены въ чугунныя трубки. Для образованія широкаго основанія сквозная грань въ нижней части ребра замѣнена на нѣкоторомъ протяженіи трапецеидальнымъ листомъ, и такой же листъ поставленъ и съ противоположной стороны (фиг. 335 *I*, табл. 49); нижнія кромки всѣхъ четырехъ граней окаймлены уголками и къ нимъ приклепанъ толстый квадратный листъ по 1 м. въ сторонѣ съ отверстіемъ по серединѣ для болта. На этотъ листъ внутри коробки поставлена чугунная подушка, на которую опираются гайки болта. Другой конецъ болта снабженъ отверстіемъ для чеки; выше чеки расположена подушка, а затѣмъ трубчатая балка высотою 450 мм, и длиною до 10 м., передающая въ свою очередь давленіе на клинья свода галлереи; въ каждой изъ галлерей сдѣлано по два боковыхъ входа для осмотра. Каменный фундаментъ состоитъ изъ двухъ стѣнокъ, перекрытыхъ сводомъ пролетомъ 12 м. Толщина стѣнокъ въ уровнѣ пятъ 7,5 м; уклоны граней стѣнокъ—0,02 и 0,12. Длина фундамента въ вершинѣ 25 м., ширина : 11,78 м. Толщина свода въ ключѣ, считая и забутку—3 м. На тотъ же фундаментъ опираются шарнирныя пяты арки; чтобы предотвратить опрокидываніе арки отъ дѣйствія вѣтра, по обѣ стороны оси арки помѣщены два закрѣпныхъ болта, проходящіе сквозь пяту внутрь фундамента и упирающіеся помощью закладнаго бруса и чеки на клинья полнаго цилиндрическаго кругового свода; этотъ послѣдній устроенъ по направленію нормальному къ галлереямъ, въ которыхъ закрѣплены болты реберъ опоры. По оси опоры установлены четыре стойки изъ уголковъ, около которыхъ устроена винтовая лѣстница. Неразрѣзная ферма опирается на трубчатую верхнюю распорку помощью неподвижной балансирной подушки. Ось вращенія (фиг. 335 *B*, табл. 48) сдѣлана въ видѣ клина съ цилиндрической верхней поверхностью; сѣченіе шарнира въ формѣ клина допускаетъ точную установку по высотѣ, что весьма важно для неразрѣзной фермы; верхній балансиръ входитъ уступомъ въ нижній — это сдѣлано во избѣжаніе возможности сдвига. На фиг. 335 *K*, табл. 49 показана деталь промежуточной опоры неразрѣзной трехпролетной балочной фермы, общей длиною 74,02 м., опирающейся непосредственно на арку, а именно: на верхніе пояса арки поставлена поперечная балка, на нее—низкая желѣзная опорная подушка, а на послѣднюю — поясъ балочной фермы. На фиг. 335 *A* показаны разрѣзы фермы на устоѣ, на металлической опорѣ, а также деталь устройства проѣзжей части фермы съ ѣздою по серединѣ. Поперечная балка приклепана въ нахлестку къ консольнымъ листамъ стоекъ; чтобы предотвратить неблагопріятныя послѣдствія схода поѣзда съ рельсовъ—уложены сплошь металлическія поперечины во всю ширину моста, которыя опираются на пять продольныхъ балокъ; подъ поперечины приклепаны снизу въ продольномъ направленіи четыре балки того же сѣченія, чтобы распредѣлить сосредоточенное давленіе на нѣсколько поперечинъ; рельсы прикрѣплены помощью чугунныхъ подушекъ къ деревяннымъ шпаламъ, уложеннымъ въ углубленіяхъ между металлическими поперечинами.

Сборка опоры описываемаго віадука производилась слѣдующимъ образомъ. По установкѣ на каменномъ фундаментѣ нижнихъ опорныхъ частей реберъ и по склепкѣ

нижнихъ распорокъ, уложили на послѣднія сплошной настилъ и установили на нихъ козелъ высотою 11 метровъ, удерживавшійся въ соотвѣтствеипомъ положеніи канатомъ, зачаленнымъ за сваи. Установивъ козелъ такъ, чтобы вершина его проектировалась отвѣсно на ось ребра, приподнимали воротомъ часть склепаннаго ребра высотою равною высотѣ этажа, прикрѣпивъ капать ворота къ цѣпи, привязанной обопми концами къ оконечностямъ ребра. Для того, чтобы при подъемѣ ребро не могло раскачиваться въ сторону, его удерживали канатами, которые постепенно травили. На воротѣ работало 8 человѣкъ, причемъ вѣсъ отдѣльныхъ поднимаемыхъ частей доходилъ до 2000 кил., т. е. около 120 пуд. Установивъ одно ребро высотою равною высотѣ этажа, передвигали козелъ и устанавливали второе ребро узкой грани и затѣмъ соединяли оба ребра вверху поперечиной. Далѣе ставили остальные два ребра, и также соединяли ихъ рѣшеткой. Послѣ сего, передвинувъ козелъ, устанавливали распорки широкихъ граней и, наконецъ, ставили раскосы. Распорки поднимались въ горизонтальномъ положеиіи; на нихъ по концамъ садились верхомъ рабочіе съ запасомъ болтовъ. Какъ только распорки были приподняты до необходимой высоты и заклепочныя отверстія въ концѣ распорки приходились противъ отверстій въ ребрѣ, рабочіе вставляли болты и закрѣпляли распорки временно. Послѣ сего, настлавъ помостъ па собранныя распорки, перемѣщали козелъ на слѣдующій этажъ и т. д., переходя отъ одпого этажа къ другому. По сборкѣ всѣхъ этажей ставили горизонтальныя связи, подвѣшивавшіяся на блокахъ, и въ заключеніе поставленные временно болты замѣняли заклепками.

Приведемъ данныя относительно собственнаго вѣса віадука Garabit.

Пролетное строеніе.	Длина метр.	Вѣсъ кил.	Вѣсъ на пог. метр
со стороны Marvejols .	270,34	836826	3095 кил.
надъ ключемъ арки . .	73,92	197294	2669 „
со стороны Neussargues	103,84	329980	3178 „

Опоры.	Высота метр.	Вѣсъ кил.	Вѣсъ на пог. метр.
№ 1	24,51	61019	2489 кил.
№ 2	36,46	87575	2402 „
№ 3	51,20	126373	2368 „
№ 4	60,74	169413	2789 „

Полному вѣсу опоры удовлетворяетъ формула,

$$P = 8000 + 2000\,h + 10\,h\,(h - 10),$$

гдѣ P выражено въ кил., а h — высота опоры въ метр., а на пог. метр.:

$$p = 2000 + \frac{8000}{h} + 10\,(h - 10).$$

Кромѣ того на каждую опору слѣдуетъ еще прибавить около 7000 кил. желѣза для закрѣпленія въ кладкѣ и 1700 кил. свинца подъ подушки.

Общій вѣсъ пролетнаго строенія	1375244 кил.
» » опоръ	647670 »
» » арки	1146119 »
Итого вѣсъ желѣза . . .	3169033 кил.
стали . . .	41008 »
чугуна . . .	23595 »
свинца . . .	14990 »
Всего . . .	3248626 кил.

или на пог. метр. 7296,5 кил., а на кв. метръ всего подмостового отверстія 1359,7 кил.

Общая стоимость металла	2426766,31 фр.
» » каменной кладки (20370 куб. м.) .	876365,27 »
	3383131,58 фр.

На фиг. 329, табл. 46 и на рис. 114 показанъ общій видъ віадука черезъ р. Дуэро близъ Опорто. Наибольшая высота металлической опоры 43 м.; каждое ребро трубчатаго сѣченія съ 3-мя сплошными и одной сквозной стѣнками; ширина каждой грани ребра 450 мм., высота этажа 3,5 м. Разстояніе между ребрами въ поперечномъ направленіи 3,1 м.—вверху и 11 м.—внизу; въ продольномъ направленіи 1,37 м. и 4,8 м. Детали этого сооруженія имѣютъ много общаго съ деталями віадука Garabit; оба проектированы Boyer'омъ и сооружены Эйфелемъ; первоначально былъ построенъ Опортскій віадукъ, а затѣмъ віадукъ Гараби.

На рис. 635*a* изображены желѣзныя опоры віадука Portage черезъ р. Genesee подъ два пути на Эрійской желѣзной дорогѣ, построеннаго взамѣнъ сгорѣвшаго въ 1875 г. деревяннаго віадука; временно уложенъ одинъ путь. Согласно обще-

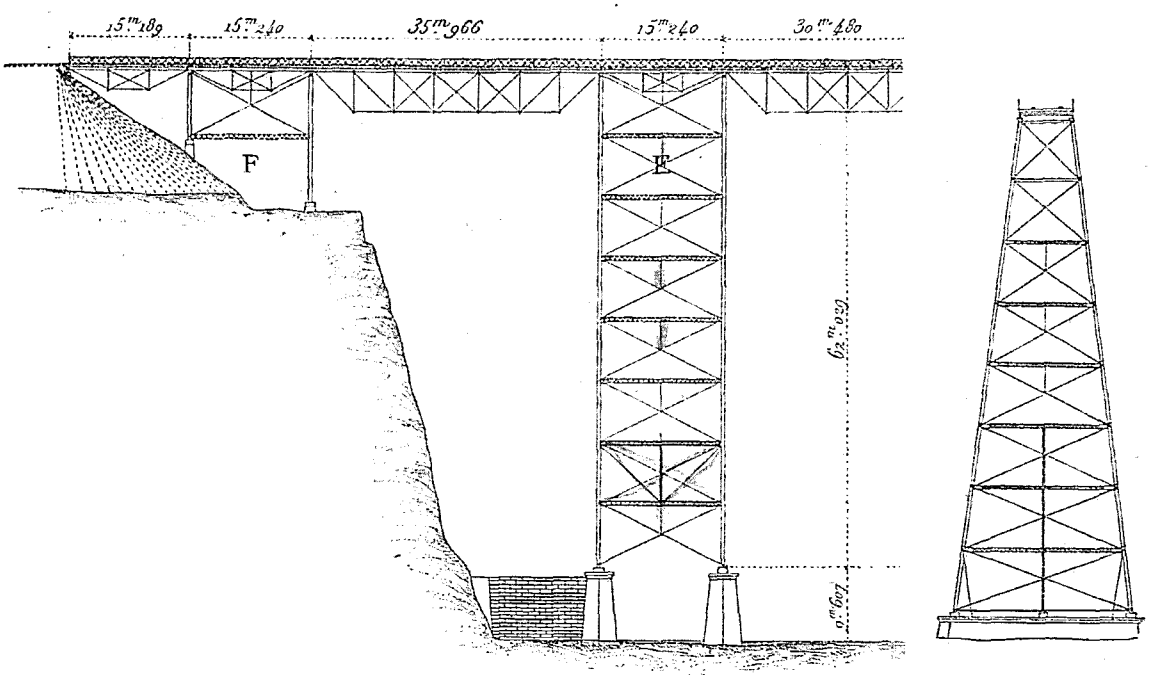


Рис. 635*a*. — Віадукъ Portage черезъ р. Genesee.

принятому въ Америкѣ типу ребра опоры въ продольномъ направленіи значительно раздвинуты, а именно до 15,24 м. и перекрываются подвѣсными фермами. Пролеты между смежными опорами составляютъ 35,966 метр. и 30,480 метр. и перекрываются фермами Пратта. Ребра трубчатаго сѣченія; три грани сплошного сѣченія 380 мм. × 12,5 мм., соединенныя уголками 100 × 100 × 12,5 мм.; четвертая грань сквозная; по мѣрѣ приближенія къ основанію наклепываются добавочные листы. По направленію вдоль оси моста ребра параллельны, по направленію перпендикулярному — они расходящіеся: 6,1 м. по-верху и 18,3 м. по-низу. Основаніемъ каждой колонны служитъ отдѣльный каменный фундаментъ; трубчатыя ребра заканчиваются внизу чугуннымъ башмакомъ, причемъ башмаки двухъ реберъ прочно скрѣплены съ чугунной плитой, вдѣланной въ кладку, а два остальные опираются на катки, перемѣщающіеся по направленію, перпендикулярному къ продольной оси моста. Чугунныя подушки основанія ногъ связаны тяжами и росперты распорками съ клиньями, чтобы предохранить каменный фундаментъ отъ передачи на него распора того и другого направленія. Стыки расположены вблизи узловъ и находятся въ одной плоскости; кромки составныхъ элементовъ

обрѣзаны по наугольнику и остроганы. Независимо отъ сего имѣются и стыковыя планки. Распорки въ плоскости поперечной грани, помѣщенныя нѣсколько ниже стыка, состоятъ изъ четырехъ уголковъ, перекрытыхъ листомъ и связанныхъ рѣшеткой (рис. 635 *б*), и заканчиваются втулкой, помощью которой онѣ надѣты на шарниръ; такимъ образомъ онѣ входятъ внутрь ребра со стороны рѣшетчатой стѣнки ноги; на выступающія части шарнира надѣты діагонали поперечныхъ граней опоры; для уменьшенія напряженія отъ смятія, къ наружной части стѣнокъ въ мѣстѣ помѣщенія шарнира приклепанъ башмакъ. Нѣсколько выше упомянутаго шарнира для прикрѣпленія діагоналей, расположенныхъ по продольнымъ гранямъ опоры, помѣщенъ другой шарниръ (рис. 635 *б*) въ перпендикулярномъ къ нему направленіи, который служитъ одновременно для связи двухъ стыкаемыхъ частей ноги; на выступающія его части надѣты діагонали продольныхъ граней. Что касается распорокъ продольныхъ граней опоры, то онѣ состоятъ изъ четырехъ уголковъ, связанныхъ рѣшеткой и приклепанныхъ къ боковымъ стѣнкамъ ноги опоры. Хотя въ настоящее время уложенъ одинъ путь, но опоры и фермы спроектированы подъ два пути, вслѣдствіе чего разстояніе между фермами 6,1 м.; поперечины деревянныя, дубовыя, 203 мм. × × 315 мм., длиною 6,75 метр., уложены на разстояніи 254 мм. одна отъ другой. Для того, чтобы давленіе колесъ паровоза передать на большее число поперечинъ, поверхъ поперечинъ уложены деревянные прогоны 229 × 229 мм., прикрѣпленные къ поперечинамъ болтами (упругія опоры). Фермы малыхъ пролетовъ прикрѣплены неподвижно къ капители трубчатыхъ колоннъ; одинъ конецъ фермы большихъ пролетовъ прикрѣпленъ неподвижно, другой лежитъ на каткахъ; на одной и той же колоннѣ подвижная и неподвижная опоры; объ смежныя фермы взаимно соединены такимъ образомъ, что удлиненіе отъ измѣненія температуры возможно. Оси опоръ малыхъ пролетовъ помѣщены на разстояніи 152 мм. отъ оси трубчатаго ребра, а ось опоръ большихъ пролетовъ — на разстояніи 76 мм., такъ что равнодѣйствующая совпадаетъ съ осью трубы. Наибольшее напряженіе на сжатіе въ колоннахъ допущено 4,64 килогр. на кв. миллим., а на вытягиваніе въ тяжахъ—10,54 килогр. Замѣчательна быстрота сборки этого віадука длиною 239,13 м.; 6-го мая деревянный віадукъ сгорѣлъ, а 31-го мая новый мостъ уже былъ открытъ для движенія.

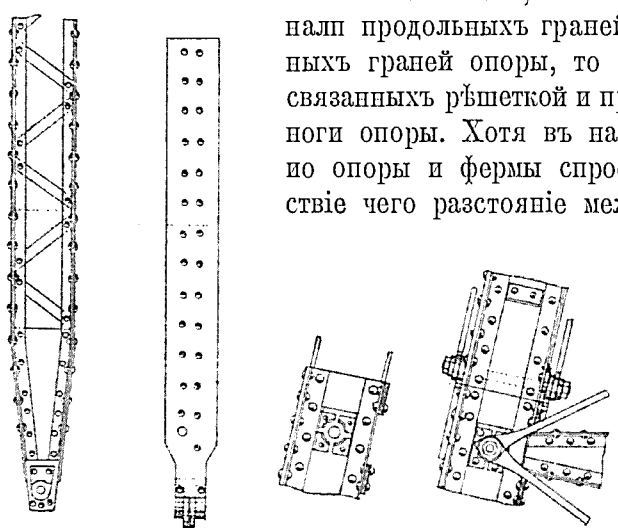


Рис. 635 *б*. — Деталп опоръ віадука Portage.

Вѣсъ желѣза въ пролетной части . . .	184023 килогр.
» » » 6-ти опорахъ	406665 »
» » » наибольше высокой опоръ .	125645 »

Полная стоимость віадука безъ каменныхъ основаній, но включая деревянный дубовый настилъ равна 475000 франковъ.

Сборка опоръ віадука Portage происходила безъ подмостей. Первоначально на четырехъ каменныхъ столбахъ опоры уложены были деревянныя балки, на

нихъ помостъ, на которомъ установили съ каждой стороны широкой (поперечной) грани опоры по двѣ стойки, высотою 9,144 м. на взаимномъ разстояніи 14,63 м., и перекрытыя перекладиной длиною 16,764 м.; стойки были раскошены и прочно закрѣплены. Къ перекладинѣ были прикрѣплены снасти, и при помощи локомобиля были подняты и установлены на мѣстѣ нижнія части ногъ опоры, которыя тотчасъ же были взаимно соединены распорками и тяжами. Затѣмъ, прикрѣпивъ къ ребрамъ подъемный кранъ (козелъ) высотою 16,764 м. и перемѣстивъ помощью его вверхъ на слѣдующій этажъ помостъ, опиравшійся на распорки,

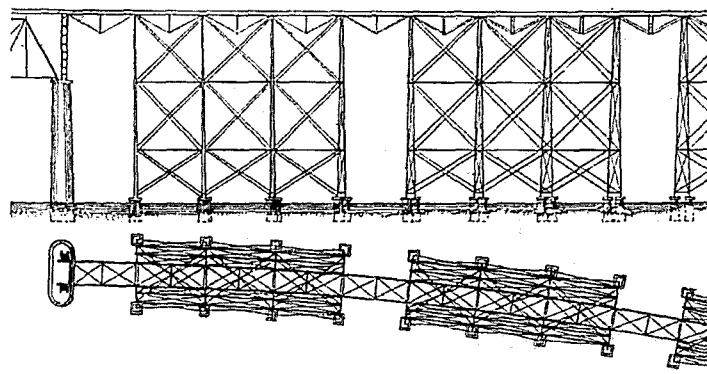


Рис. 636*а*. — Кумберландскій віадукъ.

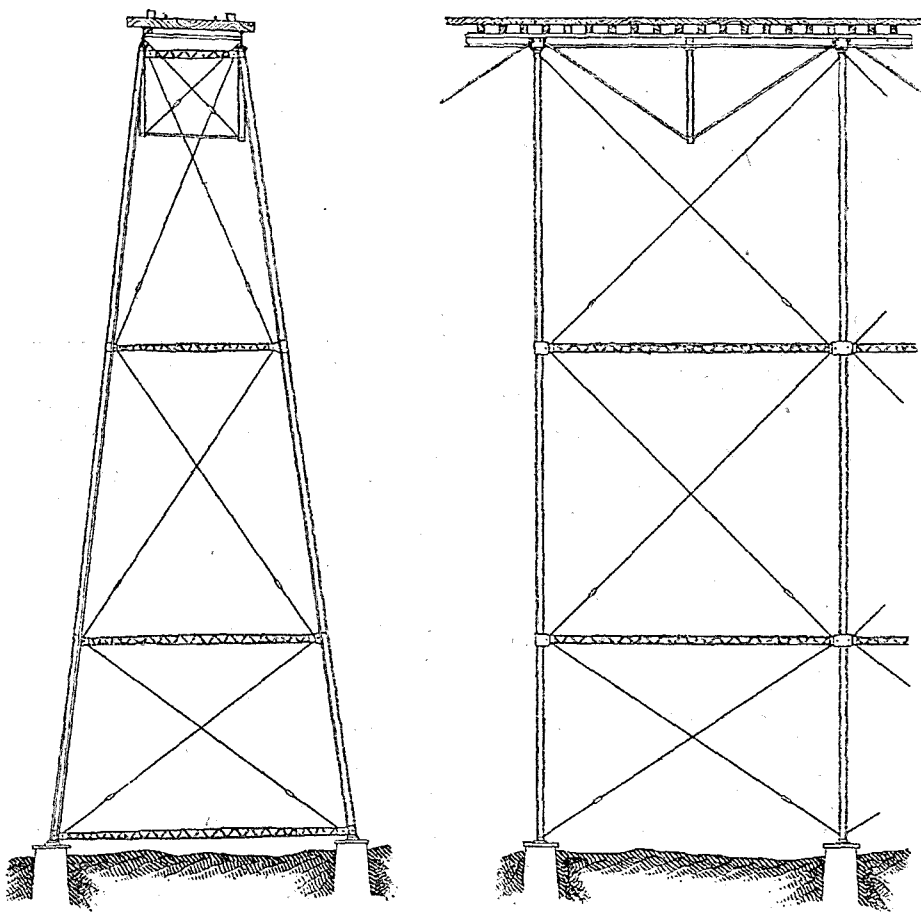


Рис. 636*б*. — Поперечный и продольный фасадъ опоры Кумберландскаго віадука.

вновь устраивали на нихъ стойки съ перекладиной. Затѣмъ устанавливали подобно предыдущему — второй этажъ оноры, поднимали вверхъ краны (козлы) помощью локомобиля и установленныхъ на помостѣ стоекъ и, прикрѣпивъ козлы

къ ногамъ 2-го этажа, поднимали помощью ихъ помостъ со стойками и т. Опора высотою 62,076 метр. и вѣсомъ 125645 кпл. была установлена въ теченіе 11 сутокъ.

На рис. 636 изображенъ Кумберландскій віадукъ на Южно-Цинцинатской

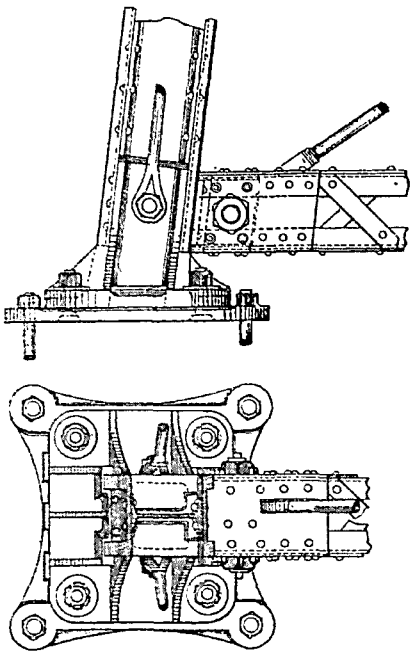


Рис. 636*а*. — Деталь базы опоры Кумберландскаго віадука.

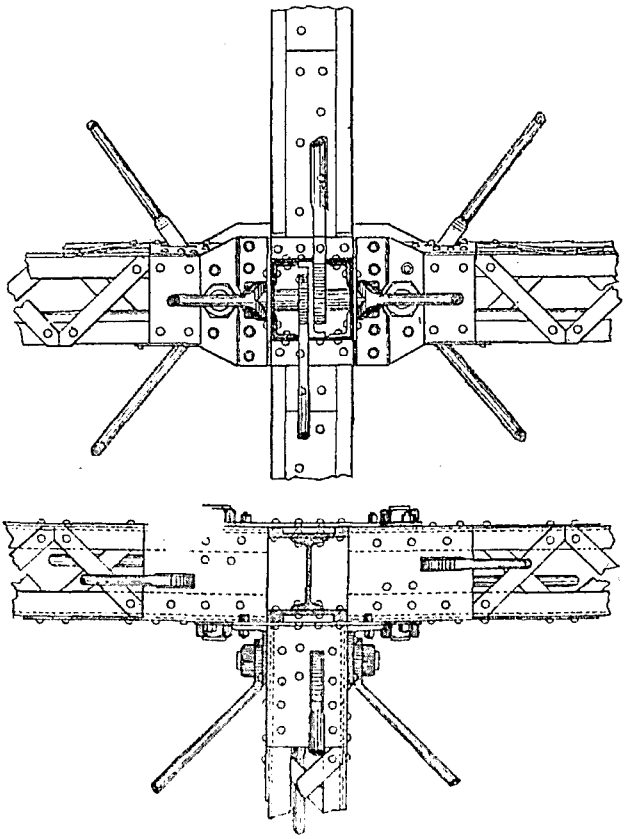


Рис. 636*г*. — Деталь соединенія распорокъ съ ребромъ въ опорахъ Кумберландскаго віадука.

ж. д., служащій подходомъ къ мосту черезъ р. Кумберландъ съ ѣздою по верху. Примѣненный въ данномъ случаѣ типъ опоръ представляетъ собою въ сущности рядъ плоскихъ опоръ, взаимно связанныхъ діагоналями и распорками (trestle-work). Еслибъ не было основанія опасаться вліянія измѣненія температуры на длинный віадукъ, то связь между опорами могла бы быть непрерывной (какъ напр., въ деревянныхъ trestle-works); въ данномъ же случаѣ перерывы сдѣланы черезъ три промежутка, по 9,14 мм. каждый. Высота опоръ віадука, расположеннаго на кривой, измѣняется отъ 6,09 м. до 27,43 м.; въ поперечномъ направленіи уклонъ реберъ $^1/_8$, а въ продольномъ направленіи ребра вертикальны (рис. 636 *а* и 636 *б*). Разстояніе между ногами въ продольномъ направленіи 9,14 мм.; по четыре ноги соединены въ одно цѣлое системою распорокъ и діагоналей. Ребра или ноги представляютъ въ сѣченіи два корытообразныхъ желѣза, соединенныхъ двутавровымъ желѣзомъ (рис. 636*а*); распорки трубчатаго сѣченія изъ четырехъ уголковъ, связанныхъ рѣшеткой; діагонали болтового сѣченія. Детали устройства основанія показаны на рис. 636 *в*. Къ каменному фундаменту прикрѣплена закладными болтами чугунная доска, съ которой скрѣпленъ короткими болтами, вставленными снизу, чугунный башмакъ, отлитый сообразно уклону ноги опоры; башмакъ сплошного сѣченія, отвѣчающій прямоугольной профили между корытообразнымъ желѣзомъ съ углубленіемъ по серединѣ, сообразно профили двутаврового желѣза.

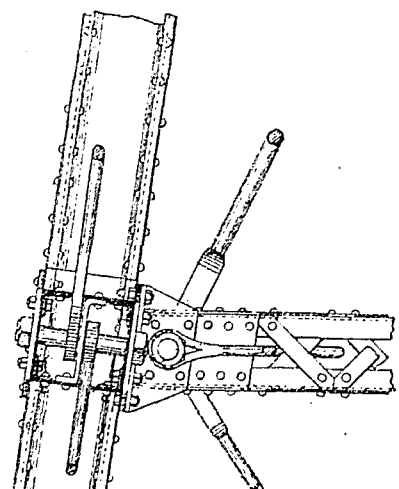


Рис 636*г*.

крѣпленіе ноги съ башмакомъ сдѣлано помощью болта, на выступающіе концы котораго надѣты петлей діагонали продольныхъ граней опоры. Нижняя поперечная распорка приклепана къ наружной сторонѣ корытообразнаго желѣза, для чего къ этому послѣднему приклепано согнутое въ формѣ ⌊⌋ желѣзо, къ боковымъ стѣнкамъ котораго приклепанъ вертикальный листъ, а къ нему уже четыре уголка трубчатой распорки; по концамъ распорки верхняя и нижняя сквозныя грани—замѣнены

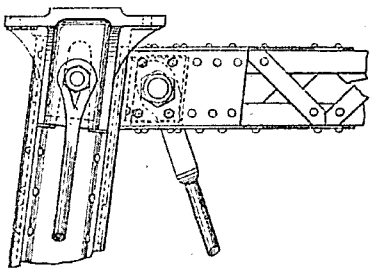
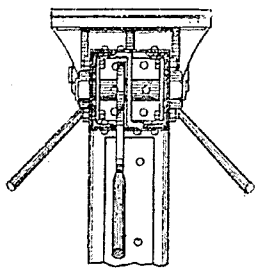


Рис. 636 *д*. — Деталь капители въ опорахъ Кумберландскаго віадука.



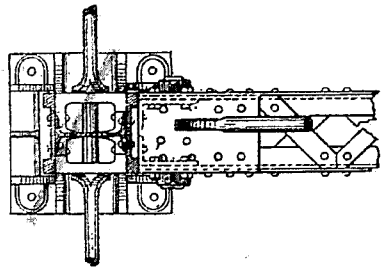


Рис. 636 *е*.

также листами. Въ верхнемъ листѣ [illegible]но отверстіе для пропуска тяжа, надѣтаго на шарниръ, продѣтый сквозь отверстія, сдѣланныя въ стѣнкахъ фасоннаго желѣза ⌊⌋. На рис. 636 *г* показана деталь соединенія ноги опоры съ двумя продольными и поперечной распоркой. Къ обоимъ корытообразнымъ элементамъ ребра приклепаны фасонные листы, а къ этимъ послѣднимъ—вторые

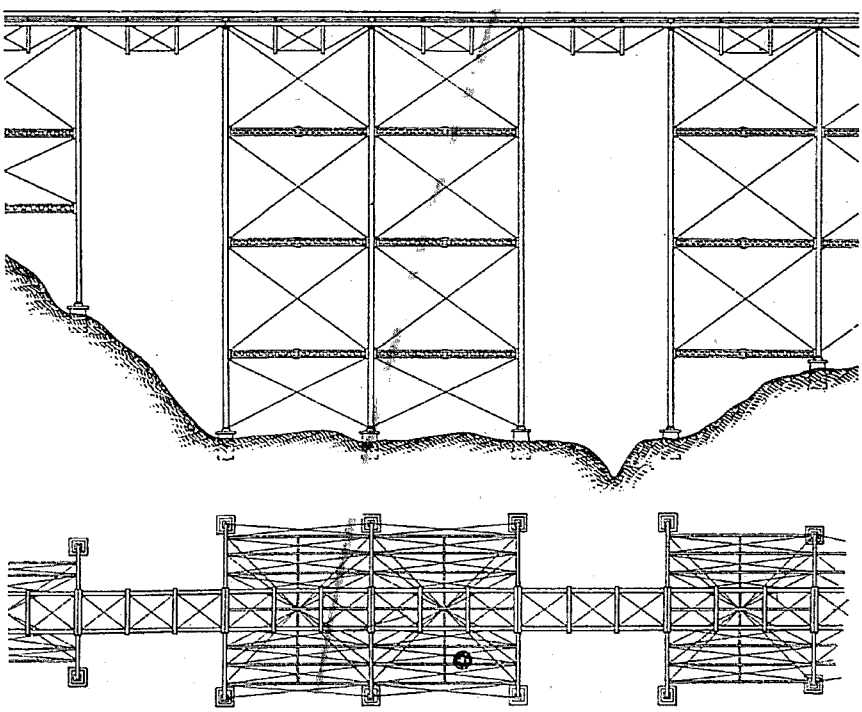


Рис. 637 *а*. — Віадукъ Dale-Creek на Тихоокеанской желѣзной дорогѣ.

болѣе узкіе листы, съ которыми уже склепаны уголки трубчатой продольной распорки. Для прикрѣпленія поперечной распорки приклепаны къ вышеупомянутымъ фасоннымъ листамъ уголки, а къ нимъ вертикальные листы для прикрѣпленія уголковъ трубчатой распорки. Діагонали въ плоскости продольной и поперечной граней насажены на шарниры, продѣтые сквозь боковыя сплошныя стѣнки распорокъ; внутри образующейся по концамъ распорокъ коробки вставлено Z-образное желѣзо для уменьшенія напряженія въ шарнирѣ. Деталь устройства вершины опоры показана на рис. 636 *д*.

а видъ снизу капители на рис. 636*е*. Вертикальныя стѣнки чугунной капители входятъ внутрь ноги и приклепываются къ задней грани корытообразнаго элемента. Сквозь стѣнки капители и двутавроваго желѣза продѣтъ шарниръ, на который насажены діагонали продольныхъ гранеи; прикрѣпленіе же верхней поперечной распорки сдѣлано подобно прикрѣпленію нижней распорки. Верхняя площадка капители имѣетъ отверстія для прикрѣпленія подушки двухъ смежныхъ шпренгельныхъ фермъ.

На рис. 637 изображенъ віадукъ Dale-Creek на Тихоокеанской жел. дор. Длина віадука 163,36 м.; наибольшая высота опоръ 12,80 м. Ширина опоръ по верху—3,05 м.; уклонъ гранеи: $^1/_6$.

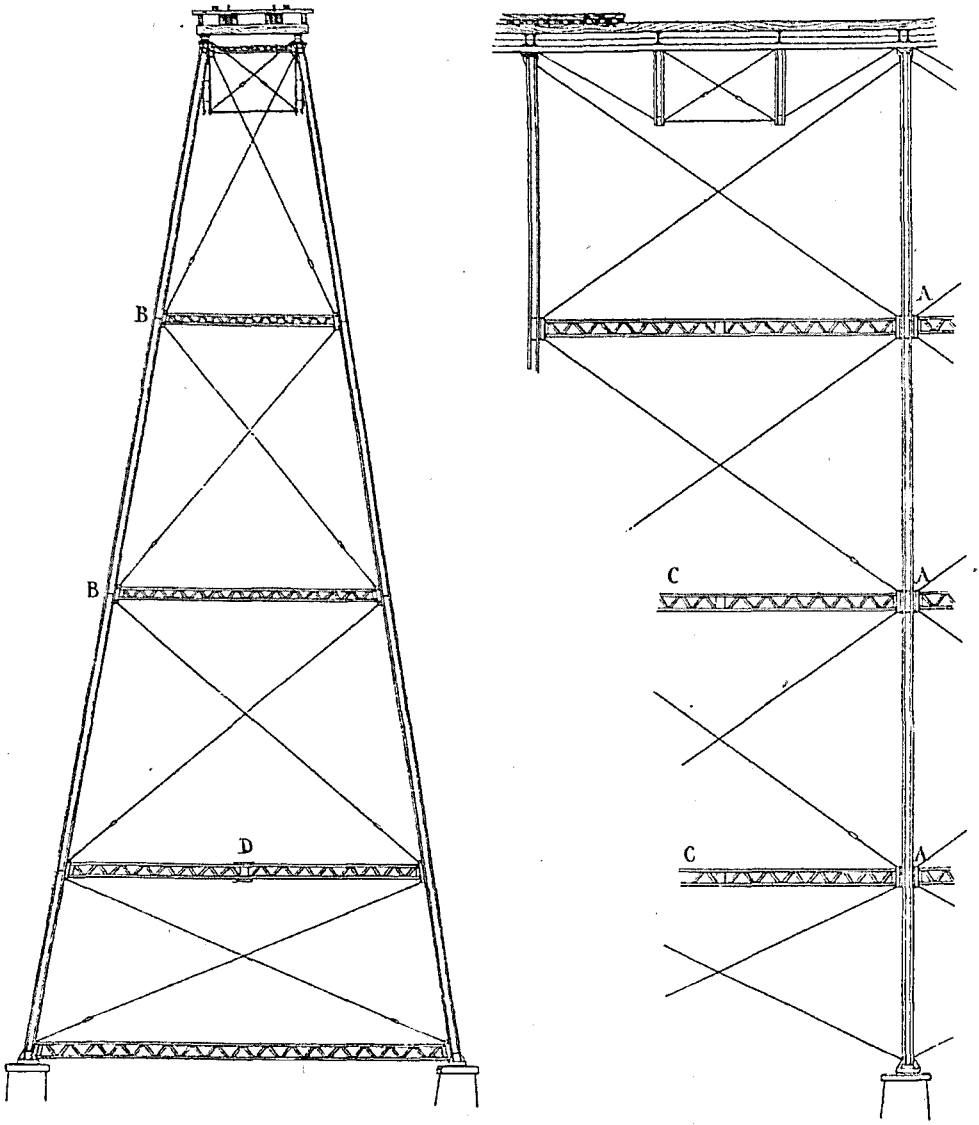


Рис. 637 *б*. — Поперечный и продольный фасадъ опоръ віадука Dale-Creek.

Величина пролетовъ 12,80 м.; они перекрыты обратными шпренгельными фермами въ три панели. Этотъ типъ опоръ также принадлежитъ въ сущности къ разряду плоскихъ опоръ, взаимно связанныхъ распорками и тяжами; для уменьшенія вреднаго вліянія температуры взаимно соединены только по три плоскихъ опоры. Сѣченіе реберъ или поясовъ того же типа какъ и въ Кумберландскомъ віадукѣ, т. е. два корытообразныхъ сѣченія съ широкими и низкими стѣнками, взаимно соединенныя двутавровой стѣнкой; всѣ распорки—двутавроваго сѣченія и состоятъ изъ четырехъ уголковъ, соединенныхъ рѣшеткой. На рис. 637*в* показана деталь устройства основанія подвижной ноги. Нижняя подушка имѣетъ съ боковъ выступы, ограничивающіе перемѣщеніе катковъ; чугунный башмакъ,

опирающійся на катки, имѣетъ по краямъ овальныя отверстія для пропуска закрѣпного болта и допускающаго поэтому незначительное перемѣщеніе; поднятіе же опоръ благодаря присутствію закрѣпнаго болта невозможно. Для возможности прикрѣпленія распорки къ стѣнкамъ корытообразнаго желѣза приклепано съ внутренней стороны изогнутое плоское желѣзо вплотную сближенное на концахъ (см. фиг. 637 *г*); между сближенными концами зажатъ вертикальный листъ, къ которому приклепаны уголки распорки. Въ верхней части сближенныхъ краевъ листовъ помѣщенъ шарниръ, на который надѣта петлей діагональ поперечной грани. На рис. 637 *г* показана деталь соединенія въ узлѣ *A* (фиг. 637 *б*), а на рис. 637 *д*—деталь соединенія

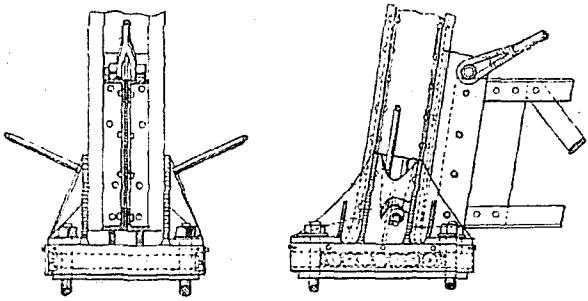


Рис. 637 *в*.—Деталь базы.

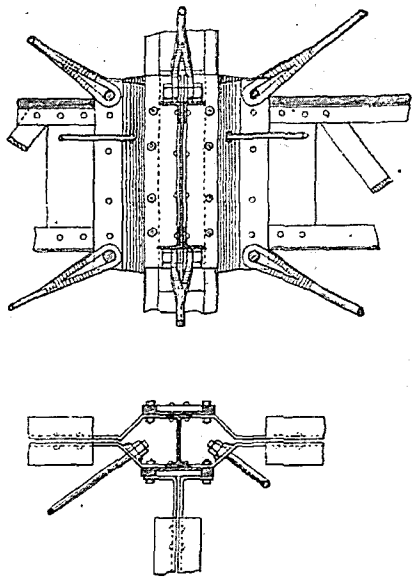


Рис. 637 *г*.—Деталь промежуточнаго узла.

въ узлѣ *B* (фиг. 637 *б*) — устроенныхъ по тому же, типу какъ и въ нижнемъ узлѣ; здѣсь необходимо замѣтить, что горизонтальныя діагонали прикрѣплены гайками къ вышеупомянутымъ изогнутымъ листамъ. На рис. 637 *е* показана деталь устройства капители, на которой установлены пояса ширенгельныхъ фермъ: на поясахъ установлены металлическія поперечныя балки, на нихъ деревянныя продольныя балки, (изъ трехъ рядовъ брусьевъ), а затѣмъ шпалы, концы которыхъ на случай схода поѣзда подпираются особыми деревянными лежнями.

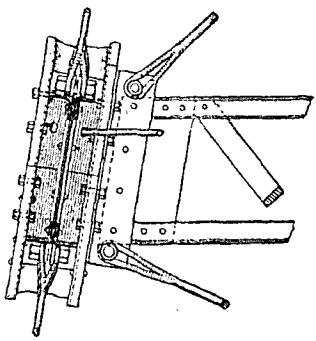


Рис. 637 *д*.—Деталь промежуточнаго узла.

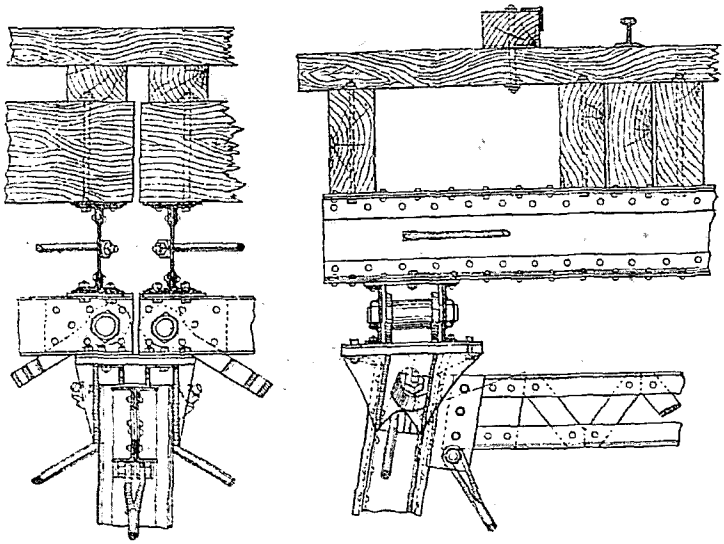


Рис. 637 *е*.—Деталь капители опоры.

На рис. 110 и на фиг. 327 *a*, 327 *b* и 327 *c*, табл. 46, показаны общій видъ и нѣкоторыя детали металлическихъ опоръ віадука Pecos на Южной Тихоокеанской жел. дор. Вся длина віадука 664,5 м., который состоитъ изъ 48 пролетовъ разнообразной величины: 34 пролета—по 10,668 м., 2—по 10,744 м., 1—въ 13,716 м., 8—по 19,812 м. и 3 пролета, перекрытыхъ фермами Гербера, а именно крайніе пролеты по 25,908 м. не считая длины 10,668 м. въ предѣлахъ опоры и средній

пролетъ въ 56,387 м., состоящій изъ двухъ свѣсовъ по 15,992 м. и соединительной фермы въ 24,384 м. Наибольшая высота металлической части опоры 73,47 м.; полная высота всего віадука, считая отъ уровня межени: 97,81 м. По высотѣ опора раздѣлена на 8 панелей; каждая опора состоитъ изъ четырехъ ногъ, опирающихся на отдѣльные столбы. Въ поперечномъ направленіи разстояніе между ногами вверху 3,068 м., внизу—30,040 м., что соотвѣтствуетъ уклону въ $^1/_6$; кромѣ того, въ нижней половинѣ поставлена вертикальная стойка, не имѣющая самостоятельной каменной опоры. Въ продольномъ направленіи обѣ ноги разставлены на 10,668 м.; на каждую ногу опираются двѣ смежныя фермы. Сѣченіе ноги коробчатое и состоитъ изъ двухъ листовъ, окаймленныхъ уголками, которые связаны рѣшеткой; ширина листовъ 610 м. перемѣнной толщины отъ 13 до 16 м., въ зависимости отъ усилій, величина которыхъ отъ подвижной нагрузки, постоянной нагрузки и вѣтра указана на фиг. 327*а*. Ребра прикрѣплены къ кладкѣ болтами діаметромъ 51 м.м. и длиною 6,325 м. Распорки двутаврового сѣченія со сквозной стѣнкой, діагонали—круглаго сѣченія. На фиг. 327*с* изображена деталь прикрѣпленія неподвижной опоры фермы Гербера. Верхъ ребра срѣзанъ горизонтально и окаймленъ тупоугольными и косоугольными уголками, къ которымъ прикленанъ листъ; къ боковой сплошной стѣнкѣ прикленанъ фасонный листъ, а къ этому послѣднему уголокъ распорки, и кромѣ того къ фасонному листу прикрѣплена діагональ. Верхняя діагональ въ продольной грани прикрѣплена помощью гайки къ изогнутому подъ прямымъ угломъ листу. Подушка подъ фермами состоитъ изъ двухъ уголковъ и двухъ стѣнокъ по три листа

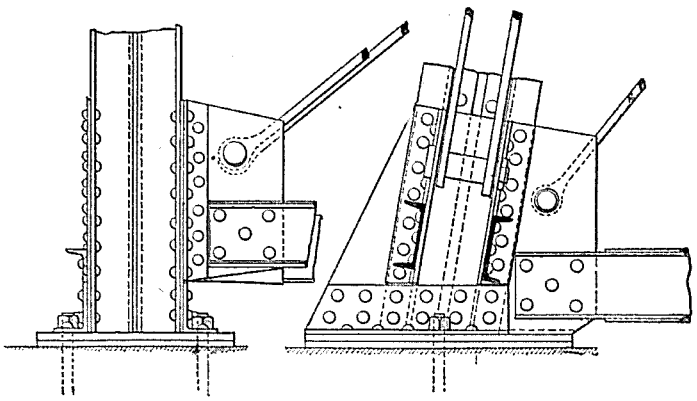


Рис. 638 *а*.

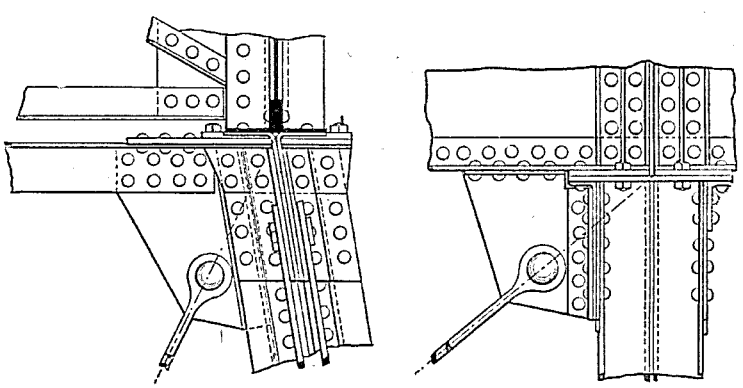


Рис. 638 *б*.

каждая, сквозь стѣнки проходитъ шарниръ, на который насаженъ нижній поясъ фермы, два раскоса и стойка; раскосы и пояса состоятъ изъ двухъ листовъ, окаймленныхъ уголками и усиленныхъ ради сопротивленія смятію двумя накладками. Общій вѣсъ металла въ віадукѣ — 2.650.000 кил.; въ мѣсяцъ собиралось и устанавливалось по 225 метр. въ длину. Сначала были установлены съ обоихъ концевъ невысокія опоры, перекрытыя фермами, на которыхъ перемѣщался двухъярусный кранъ (рис. 110) съ выносомъ въ 37,95 м.; промежутокъ между нижнимъ и верхнимъ ярусомъ загружался рельсами, представлявшими противовѣсъ въ 13 тоннъ.

На рис. 638*а* и 638*б* показанъ другой типъ детали соединенія раскосовъ и распорокъ съ ребрами опоры.

Данныя о собственномъ вѣсѣ и стоимости металлическихъ опоръ.—Металлическіе ледорѣзы.

А. По Энгессеру вѣсъ металлическихъ опоръ выражается слѣдующими эмпирическими формулами для трехъ типовъ опоръ.

I. *Металлическія стойки и качающіяся опоры* (плоскія опоры).

а) для желѣзнодорожныхъ моетовъ подъ одинъ путь:

$$g \text{ кил.} = 140 + 27\,l + 6\,h \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (242)$$

на пог. метръ высоты, гдѣ g — вѣсъ въ кил. на пог. метръ высоты; l — пролетъ въ метр.; h — высота въ метрахъ.

б) для желѣзнодорожныхъ мостовъ подъ два пути:

$$g \text{ кил.} = 220 + 41\,l + 6\,h \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (243)$$

в) для мостовъ подъ обыкновенную дорогу, съ щебеночной проѣзжей частью:

$$g \text{ кил.} = 140 + 27\,l + 6\,h \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (244)$$

Формулы примѣнимы въ предѣлахъ отъ

$$l = 25 \text{ м. до } l = 80 \text{ м. и отъ } h = 10 \text{ м. до } h = 50 \text{ м.}$$

Затѣмъ, напвыгоднѣйшій пролетъ для однопутныхъ желѣзнодорожныхъ мостовъ:

$$l_0 = 7{,}5 + 0{,}42\,h_0,$$

гдѣ h_0 — средняя высота опоръ (см. формулу 24, стр. 258).

Стоимость всего сооруженія въ маркахъ па пог. метръ однопутнаго пути:

$$K = (280 + 26{,}5\,h_0) \text{ марокъ} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (245)$$

или въ рубляхъ, считая марку за 45 коп.

$$K = (126 + 11{,}93\,h_0) \text{ руб.}$$

въ предѣлахъ отъ $h_0 = 10$ м. до $h_0 = 70$ м., причемъ стоимость кил. желѣза посчитана въ:

$$\pi = (30 + 0{,}2\,h_0) \text{ пфен.}$$

или стоимость пуда въ $(2{,}21 + 0{,}015\,h)$ руб. *).

Стоимость кв. метр. подмостового сѣченія, считая между крайними опорами и включая высоту фермъ:

$$\frac{K}{h_0} = \left(\frac{280}{h_0} + 26{,}5\right) \text{ марокъ} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (246)$$

Полная стоимость сооруженія:

$$K = \left(\frac{280}{h_0} + 26{,}5\right) F + W,$$

гдѣ F — подмостовое сѣченіе въ кв. метр.; W — стоимость двухъ устоевъ.

II. *Металлическія раскосныя опоры.*

а) для однопутныхъ моетовъ:

$$g \text{ кил.} = 40\,l + 18\,h \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (247)$$

*) При нашихъ условіяхъ эти цѣны должны быть увеличены по крайней мѣрѣ на 50%; то же замѣчаніе касается формулъ: (246) и (251).

на пог. метръ высоты, для l, измѣняющагося отъ 40 м. до 120 м. и для h отъ 30 м. до 70 м.

Замѣтимъ, что вѣсъ опоръ віадука Garabit на пог. метръ высоты выражается формулой:

$$g \text{ кил.} = 2000 + \frac{8000}{h} + 10\,(h - 10) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (247')$$

б) для двухпутныхъ мостовъ:

$$g \text{ кил.} = 55\,l + 19\,h \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (248)$$

въ предѣлахъ отъ $l = 50$ м. до $l = 100$ м. и $h = 40$ м. до $h = 70$ м.

III. *Американскій типъ опоръ* (trestle-work), состоящій изъ двухъ взаимно связанныхъ плоскихъ опоръ.

Если въ однопутныхъ желѣзнодорожныхъ мостахъ e — разстояніе между двумя взаимно соединенными плоскими опорами; λ — разстояніе между двумя отдѣльными опорами, такъ что

$$l = e + \lambda,$$

то наивыгоднѣйшій пролетъ:

$$l_0 = 7{,}5 + 0{,}8\,h_0, \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (249)$$

$$\text{при } e = \frac{h_0}{3} \text{ и } \lambda = 7{,}5 + 0{,}47\,h_0.$$

Вѣсъ металла въ опорахъ и въ пролетномъ строеніи, на пог. метръ сооруженія:

$$g' = (800 + 63{,}5\,h_0) \text{ кил.} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (250)$$

Полная стоимость пог. мстра сооруженія, выражеиная въ килогр. желѣза

$$g'' = (1190 + 63{,}5\,h_0) \text{ кпл.}$$

Стоимость пог. метра сооруженія въ маркахъ

$$K = 280 + 30\,h_0,$$

причемъ стоимость кил. желѣза поcчитана въ

$$\pi = (30 + 0{,}2\,h_0) \text{ пфеи.}$$

Стоимость кв. метра подмостового сѣченія:

$$\frac{K}{h_0} = \left(\frac{280}{h_0} + 30\right) \text{ мар.} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (251)$$

Полная стоимость, включая и устои:

$$K = \left(\frac{280}{h_0} + 30\right) F + W,$$

гдѣ F и W имѣютъ прежнія значенія.

Хотя такимъ образомъ типъ металлическихъ стоекъ или качающихся опоръ легче опоръ амернканскаго типа, но это справедливо лишь для малаго числа пролетовъ. При большомъ числѣ, вслѣдствіе необходимости раздѣлить пролеты на группы съ раскосными пирамидальными опорами въ концѣ каждой группы, въ виду значительнаго наклоненія опоръ отъ измѣненія температуры—американскій типъ представляется болѣе выгоднымъ.

Существуютъ еще другія болѣе точныя формулы Энгессера.

Г. Металлическія стойки и качающіяся опоры.

Полный вѣсъ опоры въ килограммахъ *):

$$G = 1{,}1\,\frac{(p + 1{,}5\,k)\,lh}{1000} + \frac{wlh + 0{,}5\,w_1 h^2}{1000} \times 12 + 200\,h + 6{,}2\,h^2 + 1000 +$$

$$+ 0{,}003\,(p + 1{,}5\,k)\,l \text{ **)} \quad . \quad : \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (252)$$

гдѣ всѣ размѣры въ метрахъ.

Въ формулѣ (252) p — собственный вѣсъ пролетныхъ частей на пог. ед.; k — подвижная нагрузка на пог. ед.; l — пролетъ; h — высота опоры; w — дав-

---

*) Zeitschrift des Arch. und Ing. Ver. za Hannover 1894.

**) Если p—собственный вѣсъ пролетныхъ частей на пог. ед.; k—подвижная нагрузка, R—коэф. допускаемаго напряженія; α—уголъ наклоненія ногъ къ горизонту, то площадь двухъ ногъ плоской опоры, оцѣнивая вліяніе подвижной нагрузки по сравненію съ постоянной коэффиціентомъ 1,5, выразится формулою:

$$2F = \frac{(p + 1{,}5\,k)\,l}{R\,sin\,\alpha}\text{; объемъ : } \frac{2\,Fh}{sin\,\alpha} = \frac{(p+1{,}5k)\,hl}{R\,sin^2\,\alpha}.$$

Если c и b—длины верхнихъ и нижнихъ распорокъ, то одинаковая площадь этихъ послѣднихъ въ зависимости отъ вертикальной нагрузки:

$$f = \frac{(p + 1{,}5\,k)\,l}{2R\,tg\,\alpha};$$

остальныя распорки и діагонали не работаютъ.
Объемъ:

$$f\,(b + c) = \frac{(p + 1{,}5\,k)\,l\,(b + c)}{2R\,tg\,\alpha}.$$

Общій объемъ элементовъ опоры, вызванный вертикальной нагрузкой:

$$V_1 = \frac{(p + 1{,}5k)\;l\,h}{R}\left(\frac{1}{sin^2\alpha} + \frac{(b + c)}{2h\,tg\,\alpha}\right) = \frac{(p + 1{,}5\,k)\,lh\beta}{R}.$$

При самыхъ неблагопріятныхъ условіяхъ:

$$c = 0;\ \frac{1}{sin^2\alpha} = 1 + \frac{b^2}{4h^2};\ tg\,\alpha = \frac{2h}{b};\ \beta = 1 + \frac{b^2}{2h^2}.$$

$$V_1 = \frac{(p + 1{,}5\,k)\,lh}{R}\left(1 + \frac{b^2}{2h^2}\right).$$

Полагая

$\frac{b}{h} = \frac{1}{3}$, получимъ $V_1 = \frac{(p + 1{,}5\,k)\,lh}{R} \times 1{,}05$, или будемъ брать: $V_1 = \frac{(p + 1{,}5\,k)\;lh\;1{,}04}{R}$.

Опредѣлимъ теперь объемъ элементовъ, зависящій отъ дѣйствія вѣтра. Примемъ для простоты, что обѣ ноги вертикальны.

Полное давленіе вѣтра на пролетную часть: $W = w.l$, гдѣ приблизительно w кил. $= 600 + 7.l$ для желѣзнодорожныхъ моетовъ и w кил. $= 450 + 7\,l$ для мостовъ подъ обыкновенную дорогу. Давленіе на поверхность опоры: $W_1 = w_1 h$, гдѣ w_1 кил. $= 75 + 3h$, (h въ метрахъ). Пусть разстояніе точки приложенія W отъ основанія—H. Оцѣнивая динамическое дѣйствіе коэффиціентомъ 1,2, получимъ добавочную площадь въ нижней части ноги:

$$F_1 = \frac{1{,}2\,wl}{Rb}\,H = \frac{1{,}2\,w\,l\,.\,m}{R},\ \text{если } m = \frac{H}{b}.$$

Верхняя часть ноги опоры также получаетъ нѣкоторое увеличеніе сѣченія, (такъ какъ H обыкновенно болѣе h); это увеличеніе площади можно оцѣнить въ $F_2 = 0{,}2\,F_1$. Слѣд., сред-

леніе вѣтра на пог. ед. пролетныхъ частей: $w = 600 + 7l$, если давленіе вѣтра выражено въ килогр., а пролетъ въ метр.; h — высота опоры въ метр.; $w_1 = 75 +$

нее увеличеніе площади:

$$F = \frac{F_1 + F_2}{2} = 0{,}6\, F_1 = \frac{0{,}72\, w\, lm}{R},$$

а объемъ:

$$v_1 = 2F\, h = \frac{1{,}44\, w\, lhm}{R}.$$

Сѣченіе діагоналей:

$$f = \frac{1{,}2\, wl}{R \cos \delta},$$

если δ—уголъ наклоненія діагонали къ горизонту.

Общая длина обѣихъ системъ діагоналей по всей высотѣ опоры: $\frac{2h}{\sin \delta}$.

Слѣд. объемъ:

$$\frac{2{,}4\, wlh}{R \cos \delta \sin \delta}.$$

Объемъ распорокъ:

$$\frac{1{,}2\, w\, lh}{R\, tg\, \delta},$$

такъ какъ напряженіе и длина составляютъ каждое: $\frac{\cos \delta}{1}$ отъ напряженія и длины діагоналей. Слѣдъ. объемъ распорокъ и діагоналей:

$$v_2 = \frac{w\, l\, h}{R}\left(\frac{2{,}4}{\cos \delta \sin \delta} + \frac{1{,}2}{tg\, \delta}\right).$$

При $\delta = 45^\circ$ получаемъ:

$$v_2 = \frac{6\, wlh}{R}$$ или для запаса: $v_2 = \frac{7\, w\, lh}{R}$.

Такимъ образомъ объемъ, вызванный давленіемъ вѣтра w:

$$V_2 = v_1 + v_2 = \frac{w\, l\, h}{R}(1{,}44\, m + 7).$$

Подобнымъ образомъ найдемъ, что выраженіе добавочнаго объема отъ давленія вѣтра w_1 (приблизительно):

$$V_3 = \frac{w_1 h^2}{2R}(1{,}44\, m + 7).$$

Теоретическій общій объемъ:

$$V = V_1 + V_2 + V_3 = \frac{(p + 1{,}5\, k)\, lh}{R} \times 1{,}04 + \frac{h}{R}(1{,}44\, m + 7)\left(w\, l + \frac{w_1 h}{2}\right).$$

Если γ вѣсъ куб. единицы, то теоретическій вѣсъ $G_0 = \gamma V$; дѣйствительный вѣсъ $G = \psi \cdot \gamma V$. Конструктивный коэффиціентъ ψ уменьшается по мѣрѣ увеличенія высоты опоры или увеличенія объема, такъ что:

$$\psi = \psi_0 + \frac{C}{\gamma V}$$ и $G = \psi_0 \gamma\ V + C$.

Если $\psi_0 = 1{,}35$; вѣсъ куб. сант. $\gamma = 0{,}0078$ кил., то $G = 0{,}0105\ V + C$ (всѣ размѣры въ сант.). Если же поперечные размѣры въ сант., а длины въ метрахъ, то $G = 1{,}05\ V + C$.

Поэтому дѣйствительный вѣсъ:

$$G = \frac{1{,}1\, (p + 1{,}5\, k)\, lh}{R} + \frac{w\, lh + 0{,}5\, w_1 h^2}{R}(1{,}5\, m + 7{,}3) + C.$$

Что касается C, то можно положить:

$$C = Ah + Bh^2 + D,$$

гдѣ два первые члена выражаютъ добавочный вѣсъ отъ продольнаго сжатія и проч., а послѣдній членъ—вѣсъ опорныхъ подушекъ и капители. При благопріятныхъ условіяхъ: $m = 3$. $A = 200$, $B = \frac{20}{m^2} + 4 = 6{,}2$; $D = 1000 + 0{,}003\ (p + 1{,}5\, k)\, l$.

Если $R = 1000\ \frac{\text{кил.}}{\text{сант.}^2}$, то

$$G = \frac{1{,}1\, (p + 1{,}5\, k)\, lh}{1000} + \frac{wlh + 0{,}5\, w_1 h^2}{1000} \times 12 + 200\, h + 6{,}2\, h^2 + 1000 + 0{,}003\ (p + 1{,}5\, k)\, l.$$

$3h$ — давленіе вѣтра на пог. ед. высоты опоры; $R = 1000$ допускаемое напряженіе въ кил. на кв. сантиметръ. Какъ пояснено въ выноскѣ, не смотря на то, что всѣ размѣры въ метрахъ, R — допускаемое напряженіе отнесено на кв. сант., что принято во вниманіе при переходѣ отъ объема къ вѣсу.

а) Для однопутныхъ желѣзнодорожныхъ мостовъ. Вставляя вмѣсто w и w_1 вышеприведенныя значенія, получимъ:

$$G = 1{,}1\,\frac{(p + 1{,}5\,k)\,lh}{1000} + 7{,}2\,lh + 0{,}084\,l^2h + 200\,h + 7\,h^2 + 0{,}018\,h^3 + \\ + 1000 + 0{,}003\,(p + 1{,}5\,k)\,l, \quad \ldots\ldots\ldots \quad (253)$$

или вѣсъ опоры на пог. ед. высоты:

$$g = 1{,}1\,\frac{(p + 1{,}5\,k)\,l}{1000} + 7{,}2\,l + 0{,}084\,l^2 + 200 + 7\,h + 0{,}018\,h^2 + \\ + \frac{1000 + 0{,}003\,(p + 1{,}5\,k)\,l}{h} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (254)$$

Въ этой формулѣ члены, независящіе отъ h — для цѣлой серіи пролетовъ, начиная отъ $l = 25$ м. до $l = 80$ м., могутъ быть выражены чрезъ: $g_1 = 27\,l$; члены же, зависящіе отъ h, при измѣненіи послѣдней величины отъ $h = 10$ м. до $h = 50$ м., выражаются примѣрно чрезъ: $g_2 = 140 + 6\,h$ (если $l = h$), такъ что приблизительно:

$$g = g_1 + g_2 = 140 + 27\,l + 6\,h.$$

Найдемъ теперь наивыгоднѣйшій пролетъ:

Вѣсъ опоры на пог. мет. пролета, вставляя вмѣсто: $p + 1{,}5\,k$ примѣрно 9600 кил.:

$$s_1 = \frac{gh}{l} = 17{,}8\,h + 0{,}084\,lh + \frac{200\,h + 7h^2 + 0{,}018\,h^3 + 1000}{l} + 28{,}8.$$

Стоимость каменнаго фундамента, приведеннаго къ однозначному по стоимости вѣсу металла и отнесеннаго на пог. ед. пролета:

$$s_2 = \frac{P + (Q + Rh)\,l}{l} = \frac{P}{l} + Q + Rh,$$

гдѣ P — доля стоимости каменной опоры, независящая отъ пролета и выраженная въ единицахъ однозначнаго по стоимости вѣса металла, Ql — доля стоимости, зависящая отъ пролета, а Rhl — доля стоимости, зависящая отъ пролета и высоты.

Наконецъ, вѣсъ пролетныхъ частей на пог. ед. пролета:

$$s_3 = Cl + F.$$

Слѣдовательно полный вѣсъ сооруженія на пог. ед. пролета:

$$s = s_1 + s_2 + s_3 = 17{,}8\,h + 0{,}084\,hl + \frac{200\,h + 7h^2 + 0{,}018\,h^3 + 1000}{l} + \\ + 28{,}8 + \frac{P}{l} + Q + Rh + Cl + F.$$

Приравнявъ производную по l нулю, получимъ:

$$\frac{ds}{\partial l} = 0{,}084\,h - \frac{200h + 7h^2 + 0{,}018h^3 + 1000}{l^2} - \frac{P}{l^2} + C = 0,$$

откуда наивыгоднѣйшій пролетъ:

$$l_0 = \sqrt{\frac{1000 + 200h + 7h^2 + 0{,}018h^3 + P}{C + 0{,}084\,h}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (255)$$

Если принять $P = 1000$ кил.; $C = 35$, то:

$$l_0 = \sqrt{\frac{2000 + 200h + 7h^2 + 0{,}018h^3}{35 + 0{,}084\,h}}.$$

Такъ, для:

$h =$	10	20	30	50	70 метр.
$l_0 =$	11,5	15,8	20,0	28,7	37,2 »

или приблизительно:

$$l_0 = 7{,}5 + 0{,}42\,h.$$

По Nördling'у наивыгоднѣйшій пролетъ для желѣзнодорожныхъ мостовъ подъ одинъ путь: l_0 мстр. $= 30 + 0{,}45\,h$, а для желѣзнодорожныхъ мостовъ подъ два пути: l_0 метр. $= 30 + 0{,}36\,h$.

б) Для желѣзнодорожныхъ мостовъ подъ два пути вѣсъ опоры на погон. ед. высоты:

$$g = 1{,}1\,\frac{(p + 1{,}8\,k)\,l}{1000} + 7{,}2\,l + 0{,}084\,l^2 + 200 + 7\,h + 0{,}018\,h^2 + \\ + \frac{1000 + 0{,}01\,(p + 1{,}5\,k)\,l}{h} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (256)$$

в) Для мостовъ подъ обыкновенную дорогу:

$$g = 1{,}1\,\frac{(p + 1{,}8\,k)\,l}{1000} + 5{,}4\,l + 0{,}084\,l^2 + 200 + 7\,h + 0{,}018\,h^2 + \\ + \frac{1000}{h} + 1{,}5\,\frac{(p + 1{,}5\,k)\,cl}{h} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (257)$$

гдѣ c — ширина опоры по верху.

II′. *Металлическія раскосныя опоры.*

а) Для однопутныхъ желѣзнодорожныхъ мостовъ:

$$g = \frac{(1{,}1p + 4{,}2\,k)\,l}{1000} + 7{,}2\,l + 0{,}084\,l^2 + 300 + 11\,h + 0{,}07\,h^2 + \\ + \frac{1500 + 0{,}012\,(p + 1{,}5\,k)\,l}{h} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (258)$$

б) Для желѣзнодорожныхъ мостовъ подъ два пути:

$$g = 1{,}1\,\frac{(p + 3{,}5\,k)\,l}{1000} + 7{,}2\,l + 0{,}084\,l^2 + 300 + 11\,h + 0{,}07\,h^2 + \\ + \frac{1500 + 0{,}02\,(p + 1{,}5\,k)\,l}{h} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (259)$$

в) Для мостовъ подъ обыкновенную дорогу:

$$g = \frac{(1{,}1\,p + 2{,}3\,k)\,l}{1000} + 5{,}4\,l + 0{,}084\,l^2 + 300 + 11\,h + 0{,}07\,h^2 + \\ + \frac{1500 + 0{,}003\,(p + 1{,}5\,k)\,cl}{h} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (260)$$

гдѣ c — ширина моста.

III′. *Американскій типъ опоръ.*

$$g = 24{,}5\,h + 0{,}048\,hl + \frac{1500 + 361\,h + 13\,h^2 + 0{,}07h^3}{l} + 55. \quad . \quad (261)$$

Б. По Heinzerling'y *)—оцѣнивая стоимость кил. чугуна въ дѣлѣ по 0,35 мар., а желѣза—по 0,6 мар., полная стоимость раскосной опоры, состоящей изъ чугунныхъ реберъ и желѣзной рѣшетки,—въ віадукахъ подъ одинъ путь:

$$K' \text{ мар.} = 0{,}45\,(16{,}33\,h + 32{,}82\,l)\,h \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (262)$$

подъ два пути:

$$K'' \text{ мар.} = 0{,}45\,(27{,}27\,h + 54{,}80\,l)\,h \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (263)$$

Если ребра и рѣшетки желѣзныя, то въ віадукахъ иодъ одинъ путь:

$$K' \text{ мар.} = 0{,}6\,(17{,}17\,h + 50{,}44\,l)\,h \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (262')$$

подъ два пути:

$$K'' \text{ мар.} = 0{,}6\,(23{,}44\,h + 60{,}45\,l)\,h \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (263')$$

Члены въ скобкахъ выражаютъ вѣсъ опоры въ килогр. на пог. метра высоты.

В. По Nördling'y *)—для пролетовъ около 50 метр. и для высоты опоръ около 60 метр. стоимость металлической части раскосныхъ пирамидальныхъ опоръ: подъ одинъ путь:

$$K' \text{ фр.} = 14000 + (h - 2{,}20)\left(1690 - \frac{2550}{h}\right) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (262'')$$

подъ два пути:

$$K'' \text{ фр.} = 15000 + (h - 2{,}20)\left(1970 - \frac{1550}{h}\right) \text{*)} \quad . \quad . \quad . \quad (263'')$$

Такъ какъ эти формулы справедливы только для пролетовъ около 50 метр. и для опоръ высотою около 60 метр., то для сравненія (262) съ (262″) пола-

*) Handbuch der Ingenieurwissenschaften. II Band. 1889.

гаемъ въ нихъ $l = 50$, $h = 60$ м.; получимъ:

$$K' \text{ мар.} = 70762 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (262)$$

$$K'' \text{ фр.} = 109225 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (262'')$$

Но 1 мар. = 1,23 фр.—слѣд. согласіе достаточное.

Полная стоимость віадука, на ног. метръ пути, включая стоимость фундамента и пролетнаго строенія подъ одинъ путь:

$$N' \text{ фр.} = 1350 + H\left(34 + \frac{H}{4}\right), \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (264)$$

подъ два пути:

$$N'' \text{ фр.} = 2170 + H\left(46 + \frac{H}{4}\right)^{*}) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (265)$$

гдѣ H—средняя полная высота отъ поверхности земли до уровня рельса.

(Nördling указываетъ, что стоимость кв. метр. подмостового сѣченія каменнаго віадука (считая до уровня рельса) подъ одинъ путь:

$$m' \text{ фр.} = 30 + 3h,$$

подъ два пути

$$m'' \text{ фр.} = 50 + 3h,$$

такъ что одинаковая съ металлическими віадуками стоимость имѣетъ мѣсто, согласно Nördling'y, для віадуковъ подъ одинъ путь, при $l = 23$ метр., а подъ два пути при $l = 28$ метр. При бо́льшихъ пролетахъ металлическіе віадуки выгоднѣе каменныхъ. Данныя Nördling'a отиосительно стоимостп кв. метра подмостового сѣченія каменнаго віадука не вполнѣ согласны съ данными Heinzerling'a; послѣдній указываетъ, что независимо отъ высоты стоимость кв. м. подмостового сѣченія каменнаго однопутнаго віадука 60 мар. или 74 фр., а двухпутиаго — 121 мар. или 149 фр.).

Г. По Rèsal'ю вѣсъ металлической опоры:

$$P = -\frac{2QH \times \Delta\left[1 + \frac{(L-l)^2 + (L'-l')^2}{H^2}\right]}{R + R' + H\Delta\left[1 + \frac{(L-l)^2 + (L'-l')^2}{H^2}\right]}, \quad . \quad . \quad . \quad (266)$$

гдѣ Q — наибольшая вертикальная пагрузка на опору; H — высота опоры; Δ — постоянный коэффиціентъ, измѣняющійся отъ 8000 до 20000, въ среднемъ 12000; l и l', L и L' — длина и ширина опоры въ вершинѣ и въ основаніи; R — наибольшее напряженіе на сжатіе (величина отрицательная) въ ребрахъ опоры, вызванное непосредственнымъ сжатіемъ и сжатіемъ отъ изгиба, R' — наибольшее напряженіе па растяженіе, вызванное непосредственнымъ сжатіемъ и растяженіемъ отъ изгиба (можетъ быть отрицательнымъ или положительнымъ); Q — всегда положительная величина.

---

*) *Nördling*. Piles en charpente métallique. Annales des ponts et chaussées. 1864.

Д. По Leygue'y *) вѣсъ пирамидальной опоры съ четырьмя ребрами:

$$P = 3.000.000\ \Omega\ (e^{0,0045h} - 1) \text{ килогр.} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (267)$$

стоимость:

$$K = 3.000.000\ f\ .\ \Omega\ (e^{0,0045h} - 1) \text{ франковъ.} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (268)$$

гдѣ Ω — площадь сѣченія каждаго изъ реберъ въ кв. метр.; $f = 0{,}50$ фр.; h — высота въ метрахъ.

По Leygue'y для опоръ высотою: $h < 20$ метр.—стоимость каменной и металлической опоръ тождественны; за этимъ предѣломъ преимущество остается на сторонѣ металлическихъ опоръ, хотя предѣлы эти и измѣняются въ зависимости отъ единичной стоимости того и другого матеріала, коэффиціента допускаемыхъ напряженій и проч.

Е. Приведемъ въ заключеніе данныя о вѣсѣ и стоимости нѣсколькихъ віадуковъ на металлическихъ опорахъ **), трехъ высокихъ віадуковъ съ качающимися опорами ***), а также данныя о сравнительной стоимости деревянныхъ и металлическихъ кессоновъ и о стоимости металлическихъ свай и парныхъ трубчатыхъ опоръ.

а) *Данныя о стоимости віадуковъ на пирамидальныхъ металлическихъ опорахъ.*

Названіе віадука.	Наибольшая высота включая и камен. фунд. метр.	Длина віадука метр.	Стоимость пог. метра віадука мар.	Стоимость кв. метра подмостоваго сѣченія мар.	Примѣчаніе.
Однопутные віадуки.					
Weissenbach	38,0	163,4	3184	120,4	
Palagianello	40,0	138,0	1060	—	Безъ стоимости каменнаго фундамента.
Iglava	42,7	373,5	4148	117,0	
San Stefano	43,5	127,0	1000	—	Безъ стоимости каменнаго фундамента.
Neuvial	44,0	160,3	1676	63,0	
Bellon	48,5	231,0	1854	58,0	
Cère	55,3	308,5	2104	64,8	
Sioule	58,8	180,6	2394	56,0	
Castellanetta	60,3	202,0	1054	—	Безъ стоимости каменнаго фундамента.
Sitter	62,4	163,6	3810	89,0	
Bouble	66,0	395,0	2340	51,6	
Portage	71,7	250,0	1580	36,8	
Varrugas	82,0	175,4	3910	106,4	
Двухпутные віадуки.					
Thouars	38,6	261,6	2968	106,0	
Busseau d'Ahan	56,5	338,7	3604	102,0	
Saane	76,0	396,0	5090	97,2	

*) *Leygue.* Piles et pylones de grande hauteur. Annales des ponts et chaussées. 1886.
**) Handbuch der Ingenieurwissenschaften. Band II, 1889.
***) Zeitschr. des Arch. und Ingen. Ver. zu Hannover 1884.

Такимъ образомъ, въ среднемъ стоимость кв. метра подмостового сѣченія однопутнаго віадука 76,2 мар., а двухпутнаго—101,8 мар.

б) *Данныя о стоимости віадуковъ на качающихся опорахъ.*

	Віадукъ въ долинѣ Lyse.			Віадукъ въ долинѣ Solberg.			Віадукъ въ долинѣ Haaböl.		
Вся длина	184 метр.			144 метр.			176 метр.		
Наибольшая высота	31 »			32 »			27 »		
Сѣченіе долины до уровня рельса (подмостовое сѣченіе)	3.838 кв. м.			3.030 кв. м.			3.542 кв. м.		
	Объемъ.	Цѣна. въ мар.	Всего марокъ.	Объемъ.	Цѣна. въ мар.	Всего марокъ.	Объемъ.	Цѣна. въ мар.	Всего марокъ.
Устои.									
Основаніе и отсыпи	—	1.880	31.220	—	3.310	13.920	—	3.870	13.110
Кладка	890 к. м.	29.340		430 к. м.	10.610		270 к. м.	9.240	
Фундаментъ металлическихъ опоръ.									
Основаніе	—	490	8.780	—	6.910	11.730	—	17.390	31.610
Кладка	340 к. м.	8.290		129 к. м.	4.820		356 к. м.	14.920	
Металлическія опоры.									
Металлъ	165,5тон.	50.470	57.970	125,8тон.	36.550	43.550	139,5тон.	40.600	47.659
Сборка и склепка	—	7.500		—	7.000		—	7.050	
Пролетное строеніе.									
Металлъ	92,5тон.	28 900	36.230	109 тон.	31.850	42.110	133,5тон.	38.900	51.320
Сборка и склепка	—	5.070		—	6.560		—	8.100	
Деревянныя шпалы	—	2.260		—	3.700		—	4.320	
Подмости	—	—	9.600	—	—	8.280	—	—	9.320
Непредвидѣн. и проч.	—	—	2.730	—	—	2.190	—	—	2.610
Итого марокъ	—	—	146.530	—	—	121.780	—	—	155.620
Стоимость кв. м. подмостового сѣченія	—	—	38	—	—	40	—	—	41

Стоимостъ кв. метра подмостового сѣченія во всѣхъ трехъ примѣрахъ почти одинакова. Если обратиться къ формулѣ Энгессера (246), то стоимость кв. метра подмостового отверстія, считая среднюю высоту за $^2/_3$ наибольшей высоты:

$$\frac{K}{h_0} = \left(\frac{280}{h_0} + 26{,}5\right) \text{мар.} = \frac{280}{21} + 26{,}5 = 39{,}8 \text{ мар.},$$

что совпадаетъ достаточно близко съ вышеприведенными данными.

Что касается стоимости другихъ типовъ металлическихъ опоръ, причисляя къ послѣднимъ и опоры на кессонахъ, то соотвѣтственныя по сему данныя были помѣщены при описаніи примѣровъ сооруженія металлическихъ опоръ различныхъ типовъ. Данныя относительно стоимости кессонныхъ опоръ помѣщены на стр. 641. Дополнимъ эти свѣдѣнія сообщенными инж. Кнорре данными относительно сравнительной стоимости металлическихъ и деревянныхъ кессоновъ, какъ это выяснилось при сооруженіи опоръ моста черезъ р. Енисей на Средне-Сибирской жел. дорогѣ.

в) *Данныя о сравнительной стоимости металлическихъ и деревянныхъ кессоновъ.*

	Количество	Площадь подошвы кессона.	Полная стоимость.	Единичная стоимость.
А. Желѣзные кессоны.				
а) Желѣзо при высотѣ камеры въ 1 саж. и обшивки въ среднемъ въ 8 саж. . . .	48.431 пуд.	кв. саж. 5 рѣчныхъ по 39,33 1 береговой —17,40	Рубли.	Рубли.
б) Работа, т. е. оборудованіе мастерскихъ, обработка, клепка, чеканка, обмазка, спускъ на воду, зданіе мастерскихъ и накладные расходы.	—	всего 214,08 —	130.763,70 98.971	2,70 за пудъ 2,04 за пудъ
Б. Деревянные кессоны.			на 1 кв. саж. площади кессона —1073,35 руб.	
Красноярск. береговой устой матеріалъ, работа и накладные расходы	—	кв. саж. 24,98	10.926	437,10
Тоже въ Иркутскомъ устоѣ .	—	21,13	97.30	460,50 на кв. саж.
В. Погруженіе.				
Жалованье служащимъ, кессонщикамъ и накладные расходы	2091,30 куб. саж считая отъ низкихъ водъ до подошвы.	—	200.120	95,70 за куб. саж.
Воздуходувныя маш., шлюза, шахты, котлы, топливо, матеріалъ, машинисты, кочегары и накладные расходы	—	—	226.240	108,18
		всего	426.360	203,88 за куб. саж.

Такимъ образомъ, деревянные кессоны дешевле металлическихъ почти вдвое: стоимость погруженія и кладки остаются въ обоихъ случаяхъ одинаковыми. Такъ какъ стоимость кладки можно оцѣнить въ 250 руб. за куб. саж., стоимость погруженія въ 200 р. за куб. с., и такъ какъ при 8 саж. глубинѣ при площади кессона около 30 кв. саж., стоимость желѣзнаго кессона, отнесенная на куб. саж. погруженія, считая отъ уровня низкихъ водъ, составитъ: $\frac{30 \times 1073}{30 \times 8} = 134$ руб., а деревяннаго: $\frac{30 \times 450}{30 \times 8} = 57$ руб., то отнесенная на куб. саж. полная стоимость опоры до уровня низкихъ водъ при металлическомъ кессонѣ: 250 + 200 + + 134 = 584 руб., а при деревянномъ: 250 + 200 + 57 = 507 руб., т. е. во второмъ случаѣ общее сбереженіе составляетъ около 13%.

г) *Данныя о стоимости опоръ изъ металлическихъ свай.*

На Уссурійской ж. д. были употреблены желѣзныя сваи діаметромъ 10 д., толщиною $^7/_{16}$ д. при ширинѣ реборды въ 4 д. При высотѣ болѣе 1,75 с. примѣнено 6 или 8 коренныхъ свай и 2 или 4—откосныя сваи (фиг. 272, табл. 37). Стоимость пуда въ дѣлѣ 7,95 руб., въ томъ числѣ стоимость на заводѣ: 4,95 руб., доставка и развозка 1 р. 42 к., забивка 1 р. 30 к. и наращиваніе 0 р. 21 к. Вѣсъ одной сваи со связями — 159 пуд. Общій вѣсъ свай въ одной опорѣ— 1467 пуд.

д) *Данныя о стоимости устройства парныхъ трубчатыхъ опоръ.*

Названія жел. дорогъ.	Закавказскія [1].			Средне-Азіатская [2].			Полѣсскія дороги [3].
Названіе мостовъ.	Черезъ р. Куру (Гаргаребскій мостъ).			Черезъ р. Киприлы при ст. Аджаметъ.			Черезъ р. Аму-Дарью.			
Число и величина пролетовъ .	3 × 20 саж.			4 × 20 саж.			25 × 30 саж.			—
Высота колонны:										
ниже межениаго горизонта	6,5 саж.			7 саж.			7,65 саж.			—
выше горизонта	2,1 саж.			3,3 саж.			3,55 саж.			—
Діаметръ колонны:										
въ вершинѣ	6 ф. 6 д.			6 ф. 6 д.			8 ф. 8 д.			—
въ основаніи	11 ф.			11 ф.			12 ф.			—
Разстояніе между осями парныхъ колоннъ	17 ф.			17 ф.			17 ф.			—
Исчисленіе стоимости парной колонны.	Единич. цѣна.	Количество.	Стоимость.	Единич. цѣна.	Количество.	Стоимость.	Единич. цѣна.	Количество.	Стоимость.	Единич. цѣна.
	Руб.	Пуд.	Руб.	Руб.	Пуд.	Руб.	Руб.	Пуд	Руб.	Руб.
Металлич. части	4,20	3831	16.100	4,90	3576	17.500	4,90	4110	20.531	4,29
Погруженіе	3.500	2 кол. кб. с.	7.000	5.000	2 кол. кб. с.	10.000	228 за кб. с.	55 кб. с. [4])	12.550	721 за кб. с.
Заполненіе бетономъ . . .	160	25,5	4.100	180	19,3	3.500	290	13,75	4.000	270 за кб. с.
Заполненіе бутовой кладкой .	—	—	—	—	—	—	250	37	9.250	—
Прокладные ряды	—	—	—	—	—	—	290	0,7	200	—
Итого стоимость одной опоры изъ двухъ колоннъ .	—	—	27.200	—	—	31.000	—	—	46.531	—
На 1 куб. саж. заполненія .	1.067	—	—	1.606	—	—	904,5	—	—	—
На 1 пог. саж. отверстія .	1.360	—	—	1.550	—	—	1.551	—	—	—

Металлическіе ледорѣзы. На фиг. 337, табл. 50 показанъ металлическій ледорѣзъ опоръ моста чрезъ р. Нѣманъ близъ Гродно по С.-Петербурго-Варшавской желѣзной дорогѣ, а на фиг. 338—ледорѣзъ Волжскаго моста на Рыбинско-Бологовской желѣзной дорогѣ.

Нѣманскій ледорѣзъ состоитъ изъ массивныхъ чугунныхъ взаимно свинченныхъ плитъ толщиною 6 сант. съ заплечиками. Боковыя грани ледорѣза опираются на двѣ чугунныя балки, прикрѣпленныя однимъ концомъ къ каменной кладкѣ ледорѣзной колонны, а другимъ концомъ опирающіяся на спеціально отлитые выступы колонны быка. Обѣ грани соединены между собою 10 рядами горизонтальныхъ чугунныхъ связей, изъ коихъ 3 нижніе ряда состоятъ изъ отлитыхъ въ видѣ креста (въ поперечномъ сѣченіи) штукъ съ квадратными по концамъ заплечиками, кото-

[1]) Выемка грунта производилась, работая въ сжатомъ воздухѣ.
[2]) Выемка грунта производилась экскаваторомъ.
[3]) Выемка грунта производилась черпаками.
[4]) Объемъ извлеченнаго грунта.

рыми они и привинчены къ щекамъ ледорѣзовъ; остальные ряды связей состоятъ изъ полыхъ чугунныхъ цилиндровъ, съ раструбами и квадратными заплечиками по обоимъ концамъ, которыми они прикасаются къ щекамъ ледорѣза; они удерживаются на мѣстѣ пропущенными внутри цилиндровъ желѣзными болтами, оканчивающимися на одномъ концѣ шляпкою, а на другомъ — винтовой нарѣзкой съ навинченною на него гайкою; шляпка и гайка утоплены въ щеки ледорѣза. На боковыя грани ледорѣза опираются составленныя изъ чугунныхъ плитъ верхнія взаимно пересѣкающіяся грани, образующія наклонное рѣжущее ребро ледорѣза. Для приданія большей прочности переднему ребру ледорѣза, подвергающемуся непосредственному удару льдинъ, онъ подпертъ двумя чугунными наклонными подстрѣлинами, опирающимися на среднюю чугунную балку. Металлическій ледорѣзъ опоръ моста чрезъ р. Нѣманъ близъ Ковно (рис. 612) опирается на три колонны и имѣетъ туже конструкцію.

Волжскій ледорѣзъ (фиг. 338) имѣетъ много общаго съ Нѣманскимъ ледорѣзомъ, отличаясь только тѣмъ, что двѣ крайнія и среднія чугунныя балки, на которыя опираются боковыя грани и подстрѣлины, —замѣнены желѣзными балками.

XII.

Опредѣленіе поперечныхъ размѣровъ деревянныхъ и металлическихъ опоръ.

Общія соображенія. — Опредѣленіе сопротивленія свай. — Коэффиціентъ запаса при забивкѣ свай. — Расположеніе свай подъ подошвой каменной опоры. — Опорныя сопротивленія, вызываемыя тѣломъ, опирающимся нѣсколькими точками на плоскость или на вершины стоекъ, расположенныя въ одной плоскости.

Общія соображенія. Задача эта распадается на двѣ части: 1) на опредѣленіе усилій въ различныхъ элементахъ опоры подъ дѣйствіемъ внѣшнихъ силъ: а) вертикальныхъ: собственнаго вѣса, вѣса пролетныхъ частей и подвижной нагрузки, б) горизонтальныхъ — силы вѣтра, центробѣжной силы и тренія, торможенія и в) измѣненія температуры и 2) на подборъ сѣченій по найденнымъ усиліямъ.

Первая половина задачи иногда усложняется, когда, напр., конструкція опоры представляетъ статически-неопредѣлимую систему; въ такомъ случаѣ для упрощенія задачи приходится прибѣгать къ нѣкоторымъ допущеніямъ или же остается принимать въ расчетъ упругія деформаціи, что однако влечетъ за собою продолжительныя выкладки.

Что касается второй половины задачи, то она наиболѣе проста и состоитъ въ опредѣленіи величины поперечнаго сѣченія по формулѣ:

$$\omega = \frac{N}{R},$$

гдѣ допускаемое напряженіе R зависитъ отъ рода усилія растяженія или сжатія, отъ формы сѣченія по отношенію къ длинѣ (продольный изгибъ при сжатіи) и выбирается согласно условіямъ задачи.

Соотвѣтственныя значенія R приведены въ гл. V. Если какой либо элементъ опоры помимо сжатія или вытягиванія подвергается еще изгибу, то сѣченіе опредѣляется по извѣстной формулѣ:

$$R = \frac{N}{\omega} \pm \frac{Mz}{I}.$$

Въ отношеніи пріема опредѣленія усилій всѣ опоры можно раздѣлить на три группы: 1) на отдѣльныя *одиночныя* опоры; 2) на опоры, состоящія изъ ряда взаимно связанныхъ одиночныхъ опоръ, расположенныхъ въ одной плоскости, т. е. на *плоскія* опоры, и 3) на пирамидальныя и призматическія опоры.

Говоря объ опредѣленіи размѣровъ деревянныхъ опоръ, необходимо упомянуть объ опредѣленіи сопротивленія свай, причемъ сваи могутъ служить основаніемъ, какъ для деревянной опоры, такъ и для каменной опоры; въ послѣднемъ случаѣ существенно такъ расположить сваи, чтобъ въ зависимости отъ возможнаго неравномѣрнаго давленія опоры на основаніе, — сваи тѣмъ не менѣе были одинаково напряжены.

Опредѣленіе сопротивленія свай. Для сего предложены, какъ теоретическія, такъ и эмпирическія формулы.

При выводѣ теоретическихъ формулъ поступаютъ такъ: полезную работу, произведенную паденіемъ бабы съ извѣстной высоты, и работу, произведенную послѣ удара прохожденіемъ бабой и сваей извѣстнаго пути, равнаго погруженію сван въ грунтъ, приравниваютъ работѣ, затраченной на нагрѣваніе и сжатіе сваи и бабы, на сотрясеніе окружающаго грунта и на преодолѣніе сопротивленія грунта при прохожденіи сваей пути, равнаго величинѣ погруженія ея въ грунтъ.

Такимъ образомъ, если Q — вѣсъ бабы, l — высота ея, ω_1 — площадь сѣченія бабы, E_1 — коэффиціентъ упругости матеріала, изъ котораго сдѣлана баба, λ_1 — абсолютная величина сжатія бабы, h — высота паденія ея, q — вѣсъ сваи, l — длина ея; ω — площадь сѣченія сваи; E — коэффиціентъ упругости матеріала сваи; λ — абсолютная величина сжатія сваи; p — сопротивленіе грунта или, что тоже, сопротивленіе сваи; e — погруженіе сваи отъ удара и если A — работа, затраченная на нагрѣваніе, на сотрясеніе грунта и проч., то имѣемъ слѣдующее равенство:

$$Q \cdot h + (Q + q)\, c = A + \lambda_1 \cdot \frac{p}{2} + \lambda \cdot \frac{p}{2} + p \cdot e,$$

такъ какъ въ періодъ сжатія сжимающая сила въ началѣ сжатія равна нулю и постепенно увеличивается, достигая наибольшаго значенія p, при которомъ свая и баба начинаютъ перемѣщаться. Что же касается работы, затраченной на преодолѣніе сопротивленія грунта при погруженіи сваи на величину e, то во все время движенія, съ момента наибольшаго сжатія, т. е. съ момента начала движенія до полной остановки движенія—эта сила равна p.

Далѣе λ_1 есть сжатіе, вызванное силой, измѣняющійся отъ O до p, т. е. силой $\frac{p}{2}$; поэтому:

$$\lambda_1 = \frac{p \cdot l_1}{2 E_1 \omega_1} \quad \text{и} \quad \lambda = \frac{p \cdot l}{2 E \omega}.$$

Слѣдовательно:

$$Qh + (Q + q)\, e = A + \frac{l_1 p^2}{4 E_1 \omega_1} + \frac{l p^2}{4 E \omega} + pe, \quad . \quad . \quad . \quad (269)$$

откуда и можно будетъ найти p.

Что же касается полной, произведенной паденіемъ бабы активной работы Qh и поглощенной затѣмъ бабой и сваей съ момента взаимнаго ихъ соприкасанія до остановки движенія, то она въ свою очередь можетъ быть разбита на работу, затрачиваемую на нагрѣваніе, сжатіе и сотрясеніе грунта и на работу по преодолѣнію сопротивленія грунта и проявляющуюся въ видѣ погруженія въ грунтъ сваи съ находящейся на ней бабой.

Найдемъ выраженія этихъ двухъ работъ. Если два тѣла съ массами M и m движутся каждое со скоростью V и v, то производимая ими работа или общій запасъ живой силы:

$$\frac{MV^2 + mv^2}{2}.$$

Если оба тѣла взаимно ударились, то вслѣдъ за образованіемъ наибольшаго сжатія послѣ удара оба тѣла начинаютъ двигаться съ общею скоростью:

$$v_0 = \frac{MV + mv}{M + m},$$

и слѣдовательно, оставшійся запасъ живой силы будетъ:

$$(M + m)\frac{v_0^2}{2} = \frac{(M + m)}{2}\left(\frac{MV + mv}{M + m}\right)^2 = \frac{(MV + mv)^2}{2(M + m)}.$$

Слѣдовательно, какъ неизбѣжное слѣдствіе удара произойдетъ первая потеря живой силы въ размѣрѣ:

$$\frac{MV^2 + mv^2}{2} - \frac{(MV + mv)^2}{2(M + m)} = \frac{Mm(V - v)^2}{2(M + m)}.$$

Эта потеря израсходуется на нагрѣваніе, на сжатіе и проч. Если затѣмъ оба тѣла, двигаясь со скоростью:

$$v_0 = \frac{MV + mv}{M + m},$$

остановятся вслѣдствіе какой либо причины, т. е. v_0 обратится въ нуль, то произойдетъ и потеря оставшагося запаса живой силы:

$$\frac{(MV + mv)^2}{2(M + m)}.$$

Если M и V — масса бабы и скорость, съ которой баба ударяетъ о сваю; m и v — масса сваи и скорость сваи до удара, причемъ $v = 0$, то общая скорость, съ которой начнетъ двигаться баба и свая:

$$v_0 = \frac{MV}{M + m}.$$

Слѣдовательно, первая потеря живой силы, какъ непзбѣжное слѣдствіе удара:

$$\frac{MmV^2}{2(M + m)} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots$$

потеря оставшагося послѣ удара запаса живой силы при остановкѣ движенія бабы и сваи, т. е. когда скорость $v_0 = \frac{MV}{M + m}$, обратится въ нуль, будетъ:

$$\frac{M^2V^2}{2(M + m)} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots$$

Если Q и q — вѣсъ бабы и сваи; g — ускореніе силы тяжести; h — высота паденія бабы, то

$$M = \frac{Q}{g},\ m = \frac{q}{g},\ V = \sqrt{2gh}.$$

Слѣдовательно, общая скорость, съ которой начиуть двигаться баба и свая:

$$v_0 = \frac{MV}{M + m} = \frac{Q\sqrt{2gh}}{Q + q} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (270)$$

работа, потерянная при ударѣ:

$$\frac{MmV^2}{2(M+m)} = \frac{Q \cdot q 2gh \cdot g}{2g^2 (Q+q)} = \frac{Q \cdot qh}{(Q+q)} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (271)$$

и работа, потерянная при остановкѣ движенія бабы и сваи:

$$\frac{M^2 V^2}{2(M+m)} = \frac{Q^2 \cdot 2gh \cdot g}{g^2 2(Q+q)} = \frac{Q^2 h}{Q+q} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (272)$$

Слѣдовательно,

$$Qh = \frac{Q \cdot qh}{(Q+q)} + \frac{Q^2 h}{(Q+q)} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (273)$$

Поэтому будемъ имѣть:

$$\frac{Qqh}{(Q+q)} + \frac{Q^2 h}{(Q+q)} + (Q+q)\, e = A + \frac{l_1 p^2}{4 E_1 \omega_1} + \frac{lp^2}{4 E\omega} + pe. \quad . \quad (274)$$

а) *Формулы Вейсбаха.*

Первая часть полной работы (274), потерянная при ударѣ, затрачивается на нагрѣваніе, на сжатіе бабы и сваи, а вторая ея часть и работа $(Q + q)\, e$ — расходуется на преодолѣніе сопротивленія грунта. Слѣдовательно:

$$\frac{Q^2 h}{(Q+q)} + (Q+q)\, e = p \cdot e,$$

откуда:

$$p = \frac{Q^2 h}{(Q+q)\, e} + (Q+q) \; *) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (275)$$

Болѣе простая формула:

$$p = \frac{Q \cdot h}{e} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (276)$$

Вейсбахъ предлагаетъ еще другую формулу для опредѣленія сопротивленія сваи, пользуясь выраженіемъ полной работы Qh и принимая во вниманіе сжатіе сваи, а именно:

$$p = -\frac{\omega E e}{l} + \sqrt{\frac{2Qh\,\omega E}{l} + \left(\frac{\omega E e}{l}\right)^2} \; **) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (277)$$

Формула эта получается изъ равенства (269), пренебрегая работой $(Q+q)\, e$ и работой на нагрѣваніе и на сжатіе бабы и предполагая сверхъ того, что сжатіе вызывается не силой $\frac{p}{2}$, а силой p (что едвали справедливо). Тогда изъ (269) имѣемъ

$$Qh = \frac{p^2 l}{2E\omega} + pe,$$

откуда:

$$p = -\frac{\omega E e}{l} + \sqrt{\frac{2Qh\,\omega E}{l} + \left(\frac{\omega E e}{l}\right)^2}.$$

*) Weissbach. Lehrbuch der Ing. u. Maschin.-Mech., стр. 592.

**) Brennecke. Der Grundbau, стр. 144. Замѣтимъ, что въ указанномъ руководствѣ подъ e подразумѣвается погруженіе сваи при 1 ударѣ; вѣроятно нужно понимать при одномъ ударѣ, а не при первомъ ударѣ.

Замѣтимъ, что если предполагать, что сжатіе λ вызывается постоянной силой p, то работа, потраченная на сжатіе:

$$\lambda . p = \frac{pl}{E\omega} . p = \frac{p^2 l}{E\omega}, \text{ а не } \frac{p^2 l}{2E\omega}$$

(см. далѣе формулу Ossent'a (279)).

Формула эта была провѣрена при сооруженіи Берлинской городской жел. дороги, гдѣ приходилось забивать сваи въ рыхлый песокъ. Оказалось, что сваи длиною 8—9 м., забитыя въ грунтъ на всю длину, переставали давать осадку лишь послѣ 10—15 кратной нагрузки ихъ, нечисленнымъ по выше приведенной формулѣ грузомъ p. Ни одна изъ свай не дала осадки болѣе 23 мм. при продолжительности нагрузки болѣе 60—80 часовъ. Что же касается свай, забитыхъ лишь на длину 3 — 4 м., то всѣ давали осадку при нагрузкѣ ихъ грузомъ p, исчисленнымъ по предыдущей формулѣ. Такимъ образомъ для послѣдняго случая формула оказалась непригодной.

б) По Redtenbacher'y *):

$$p = -\frac{\omega Ee}{l} + \sqrt{\frac{2Q^2 h\,\omega E}{l(Q+q)} + \left(\frac{\omega Ee}{l}\right)^2} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (278)$$

Эта формула получается изъ (269) или изъ (274), откинувъ часть активной работы, затраченной на деформацію, пренебрегая работой $(Q + q)\,e$, работой на нагрѣваніе и на сжатіе бабы и предполагая, что сжатіе вызывается не силой $\frac{p}{2}$, а силой p. Тогда

$$\frac{Q^2 h}{(Q+q)} = \frac{p^2 l}{2E\omega} + pe,$$

откуда:

$$p = -\frac{\omega Ee}{l} + \sqrt{\frac{2Q^2 h\,\omega E}{l(Q+q)} + \left(\frac{\omega Ee}{l}\right)^2}.$$

Едва ли основательно, пользуясь тою долею активной работы, которая затрачивается только на погруженіе сваи, предполагать, что эта часть активной работы расходуется между прочнмъ и на сжатіе сваи. Формула (277) по видимому болѣе справедлива.

По опытамъ, сдѣланнымъ Haagsma, формула Redtenbacher'a лучше удовлетворяетъ дѣйствительности, чѣмъ формула Brix'a (282).

в) По Ossent'y *) исправленная формула Redtenbacher'a для свай, забитыхъ безъ подбабка:

$$p = \frac{1}{\delta}\left(-\frac{e}{2} + \sqrt{\frac{\delta h Q}{1+n} + \frac{e^2}{4}}\right). \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (279)$$

Для свай съ подбабкомъ:

$$p = \frac{1}{\delta_1}\left(-\frac{e}{2} + \sqrt{\frac{\delta_1 h Q}{1+n_1} + \frac{e^2}{4}}\right), \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (280)$$

гдѣ p, h, e, Q имѣютъ прежнія значенія; $\delta = \frac{l}{\omega E}$, $\delta_1 = \frac{l+l_1}{\omega . E}$, причемъ l и l_1— длины сваи и подбабка, ω—площадь сѣченія сваи и подбабка, E—коэффиціентъ упругости дерева; $n = \frac{q}{Q}$, $n_1 = \frac{q+q_1}{Q}$, гдѣ q и q_1—вѣсъ сваи и подбабка.

*) Brennecke. Ergänzungen zum Grundbau, стр. 61.

Объ формулы получаются изъ (269) или изъ (279) такъ же, какъ и формула Redtenbacher'a, съ тѣмъ лишь отличіемъ, что работа на сжатіе сваи, вызываемая силой p, будетъ:

$$\lambda \cdot p = \frac{p^2 l}{E\omega}, \text{ а не } \frac{p^2 l}{2\,E\omega};$$

тогда

$$\frac{Q^2 h}{(Q+q)} = \frac{p^2 l}{E\omega} + pe,$$

откуда:

$$p = -\frac{E\omega e}{2l} + \sqrt{\frac{E^2\omega^2 e^2}{4l^2} + \frac{Q^2 h}{(Q+q)} \cdot \frac{E\omega}{l}} =$$

$$= \frac{E\omega}{l}\left(-\frac{e}{2} + \sqrt{\frac{Q^2 h}{Q+q} \cdot \frac{l}{E\omega} + \frac{e^2}{4}}\right) = \frac{1}{\delta}\left(-\frac{e}{2} + \sqrt{\frac{Qh\delta}{1+n} + \frac{e^2}{4}}\right).$$

г) По Rankine *):

$$p = -\frac{2E\omega e}{l} + \sqrt{\frac{4E^2\omega^2 e^2}{l^2} + \frac{4E\omega\, Qh}{l}} \quad \ldots \ldots \quad (281)$$

Эта формула получится изъ (269), пренебрегая активной работой $(Q+q)\,e$ и пассивной работой на нагрѣваніе и на сжатіе бабы, причемъ сжатіе сваи предположено подъ дѣйствіемъ силы $\frac{p}{2}$, т. е. $\lambda \cdot \frac{p}{2} = \frac{p_1 l}{4E\omega}$. Дѣйствительно имѣемъ:

$$Qh = \frac{lp^2}{4E\omega} + pe,$$

откуда:

$$p = -\frac{2E\omega e}{l} + \sqrt{\frac{4E^2\omega^2 e^2}{l^2} + \frac{4E\omega\, Qh}{l}}.$$

Эта формула повидимому болѣе справедлива, чѣмъ формулы Weissbach'a, Redtenbacher'a и Ossent'a, такъ какъ сила, производящая сжатіе сваи, предположена измѣняющейся отъ O до p и взято правильное выраженіе работы:

$$\lambda \frac{p}{2} = \frac{p^2 l}{4E\omega}.$$

По Rankine сваи елѣдуетъ забивать до тѣхъ поръ, пока исчисленное по предыдущей формулѣ значеніе p составитъ отъ 55 до 81 пуд. на кв. дм. сѣченія сваи; а такъ какъ въ дѣйствительности нагрузка на сваю измѣняется отъ 5,5 до 27,0 пуд. на кв. дм.—то отсюда слѣдуетъ, что для указанныхъ предѣловъ коэффиціентъ запаса слѣдуетъ измѣнять отъ 10 до 3.

д) По Brix'y:

$$p = \frac{hQ^2 q}{e\,(Q+q)^2} \quad \ldots \ldots \ldots \quad (282)$$

Эта формула получится такъ же, какъ и формула Вейсбаха (275), изъ выраженія активной работы, затраченной на углубленіе сваи, пренебрегая сверхъ того активной работой $(Q+q)\,e$ и замѣняя выраженіе работы $\left(\frac{Q^2 h}{Q+q}\right)$, поглощенной при остановкѣ движенія бабы и сваи, выраженіемъ работы, поглощен-

*) Ренкинъ. Руководство для инженеровъ-строителей, стр. 650.

ной при остановкѣ движенія одной только сваи, что не справедливо. Въ такомъ случаѣ поглощенная работа:

$$q \cdot \frac{v_0^2}{2g} = \frac{qQ^2 2gh}{2g(Q+q)^2} = \frac{qQ^2 h}{(Q+q)^2} \quad \text{и} \quad \frac{qQ^2 h}{(Q+q)^2} = pe,$$

откуда:

$$p = \frac{hQ^2 q}{e\,(Q+q)^2}.$$

При подбабкѣ вѣсомъ q_1—сопротивленіе сван:

$$p = \frac{hQ^2 q \,.\, q_1^2}{e\,(Q+q)^2\,(q+q_1)^2} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (283)$$

Формула эта даетъ очень большое уменьшеніе сопротивленій сваи.

Замѣтимъ еще, что во многихъ учебникахъ, гдѣ приводится эта формула, e обозначаетъ погруженіе сваи при *первомъ* ударѣ, что едва ли основательно.

Формулѣ этой трудно дать какое-либо теоретическое объясненіе. Изъ нея слѣдуетъ, между прочимъ, что наиболѣе выгодная длина и вѣсъ подбабка будетъ ∞, между тѣмъ, по (282) наиболѣе выгодный вѣсъ сваи: $q = Q$. Затѣмъ, при $q_1 = 0$, получается $p = 0$ — что не ясно.

Многочисленные опыты показываютъ съ другой стороны, что въ огромномъ большинствѣ случаевъ при данномъ Qh свая безъ подбабка и съ подбабкомъ даютъ почти одинаковую осадку. Обыкновенно считаютъ, что отъ примѣненія подбабка дѣйствіе удара на сваю уменьшается отъ 15% до 25%. По видимому въ данномъ случаѣ можно было бы примѣнять формулу (282) съ замѣной q чрезъ $q+q_1$. Такъ по крайней мѣрѣ поступаетъ Ossent (срав. формулы (279) и (280)).

е) По Résal'ю *), если предположить, что свая проходитъ черезъ плывунъ и конецъ ея упирается въ скалу или въ весьма твердый грунтъ съ отказомъ, равнымъ почти нулю, то свая находится въ условіяхъ стойки, подвергающейся продольному изгибу, а потому, если площадь сѣченія ω выражена въ квадр. сантим., а длина l—въ метрахъ, то допускаемое напряженіе:

$$R_m = \frac{R}{1 + \frac{20l^2}{\omega}}, \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (284)$$

гдѣ: R — для дуба около 80 кил. на квадр. сантиметръ.
для сосны » 70 » » » . »
для ели и пихты 60 » » » »

ж) Если съ другой стороны предположить, что грунтъ, въ который забиты сваи, однороденъ по всей длинѣ сваи, сжимаемъ и средней плотности, то по эмпирическому правилу голландскихъ инженеровъ допускаемое напряженіе:

$$R_m = \frac{Q}{\omega} \cdot \frac{h}{6\,.\,e} \cdot \frac{Q}{Q+q} \text{ и т. д.}$$

(что есть, очевидно, вышеприведенная теоретическая формула: $pe = \frac{Q^2 h}{Q+q} + (Q+q)\,e$, въ которой откинуть послѣдній членъ и взятъ коэффиціентъ запаса $m = 6$, такъ какъ $R_m \,.\, \omega = p$).

*) Résal. Emplacements, debouchés, fondations, ponts en maçonnerie.

При такихъ же условіяхъ опредѣляютъ иногда безопасную нагрузку на сваю въ зависимости отъ бокового тренія. Такъ, напримѣръ, въ грунтахъ средней плотности допускаютъ отъ 800 до 600 кил. на квадр. метръ боковой поверхности сваи.

По Hartzig'у въ глинистомъ грунтѣ сопротивленіе отъ бокового тренія составляетъ около 6000 кил. на кв. метръ (при коэффиціентѣ запаса 1) и въ такомъ случаѣ:

$$p \text{ кил.} = -650\,e + \sqrt{422500\,e^2 + 1300\,h\,.\,Q} \ldots\ldots$$

гдѣ h и e — въ мм.; Q — вѣсъ бабы въ кил.

з) По Perronet сваю можно считать безусловно неподвижной лишь въ томъ случаѣ, если при нѣсколькихъ залогахъ, по 25—30 ударовъ въ каждомъ, погруженіе свай послѣ каждаго залога составляло не болѣе 4—6 мм.; при этомъ вѣсъ бабы принимается въ 300 кил., а высота паденія 1,5 м. По Rankine для удовлетворенія тому же условію необходимо, чтобы при 30 ударахъ 25 пудовой бабой, падающей съ высоты 5 ф., погруженіе составляло не болѣе $^1/_5$ дюйма. Оба требованія одинаковы за исключеніемъ вѣса бабы. По Perronet діаметръ сваи находится въ зависимости отъ длины ея и можетъ быть опредѣленъ по слѣдующей формулѣ:

$$d \text{ мет.} = 0{,}24 \text{ мет.} + (L - 4{,}00)\,0{,}015,$$

гдѣ d — діаметръ свай, L — длина ея въ метрахъ.

и) Свая діаметромъ 25 сант. нагружается обыкновенно не болѣе какъ 4 тоннами, а при діаметрѣ въ 35 сант. — не болѣе какъ 7,5 тоннами. Крайніе же предѣлы принимаются соотвѣтственно въ 25 тоннъ и 50 тоннъ.

і) Американскіе инженеры руководствуются эмпирическими формулами, съ видоизмѣненіемъ для сего простой формулы (276) такъ, чтобы при весьма маломъ погруженіи e — сопротивленіе сваи не увеличивалось до безконечности, что несовмѣстно съ дѣйствительностью, такъ какъ свая во всякомъ случаѣ не можетъ выдержать болѣе того, что соотвѣтствуетъ временному сопротивленію при раздробленіи. Такъ, имѣются слѣдующія формулы *) при коэффиціентѣ запаса $m = 1$.

Wellington'a:

$$p = \frac{Qh}{e + 1 \text{ дм.}} \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (285)$$

Trautwine'a:

$$p = \frac{50\,Q\sqrt[3]{h}}{e + 1 \text{ дм.}}, \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (286)$$

гдѣ h — выражена въ футахъ, а величина погруженія въ дюймахъ.

Crowell'a для статической нагрузки:

$$p = \frac{Qh}{e + 0{,}1 + \frac{1}{2}\sqrt{e \times \frac{40.000}{Qh}}} \ldots\ldots\ldots \quad (287)$$

Crowell'я для динамической нагрузки:

$$p = \frac{Qh}{e + 0{,}1 + \frac{1}{2}\sqrt{e\,.\,\frac{40.000}{Qh}} + n'} \ldots\ldots \quad (288)$$

*) Transactions of the american society of Civ. Eng. 1892 г., стр. 105 и 139.

при чемъ n' измѣняется отъ 0,1 до 1 при измѣненіи $\frac{1}{2}\sqrt{e.\frac{40.000}{Qh}}$ отъ 0,175 до 0,900. При исчисленіи радикала: $\frac{1}{2}\sqrt{e.\frac{40.000}{Qh}}$ — работу Qh необходимо выразить въ фунтофутахъ, такъ какъ $\sqrt{e.\frac{40.000}{Qh}}$ выражаетъ погруженіе сваи отъ удара, производящаго работу въ 40.000 фунтофутовъ.

Обращаясь къ сравнительной оцѣнкѣ приведенныхъ формулъ, замѣтимъ, что формулы (275) и (276) примѣнимы при e — не особенно малыхъ, т. е. не менѣе $^1/_4$ д. или 6 мм.; въ противномъ случаѣ p — выходитъ несоразмѣрно великимъ. При малыхъ e — правильнѣе опредѣлять p по формуламъ, гдѣ взято во вниманіе сжатіе, какъ напр. по формулѣ (281).

Изъ всей группы теоретическихъ формулъ наиболѣе достовѣрны, повидимому, формулы (275) и (281)—такъ какъ по первой исчисляется сопротивленіе сваи въ зависимости отъ той только части активной работы, которая тратится собственно на погруженіе сваи, а вторая опредѣляетъ сопротивленіе сваи по полной активной работѣ, но съ принятіемъ во вниманіе сжатія сваи. Еслибъ сверхъ того было принято во вниманіе сжатіе бабы, грунта и нагрѣваніе, т. е. еслибъ во второмъ случаѣ p было опредѣлено по формулѣ (269), то оба значенія p получились бы одинаковыми. Въ данномъ же случаѣ при e — не особенно малыхъ p, опредѣленное по формулѣ (281), будетъ всегда болѣе p по формулѣ (275)—хотя и будетъ незначительно отличаться.

Помимо сего формула (281) для свай одного и того же вѣса, по разной длины и діаметра и при одинаковыхъ прочихъ условіяхъ, будетъ давать различныя значенія, между тѣмъ формула (275) не покажетъ этого различія.

При прочихъ одинаковыхъ условіяхъ p будетъ тѣмъ больше, чѣмъ свая толще и короче.

Въ нижеслѣдующей таблицѣ помѣщены результаты вычисленій по всѣмъ формуламъ для трехъ случаевъ. (Стр. 884).

Разсмотрѣніе этой таблицы показываетъ, что формула (275) и въ особенности (276) при весьма малыхъ e даютъ несоразмѣрно большія значенія для сопротивленія сваи, обращающіяся въ ∞ при $e = 0$. Формулы американскихъ инженеровъ (285) и (287) отличающіяся отъ (276) только тѣмъ, что наблюдаемое погруженіе сваи увеличивается (по Wellington'y на 1 д. или по Crowell'ю на нѣкоторую величину большую или меньшую 1 дюйма)—даютъ очевидно значительно меньшее значеніе для p и можетъ быть слишкомъ осторожны. Группа формулъ, при выводѣ которыхъ взято въ расчетъ и сжатіе сваи (277), (278), (279) и (281) занимаютъ среднее между ними положеніе и по видимому наиболѣе достовѣрны, такъ какъ обнимаютъ по возможности всѣ явленія, сопровождающія ударъ бабы о сваю. Какъ сказано выше, изъ этихъ формулъ заслуживаетъ предпочтеніе формула (281). Въ то время какъ по формуламъ (275) и (276)—сопротивленіе сваи увеличивается обратно пропорціонально погруженію—по формуламъ послѣдней группы сопротивленіе свай увеличивается въ значительно меньшей степени и приближается при $e = 0$ къ нѣкоторому постоянному предѣлу.

Кромѣ того, группа формулъ (277)—(281) имѣетъ еще то преимущество, что здѣсь принимаются во вниманіе размѣры сваи; такъ, сваи различныхъ линейныхъ размѣровъ, но одинаковаго вѣса (срав. 3-й рядъ съ 5-мъ и 4-ый съ 6-мъ) — при всѣхъ прочихъ одинаковыхъ условіяхъ представляютъ по этимъ формуламъ различныя сопротивленія, между тѣмъ остальныя группы формулъ даютъ

Данныя.	Weissbach'a.			Redlenbacher'a.	Ossent'a.	Rankine.	Brix'a.	Wellington'a.	Trautwine'a.	Crowell'я.
	275	276	277	278	279	281	282	285	286	287
	пуд.	пуд.	пуд.	пуд.	пуд.	пуд.	пуд.	пуд.	пуд.	пуд.
$Q=60$ пуд.; $q=40$ пуд.; $h=60$ д.; $e=\frac{1}{2}$ д.; $l=504$ д.; $\omega=135$ кв. д.; $E=50.000\frac{\text{пуд.}}{\text{дм.}^2}$	4.420	7.200	5.280	3.440	2.980	5.900	1.728	2.400	3.420	2.280
$Q=60$ пуд.; $q=40$ пуд.; $h=60$ д.; $e=\frac{1}{10}$ д; $l=504$ д; $\omega=135$ кв. д.; $E=50.000\frac{\text{пуд.}}{\text{дм.}^2}$	21.700	36.000	8.542	6.363	4.190	11.428	8.640	3.279	4.664	3.109
$Q=40$ пуд.; $q=20$ пуд.; $h=60$ д.; $e=\frac{1}{2}$ д.; $l=546$ д.; $\omega=64$ кв. д.; $E=50.000\frac{\text{пуд.}}{\text{дм.}^2}$	3.260	4.800	3.129	2.229	1.930	3.658	1.067	1.600	2.280	1.727
$Q=40$ пуд.; $q=20$ пуд.; $h=60$ д.; $e=\frac{1}{10}$ д.; $l=546$ д.; $\omega=64$ кв. д.; $E=50.000\frac{\text{пуд.}}{\text{дм.}^2}$	16.060	24.000	4.750	3.784	2.532	6.420	5.335	2.182	3.109	2.424
$Q=40$ пуд.; $q=20$ пуд.; $h=60$ д.; $e=\frac{1}{2}$ д.; $l=252$ д.; $\omega=135$ кв. д.; $E=50.000\frac{\text{пуд.}}{\text{дм.}^2}$	3.260	4.800	4.150	2.880	2.665	4.420	1.067	1.600	2.280	1.727
$Q=40$ пуд.; $q=20$ пуд.; $h=60$ д.; $e=\frac{1}{10}$ д.; $l=252$ д.; $\omega=135$ кв. д.; $E=50.000\frac{\text{пуд.}}{\text{дм.}^2}$	16.060	24.000	8.973	6.959	4.395	11.550	5.335	2.182	3.109	2.424

одинаковыя сопротивленія для свай, что несправедливо, такъ какъ съ увеличеніемъ длины увеличивается работа иа сжатіе сваи. Обратно, двѣ сваи одинаковаго сѣченія, но разной длины (срав. 1-й рядъ съ 5-мъ и 2-й съ 6-мъ), забитыя при одинаковыхъ отказѣ и высотѣ паденія—бабами различнаго вѣса, могутъ тѣмъ не менѣе, согласно фор. 277—281 представлять почти одинаковыя сопротивленія, между тѣмъ какъ, примѣняя группу болѣе простыхъ формулъ,—сопротивленія ихъ оказываются весьма различными. Объясняется это тѣмъ, что болѣе длинная свая прп данномъ напряженіи сжимается на большую величину $\left[p = R \cdot \omega = E\omega\frac{\lambda}{l}\right]$, а потому увеличивается и затрачиваемая на сжатіе ея работа: $\lambda \cdot \frac{p}{2}$. Слѣдовательпо, для того, чтобъ часть работы, расходуемая собственно на погруженіе сваи, сохранилась при короткой и длинной сваѣ одинаковою, необходимо чтобы общая работа, получаемая отъ паденія бабы была для длинной сваи болѣе, чѣмъ для короткой сваи.

Коэффиціентъ запаса. Высказавшись за предпочтеніе формулы (281) или для упрощенія расчета за формулу (275) при e не менѣе $^1/_4$ д.—остается установить значеніе коэффиціента запаса m.

Мнѣнія по этому вопросу крайне разнообразны. Такъ, напр., въ случаѣ примѣненія формулы (276) — коэффиціентъ запаса измѣняется отъ $m = \frac{1}{25}$ до $m = \frac{1}{100}$. По Sganzin'у, если свая погрузилась па 12 сант. отъ 10 ударовъ бабой вѣсомъ 625 кпл., поднимаемой машиннымъ копромъ на высоту 3,5 м. или же отъ 30 ударовъ той же бабой, поднимаемой на ручномъ копрѣ на высоту 1,2 м.—то на сваю можетъ быть допущена безопасная нагрузка въ 26,5 тоннъ. Если же вѣсъ бабы составлялъ 400 кпл., то при тѣхъ же условіяхъ безопасная нагрузка: 17,5 тоннъ, при чемъ въ обоихъ случаяхъ получается коэффиціентъ запаса: $m = 7$. При примѣненіи формулы (275) — коэффиціентъ запаса принимается отъ $m = 8$ для машиннаго копра до $m = 20$ для ручного съ тѣмъ, чтобъ въ послѣднемъ залогѣ число ударовъ было не менѣе 10 для машиннаго копра и не менѣе 25 для ручного. (Тех. условія Средне-Сибирской ж. д.). По другимъ даннымъ, примѣняя эту же формулу, довольствуются коэффиціентами: $m = 4$ для машиннаго и $m = 8$ для ручного. Для формулы (282) коэффиціентъ запаса $m = 4$, а для формулъ (285) и (287)—$m = 6$; для формулы (286) коэффиціентъ запаса примѣняется отъ $^1/_2$ до $^1/_{12}$.

По Rankine, при пользованіи его формулой (281), коэффиціентъ запаса долженъ быть примѣненъ въ предѣлахъ отъ $m = 10$ до $m = 3$, если исчисленная по его формулѣ предѣльная нагрузка будетъ составлять отъ 55 до 81 пуд. на кв. дюймъ.

Вообще коэффиціентъ запаса долженъ быть тѣмъ больше, чѣмъ меньше высота паденія *) бабы и чѣмъ больше упругость грунта, а при примѣненіи фор. (276, 285, 287) и чѣмъ тяжелѣе свая.

Чтобы оріентироваться въ этой массѣ разнообразныхъ данныхъ, слѣдовало бы заблаговременно удостовѣриться, насколько каждая изъ вышеприведенныхъ формулъ отвѣчаетъ дѣйствительности, т. е. слѣдовало бы забить сваи, опредѣлить по послѣднему отказу предѣльное сопротивленіе по каждой изъ формулъ и затѣмъ нагружать сваю статическимъ грузомъ до тѣхъ поръ, пока не обнаружится осадка, что и укажетъ дѣйствительное предѣльное сопротивленіе сваи. Trautwine'омъ **) были собраны подобныя данныя и сдѣлано сравненіе съ предѣльными сопротивленіями, опрѣдѣленными лишь по формуламъ (285), (286) и (287). Оказалось, что въ 46

*) Въ отношеніи назначенія соотвѣтствующей высоты паденія бабы полезно руководствоваться слѣдующей таблицей, примѣнявшейся на Средне-Сибирской ж. д.

При вѣсѣ бабы. / При длинѣ сваи.	25 п.		30 п.		35 п.		40 п.		45 п.		50 п.		55 п.		60 п.		65 п.		70 п.	
	Въ вершкахъ.																			
	6	7	6	7	6	7	6	7	6	7	6	7	6	7	6	7	6	7	6	7
	Высота паденія бабы въ футахъ.																			
3 саж. . . .	9,5	12,5	8	10,5	6,75	9	6	8	5,25	7	4,07	6,5	4,25	5,67	4	5,25	3,5	5	3,5	4,5
3,5 „ . . .	11	14,5	9	12	8	10,5	7	9	6	8	5,5	7,5	5	6,67	4,5	6	4,5	5,67	4	5,25
4 „ . . .	12,5	16,75	10,5	19	9	12	8	10,5	7	9,25	6,25	8,5	5,5	7,5	5,25	7	5	6,5	4,5	6
4,5 „ . . .	14	19	11,75	15,67	10	13,5	9	11,75	8	10,5	7	9,5	6,5	8,5	6	8	5,5	7,25	5	6,75
5 „ . . .	15,67	21	13	17,5	11,25	15	10	13	8,75	11,5	8	10,5	7	9,5	6,5	8,75	6	8	5,5	7,5

**) Transactions of the Amer. Soc. of Civ. Eng., 1892, стр. 148.

случаяхъ предѣльное сопротивленіе, исчисленное по формулѣ Wellington'a (285)—составляетъ въ среднемъ 0,48 отъ дѣйствительно наблюдаемаго предѣльнаго сопротивленія. Тоже для формулы Trautwine'a (286) — 0,64; для формулы Crowell'я (287)—0,41. Но при этомъ Trautwine замѣчаетъ, что для очень большого числа случаевъ дѣйствительная предѣльная нагрузка была приравнена усилію, затраченному на выдергиваніе сваи—это усиліе, какъ извѣстно, всегда менѣе того, которое необходимо, чтобы заставить забитую сваю дать дальнѣйшую осадку. Кромѣ того извѣстно также, что погруженіе свай, опредѣленное при послѣднемъ ударѣ, послѣ цѣлаго ряда ударовъ—всегда болѣе того, которое обнаруживается, если оставить сваю передъ послѣднимъ ударомъ въ покоѣ въ продолженіи сутокъ или болѣе. Такъ, Nicholson приводитъ по этому поводу слѣдующіе результаты наблюденій:

Вѣсъ бабы въ англійскихъ фунтахъ.	Высота паденія въ футахъ.	Углубленіе при послѣднемъ ударѣ въ дюймахъ.	Промежутокъ времени до слѣдующей серіи ударовъ.	Углубленіе въ дюймахъ (въ числителѣ) и высота паденій бабы въ футахъ (въ знаменателѣ) при второй серіи ударовъ.
2.750	27	7,5	48 час.	$\frac{0}{17}, \frac{1}{17}, \frac{1}{17}, \frac{1}{17}, \frac{1}{17}, \frac{1}{17}, \frac{1}{17}$.
3.000	35	6	24 „	$\frac{1}{25}, \frac{1}{25}, \frac{3}{25}, \frac{4}{25}, \frac{6}{25}, \frac{8}{25}, \frac{8}{25}, \frac{8}{25}, \frac{8}{25}, \frac{7}{25}, \frac{7}{25}$.
3.000	20	6	12 „	$\frac{1,5}{15}, \frac{2,5}{20}, \frac{2,5}{20}, \frac{3}{20}, \frac{3,5}{20}, \frac{3,5}{20}, \frac{5}{25}, \frac{5}{25}, \frac{3,5}{20}, \frac{3,5}{20}$.
3.000	18	7	1 „	$\frac{6}{35}, \frac{3,5}{30}, \frac{3,5}{25}, \frac{6}{22}, \frac{6}{22}, \frac{6}{22}$.
3.350	18	7	48 „	$\frac{1,5}{20}, \frac{2,5}{20}, \frac{2,5}{20}$.

Эти двѣ причины несомнѣнно повліяли на то, что дѣйствительная предѣльная нагрузка оказалась всего около 0,50 отъ исчисленной по тремъ вышеприведеннымъ эмпирическимъ формуламъ. Въ нѣкоторыхъ случаяхъ этотъ коэффиціентъ составлялъ 1,5—2,4, а въ другихъ—0,02. Такимъ образомъ изъ собранныхъ Nicholson'омъ данныхъ, къ сожалѣнію, нельзя вывести заключенія, насколько каждая изъ формулъ отвѣчаетъ дѣйствительности.

Остается поэтому руководствоваться другими соображеніями и данными. Замѣтимъ во первыхъ, что когда опредѣляютъ коэффиціентъ запаса въ отношеніи *устойчивости* какого-либо сооруженія—то противъ мгновеннаго равновѣсія довольствуются обыкновенно коэффиціентомъ $m = 1,5$ до $m = 2,0$; тѣмъ же значеніемъ коэффиціента довольствуются и при опредѣленіи глубины заложенія основанія въ зависимости отъ вѣроятнаго размыва и проч. Если же опредѣляютъ коэффиціентъ запаса въ отношеніи *прочности* матеріаловъ, то этотъ коэффиціентъ составляетъ не менѣе 4—5 и повышается для нѣкоторыхъ матеріаловъ до 10.

Коэффиціентъ запаса для сваи относится скорѣе ко второй группѣ и практикой у насъ установлено, что въ случаѣ примѣненія формулы (275), можно ограничиться, при малыхъ погруженіяхъ свай, коэффиціентомъ запаса $m = 4$, хотя при сооруженіи нѣкоторыхъ дорогъ, какъ напр. Средне-Сибирской, принято было $m = 8$ для машиннаго и $m = 20$ для ручного копра. Благодаря крайнему разнообразію результатовъ, получаемыхъ для предѣльнаго сопротивленія свай, исчисляемаго по различнымъ формуламъ, необходимо и для каждой формулы устапо-

вить соотвѣтственные коэффиціенты запаса *). Какъ уже сказано, формула Rankine (281) съ теоретической точки зрѣнія наиболѣе правильная; Rankine предлагаетъ продолжать забивку свай до тѣхъ поръ, чтобъ при исчисляемой по его формулѣ предѣльной нагрузкѣ p, напряженіе на кв. дюймъ сѣченія сваи: $\pi = \frac{p}{\omega}$ была въ границахъ отъ 55 до 81,0 $\frac{\text{пуд.}}{\text{дм.}^2}$, съ соотвѣтственными допускаемыми напряженіями отъ $\frac{55}{10} = 5{,}5$ $\frac{\text{пуд.}}{\text{дм.}^2}$ и $\frac{81{,}0}{3} = 27$ — что не преувеличено. Въ виду сего казалось бы, что примѣняя формулу (281), коэффиціентъ запаса m слѣдуетъ исчислять по формулѣ:

$$m = 10 - \left(\frac{10-3}{81-55}\right)\left(\frac{p}{\omega} - 55\right) = 10 - 0{,}2692\left(\frac{p}{\omega} - 55\right), \quad \ldots (289)$$

гдѣ p — исчисленная по формулѣ Rankine предѣльная нагрузка въ пудахъ на сваю, а — ω — площадь сѣченія сваи въ кв. дюйм.

Такъ, напр., при забивкѣ свай подъ устой Троицкаго моста въ Петербургѣ:
$Q = 1000$ кил. $= 61$ пуд.; $h = 3$ м. $= 9{,}84$ ф. $= 118$ д.; $\omega = 99500$ кв. мм. $= 154$ кв. д.; $e = 11$ мм. $= 0{,}42$ д.; длина сосновой 8 вершковой сваи: $l = 6$ с. $= 504$ д.; вѣсъ ея — 183 кил. $= 50{,}8$ пуд.; длина дубоваго подбабка: $l_1 = 3$ с. $= 252$ д.; вѣсъ его—700 кил. $= 43$ пуд.

Предѣльная нагрузка на сваю:

$$p = -\frac{2E\omega e}{l + l_1} + \sqrt{\left(\frac{4E^2\omega^2e^2}{(l+l_1)^2} + \frac{4E\omega Qh}{l+l_1}\right)} =$$

$$= -8759{,}3 + 19234 = 10474{,}7 \text{ пуд.}$$

Напряженіе на кв. дюймъ сѣченія:

$$\pi = \frac{p}{\omega} = \frac{10474{,}7}{154} = 68\ \frac{\text{пуд.}}{\text{дм.}^2}.$$

Слѣдовательно коэффиціентъ запаса:

$$m = 10 - 0{,}2692 \times 13 = 10 - 3{,}5 = 6{,}5$$

и допускаемая нагрузка на сваю:

$$p_1 = \frac{10474{,}7}{m} = \frac{10474{,}7}{6{,}5} = 1611{,}5 \text{ пуд.}$$

Такъ какъ коэффиціентъ упругости дуба не 50.000 $\frac{\text{пуд.}}{\text{дм.}^2}$, а 63.500 $\frac{\text{пуд.}}{\text{дм.}^2}$, то p, а слѣдовательно и p_1 могутъ быть взяты болѣе. Въ виду того, что длина подбабка составляетъ половину длины сваи, то правильнѣе было бы взять за общій коэффиціентъ упругости:

$$E = \frac{1 \times 50.000 + \frac{1}{2} \times 63.500}{1 + \frac{1}{2}} = 54.500\ \frac{\text{пуд.}}{\text{дм.}^2},$$

и тогда p составило бы:

$$p = -9547{,}6 + 20268 = 10720{,}7 \text{ пуд.};$$

$$\pi = \frac{p}{\omega} = \frac{10720{,}4}{154} = 69{,}61\ \frac{\text{пуд.}}{\text{дм.}^2}$$

$$m = 10 - 0{,}2692 \times 14{,}61 = 10 - 3{,}93 = 6{,}07;$$

$$p_1 = \frac{10720{,}4}{6{,}07} = 1766 \text{ пуд.}$$

*) Было бы полезно при свайныхъ работахъ производить опытныя предѣльныя нагрузки и накоплять такимъ образомъ матеріалъ для правильнаго назначенія коэффиціента запаса для разныхъ формулъ.

По формулѣ (275):

$$p = \frac{Q^2 h}{(Q + q + q_1)\, e} + (Q + q + q_1) = 6745 + 155 = 6900$$

При коэффиціентѣ запаса $m = 4$ допускаемая нагрузка на сваю:

$$p_1 = \frac{6900}{4} = 1725 \text{ пуд.}$$

Въ заключеніе приводимъ нѣкоторыя данныя о нагрузкахъ свай въ существующихъ сооруженіяхъ. (По Brennecke. Der Grundbau).

Въ мостѣ близъ Neuilly сваи діамстромъ 31 сант. нагружены 52.800 кил.; сваи забиты въ гравій и опираются на скалу.

Въ Орлеанскомъ мосту сваи нагружены 52.000 кил. Одинъ быкъ осѣлъ на 0,26 метр.

Въ мостѣ близъ Tours (разрушился)—76.900 кил.

Въ мостѣ чрезъ р. Вислу близъ Грауденца—39.750 кил.

Въ построенномъ въ недавнее время во Франціи арочномъ каменномъ мосту Bonniceau (Sleinerne Brücken. Forlschritte der Ingen. Wissens, 1899) основаніемъ опоръ служатъ 8 вер. свай, забитыя въ песокъ-плывунъ. Среднее давленіе на грунтъ 3,5 кил. на кв. сант., а нагрузка на сваю—33.000 кил.

Расположеніе свай подъ подошвой каменной опоры. Въ зависимости отъ рода грунта грузъ отъ опоры передается исключительно на сван или же на всю площадь основанія, уплотненнаго сваями. Въ обоихъ случаяхъ сваи должны быть такъ расположены, чтобы при возможномъ неравномѣрномъ давленіи на подошву—сван или уплотненный ими грунтъ, тѣмъ не менѣе были равномѣрно напряжены. Если давленіе на подошву равномѣрное, то очевидно и сваи должны быть размѣщены въ совершенно однородномъ порядкѣ. Задача усложняется если имѣетъ мѣсто неравномѣрпос давленіе па подошву, вызванное напр. неодинаковой вертикальной нагрузкой; затруднительность усугубляется ще тѣмъ, что при этомъ является необходимымъ опредѣлить опорныя давленія, испытывасмыя нѣсколькими опорными точками, поддерживающими данное твердое дѣло неодинаковой высоты, плотности и проч.

Что касается вопроса объ опредѣлсніи вліянія неравиомѣрнаго давленія на подошву, то замѣтимъ, что:

1) если вообще сжимающая сосредоточенная сила приложена въ ц. т. верхнаго плоскаго сѣченія однороднаго тѣла, или другими словами въ центрѣ фигуры сѣченія,—то вообще принимаютъ, что имѣетъ мѣсто равномѣрное сжатіе;

2) если сжимающая сила приложена внѣ ц. т. или что тоже внѣ центра фигуры, то нрн остальныхъ вышеуказанныхъ условіяхъ происходитъ неравномѣрное сжатіе и эксцентриситетъ измѣряется разстояніемъ отъ точки приложенія до ц. т. или что тоже до центра фигуры;

3) если тѣло не однородно, такъ что ц. т. не совпадаетъ съ центромъ фифуры, то хотя сжимающая сила будетъ приложена внѣ цептра фигуры, но въ въ ц. т.—сжатіе будетъ равномѣрное;

4) если при неоднородномъ тѣлѣ сжимающая сила приложена внѣ центра фигуры и внѣ ц. т.—сжатіе неравномѣрное и эксцентриситетъ будетъ измѣряться разстояніемъ отъ точки приложенія силы до ц. т. сѣчснія, но пе до центра фигуры.

Во всѣхъ этихъ случаяхъ предполагалось, что фибры сжимающаго тѣла взаимно связаны и что верхнсе плоское сѣченіе остается плоскимъ, какъ при равномѣрномъ, такъ и при неравномѣрномъ сжатіи.

Если твердое тѣло замѣнить рядомъ отдѣльиыхъ фибръ, напр. свай ничѣмъ между собою не связанныхъ или замѣнить сжимасмымъ грунтомъ съ слабымъ

боковымъ сцѣпленіемъ, то дѣйствіе *одной* сосредоточенной силы не можетъ уже передаваться на нѣсколько свай или на значительную площадь грунта. Но если сжимающую сосредоточенную силу замѣнить сжимающимъ твердымъ тѣломъ, несгибаемымъ съ плоской подошвой, покрывающей всѣ сваи или всю площадь сжимаемаго грунта, то движеніе такого сжимающаго, давящаго тѣла на отдѣльно стоящія фибры или сваи или на сжимаемый грунтъ будетъ то же, какъ и дѣйствіе одной сосредоточенной силы на сѣченіе какого-либо твердаго тѣла, такъ какъ въ обоихъ случаяхъ вершины фибръ или свай будутъ всегда находиться въ одной плоскости.

Въ данномъ случаѣ такимъ давящимъ тѣломъ является опора, положимъ устой, который благодаря присутствію, напр. распора или вообще неодинаковой вертикальной нагрузки можетъ быть замѣненъ сплошнымъ устоемъ перемѣнной высоты. Если такой устой будетъ поставленъ на однородный сжимаемый грунтъ или на симметрично относительно центра фигуры забитыя сваи, то произойдетъ вообще неравномѣрное сжатіе и величина эксцентриситета будетъ измѣряться разстояніемъ отъ равнодѣйствующей вѣса устоя до ц. т. фигуры или что тоже до геометрическаго центра фигуры основанія. Если же грунтъ неоднороденъ (напр. уплотненъ сваями) и болѣе плотный грунтъ находится со стороны болѣе высокой части устоя или сваи забиты чаще съ той же стороны, то ц. т. уже не будетъ совпадать съ ц. фигуры, а такъ какъ эксцентриситетъ измѣряется разстояніемъ точки приложенія равнодѣйствующей до ц. т., то если случайно ц. т. неоднороднаго грунта или группы свай совпадаетъ съ точкой приложенія равнодѣйствующей, то грунтъ или вся группа свай будутъ напряжены равномѣрно не смотря на несовпаденіе равнодѣйствующей съ центромъ фигуры. Разстояніе ц. т. всей группы свай отъ каждой изъ сторонъ основанія найдется по формулѣ:

$$\xi = \frac{\Sigma px}{\Sigma p},$$

гдѣ $p = \Omega\pi$ — сопротивленіе сваи, Ω—площадь сваи, π—наибольшее допускаемое напряженіе на единицу площади сваи; если же грунтъ уплотненъ сваями, то разстояніе ц. т. неравномѣрно уплотненнаго сваями грунта отъ каждой изъ сторонъ найдется приблизительно изъ:

$$\xi_1 = \frac{\Sigma p \,.\, x + \omega\pi' \,.\, x'}{\Sigma p + \omega\pi'},$$

гдѣ ω—вся площадь основанія за вычетомъ площади свай, p'—сопротивленіе кв. ед. неуплотненнаго сваями грунта. Опредѣливъ положеніе ц. т., найдемъ эксцентриситетъ c, а слѣдовательно въ первомъ случаѣ наибольшее напряженіе одной сваи:

$$R = \frac{P}{\Sigma\Omega} + P \,.\, c \,.\, \frac{z}{J},$$

гдѣ J—моментъ инерціи фигуры, ооразуемой сѣченіями свай относительно оси, проходящей чрезъ ц. т., принимая площадь каждой сваи за единицу; z—разстояніе наиболѣе удаленной сваи отъ ц. т.

Во второмъ случаѣ наибольшее напряженіе на кв. единицу всего основанія:

$$R = \frac{P}{\omega} + \frac{P \,.\, cz'}{J'},$$

гдѣ J' — моментъ инерціи фигуры площади основанія относительно оси, проходящей чрезъ ц. т.

Этотъ приблизительный пріемъ расчета предполагаетъ, что опора абсолютно тверда, несгибаема; а такъ какъ одному и тому же положенію ц. т. можетъ соотвѣтствовать безчисленное множество расположеній свай, то отсюда слѣдуетъ, что какъ бы сваи ни размѣстить, но лишь бы общій ц. т. ихъ совпадалъ съ точкой проложенія равнодѣйствующей, то всегда всѣ сваи будутъ одинаково напряжены *). Естественно, что для того, чтобы по возможности осуществить предположеніе, что опора не сгибаема, необходимо въ виду сего такъ расположить сваи, чтобы подъ болѣе грузными частями опоры сваи были расположены тѣснѣе и обратно, но при непремѣнномъ условіи, чтобъ общій ц. т. всѣхъ свай совпадалъ съ точкой проложенія равнодѣйствующей. Такимъ образомъ можно руководствоваться слѣдующимъ правиломъ: Если P — полный, передаваемый на подошву основанія вертикальный грузъ; p — допускаемая нагрузка на сваю; $\frac{P}{p} = n$ необходимое число свай; ξ и η — разстоянія точки проложенія равнодѣйствующей отъ передней и боковой стороны фигуры прямоугольнаго основанія или вообще отъ двухъ какихъ либо прямоугольныхъ осей, то сваи должны быть такъ размѣщены, чтобъ

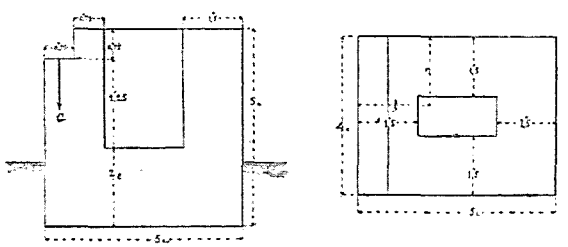


Рис. 639.

$$\xi = \frac{\sum_1^n px}{\sum_1^n p}; \quad \eta = \frac{\sum_1^n py}{\sum_1^n p};$$

причемъ взаимное разстояніе между сваями въ различныхъ участкахъ должно быть таково, чтобъ оно было по возможности обратно пропорціонально приведеннымъ къ матеріалу кладки соотвѣтственнымъ высотамъ опоры.

Пусть напр., опора имѣетъ указанные на рис. 639 размѣры, причемъ вѣсъ отъ пролетныхъ частей и подвижной нагрузки:

$$Q = 20.000 \text{ пуд.}$$

Тогда вѣсъ опоры съ нагрузкой:

$$\{4 \times 5 \times 2 + 2\,(4 \times 1{,}5 + 2 \times 1{,}5)\,2{,}25 + (4 \times 0{,}75 + 4 \times 1{,}5 + 2 \times 2 \times 1{,}5)\,0{,}75\}\,1300 + 20000 =$$

$$= 119275 + 20.000 = 139.275 \infty 140.000 \text{ пуд.}$$

Если допускаемая нагрузка на сваю 1200 пуд,, то всего необходимо свай:

$$\frac{140000}{1200} = 117 \text{ шт.}$$

При высотѣ насыпи: $h = 5$ с., горизонтальный распоръ земли при $\varphi = 30°$:

$$H = \delta h^2 tg^2 \left(45° - \frac{\varphi}{2}\right) b = 1000 \times 5^2 \times 0{,}332 \times 4 = 33.333 \text{ пуд.}$$

съ точкой проложенія на разстояніи: $^5/_3 = 1{,}67$ с. отъ подошвы. (См. форм. 129).

(Правильнѣе было бы увеличить h на приведенную высоту отъ нагрузки поѣздомъ, и тогда слѣ-

*) Это положеніе доказывается далѣе и другимъ путемъ.

довало бы пользоваться формулами (131) и (132) на стр. 647, опредѣливъ приведенную высоту, какъ указано на стр. 659).

Разстояніе равнодѣйствующей вертикальныхъ нагрузокъ отъ передней стороны:

$$n = \frac{20.000 \times \frac{0,75}{2} + \left\{4 \times 1,5 \times 4,25 \times \frac{1,5}{2} + 4 \times 0,75 \times 0,75 \times 1,125 + \right.}{20.000 + \{4 \times 1,5 \times 4,25 + 4 \times 0,75 \times 0,75 + }$$

$$\frac{\left. + 2 \times 2 \times 1,5 \times 5 \times 2,5 + 4 \times 1,5 \times 5 \times 4,25 \times 1 \times 2 \times 2 \times 2,5 \right\} 1300}{+ 2 \times 2 \times 1,5 \times 5 + 4 \times 1,5 \times 5 + 1 \times 2 \times 2\} 1300} =$$

$$= \frac{7500 + 234,156 \times 156}{20000 + 31,75 \times 1300} = \frac{311903}{139275} = 2,24 \text{ саж.}$$

Разстояніе точки проложенія равнодѣйствующей вертикальныхъ и горизонтальныхъ силъ въ плоскости подошвы опоръ — отъ точки проложенія равнодѣйствующей вертикальныхъ силъ (см. рис. 528, стр. 674)

$$b = m = \frac{33.333 \times 1,67}{139275} = 0,40 \text{ с.}$$

Слѣдовательно разстояніе равнодѣйствующей отъ передняго ребра:

$$\xi = n - m = 2,24 \text{ с.} - 0,40 \text{ с.} = 1,84 \text{ с.}$$

Поэтому 117 свай должны быть такъ размѣщены, чтобъ разстояніе общаго ц. т. всѣхъ свай отъ передняго ребра было:

$$\xi = \frac{\sum_1^{117} px}{\sum_1^{117} p} = \frac{1200 \sum_1^{117} x}{1200 \sum_1^{117} 1} = \frac{\sum_1^{117} x}{117};$$

откуда:

$$\sum_1^{117} x = 117 \times \xi = 117 \times 1,84 = 215,28 \text{ с.}$$

Приведенная высота нагрузки 20.000 пуд. составляетъ:

$$\frac{20000}{1300 \times 4 \times 0,75} = 5,13 \text{ саж.}$$

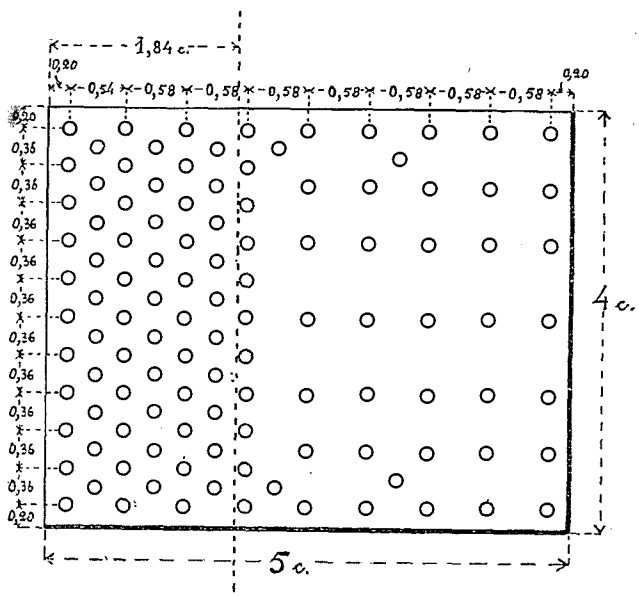


Рис. 640.

Поэтому лицевая часть передней стѣнки на толщинѣ 0,75 с. будетъ имѣть общую приведенную высоту: 5 с. + 5,13 = 10,13 с. Слѣдовательно сваи слѣдуетъ расположить сверхъ того такъ, чтобы среднія разстоянія между сваями въ лицевой половинѣ передней части (на площади: $4 \times 0,75 = 3$ кв. саж.), въ остальной половинѣ передней части въ двухъ боковыхъ и въ задней стѣнкѣ (всего на площади: $4 \times 0,75 + 2 \times 2 \times 1,5 + 4 \times 1,5 = 15$ кв. саж.), а также подъ колодцемъ (на площади $1 \times 2 = 2$ кв. саж.)—были обратно пропорціональны высотамъ: 10,13 : 5 : 2.

Этому требованію въ достаточной степени удовлетворяетъ показанное на рис. 640 расположеніе свай, такъ какъ:

$$\sum_1^{117} x = 11 (0,20 \text{ с.} + 0,74 \text{ с.} + 1,32 \text{ с.} + 1,90 \text{ с.}) + 10 (0,47 \text{ с.} + 1,03 \text{ с.} + 1,61) +$$

$$+ 7 (2,48 \text{ с.} + 3,06 \text{ с.} + 3,64 \text{ с.} + 4,22 \text{ с.} + 4,80 \text{ с.}) + 2 \times 2,19 \text{ с.} + 2 \times 3,35 \text{ с.} =$$

$$= 45,76 + 31,10 + 127,40 + 4,38 + 6,70 = 215,34 \text{ саж.}$$

Число свай:

$$n = 4 \times 11 + 3 \times 10 + 5 \times 7 + 4 = 113,$$

т. е. недостаетъ 4 свай; слѣдовательно дѣйствительная нагрузка на сваю:

$$1200 \times \frac{117}{113} = 1242 \text{ пуд.}$$

Опорныя сопротивленія, вызываемыя тѣломъ, опирающимся нѣсколькими точками на плоскость или на вершины стоекъ, расположенныя въ одной плоскости. Вопросъ этотъ можетъ встрѣтиться при опредѣленіи распредѣленія давленія опоры на сваи. Выберемъ (рис. 641) на плоскости произвольное начало координатъ и проведемъ двѣ взаимно перпендикулярныя оси X и Y. Третья ось Z нормальна къ плоскости xy.

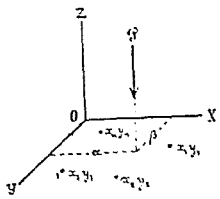


Рис. 641.

Если P равнодѣйствующая всѣхъ силъ (въ данномъ случаѣ вѣса), и α и β — координаты слѣда этого направленія съ плоскостью координатъ; если далѣе x_1y_1, x_2y_2 ... x_iy_i ... $x_n\,y_n$ — координаты опорныхъ неизвѣстныхъ реакцій A_1, A_2,... A_i ... A_n, то для условія равновѣсія силъ съ опорными сопротивленіями имѣемъ слѣдующія шесть уравненій равновѣсія твердаго тѣла:

$$\Sigma X = 0, \quad \Sigma Y = 0, \quad \Sigma Z = 0,$$

$$\Sigma\,(Yz - Zy) = 0, \quad \Sigma\,(Zx - Xz) = 0, \quad \Sigma\,(Xy - Yx) = 0.$$

Такъ какъ P параллельно оси Z-овъ, то и A_1, A_2 ... A_n — параллельны той же оси, но направлены въ противоположныя стороны. Поэтому будемъ имѣть:

$$\Sigma Z = A_1 + A_2 + \ldots + A_n - P = 0,$$

$$\Sigma\,(Yz - Zy) = \Sigma Zy = -A_1x_1 - A_2x_2 - \ldots - A_nx_n + P\alpha = 0,$$

$$\Sigma\,(Zx - Xz) = \Sigma Zx = \quad A_1y_1 + A_2y_2 + \ldots + A_ny_n - P\beta = 0;$$

или:

$$\left.\begin{aligned} A_1 + A_2 + \ldots + A_n &= P \\ A_1x_1 + A_2x_2 + \ldots + A_nx_n &= P\alpha \\ A_1y_1 + A_2y_1 + \ldots + A_ny_n &= P\beta \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots \quad (290)$$

Такъ какъ неизвѣстныхъ болѣе, чѣмъ уравненій, то задача не можетъ быть рѣшена на основаніи законовъ статики.

Если число опорныхъ точекъ *не болѣе* трехъ, то задача рѣшается опредѣленно: Тогда:

$$\begin{aligned} A_1 + A_2 + A_3 &= P \\ A_1x_1 + A_2x_2 + A_3x_3 &= P\alpha \\ A_1y_1 + A_2y_2 + A_3y_3 &= P\beta, \end{aligned}$$

откуда:

$$\left.\begin{aligned} A_1 &= P \cdot \frac{(x_2 - \alpha)(y_3 - \beta) - (x_3 - \alpha)(y_2 - \beta)}{(x_2 - x_1)(y_3 - y_1) - (x_3 - x_1)(y_2 - y_1)} \\ A_2 &= P \cdot \frac{(x_3 - \alpha)(y_1 - \beta) - (x_1 - \alpha)(y_3 - \beta)}{(x_3 - x_2)(y_1 - y_2) - (x_1 - x_2)(y_3 - y_2)} \\ A_3 &= P \cdot \frac{(x_1 - \alpha)(y_2 - \beta) - (x_2 - \alpha)(y_1 - \beta)}{(x_1 - x_3)(y_2 - y_3) - (x_2 - x_3)(y_1 - y_3)} \end{aligned}\right\} \quad \ldots \quad (291)$$

Такъ какъ равнодѣйствующая реакцій: A_1, A_2, A_3 должна быть равна и прямо противоположна силѣ P, сливаясь въ направленіи, то отсюда слѣдуетъ, что сила P не должна пересѣкать плоскости внѣ периметра треугольника, образуемаго тремя опорными точками.

Задача можетъ быть рѣшена и при числѣ опорныхъ точекъ *болѣе* трехъ, если взять въ расчетъ упругія измѣненія плоскости или нажимаемаго тѣла *).

Пусть напр., тѣло поддерживается нѣсколькими стойками однообразной длины l, сѣченій ω_1, ω_2 ... ω_n съ коэффиціентами упругости E_1, E_2 ... E_n и предположимъ, что вершины всѣхъ стоекъ до положенія на нихъ груза находятся на одной горизонтальной плоскости. Послѣ положенія груза—стойки, оставаясь вертикальными, укарачиваются вообще неодинаково, но такъ какъ тѣло предположено абсолютно твердымъ, то вершины всѣхъ стоекъ будутъ также расположены на нѣкоторой наклонной плоскости. Пусть уравненіе плоскости, на которой расположены вершины стоекъ, до положенія груза: $Z = 0$, а послѣ положенія груза:

$$Z = ax + by + c,$$

гдѣ a, b и c—неизвѣстныя величины. Слѣдовательно, величина сжатія какой-либо стойки i будетъ:

$$Z_i = \lambda_i = ax_i + by_i + c$$

и усиліе претерпѣваемое этой стойкой:

$$A_i = \frac{E_i\omega_i\lambda_i}{l} = \frac{E_i\omega_i}{l}(a_ix_i + b_iy_i + c_i) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (292)$$

Вставляя это выраженіе въ группу трехъ уравненій (290) получимъ:

$$\left.\begin{aligned} &\frac{a}{l}\Sigma E_i\omega_ix_i + \frac{b}{l}\Sigma E_i\omega_iy_i + \frac{c}{l}\Sigma E_i\omega_i = P \\ &\frac{a}{l}\Sigma E_i\omega_ix_i^2 + \frac{b}{l}\Sigma E_i\omega_iy_ix_i + \frac{c}{l}\Sigma E_i\omega_ix_i = P\alpha \\ &\frac{a}{l}\Sigma E_i\omega_ix_iy_i + \frac{b}{l}\Sigma E_i\omega_iy_i^2 + \frac{c}{l}\Sigma E_i\omega_iy_i = P\beta. \end{aligned}\right\} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (293)$$

Если за начало координатъ возьмемъ центръ тяжести сѣченій всѣхъ свай, предполагая, что площади сѣченій пропорціональны произведеніямъ $E_i\omega_i$, то:

$$\Sigma\omega_ix_i = 0, \quad \Sigma\omega_1y_1 = 0$$

и тогда уравненія (293) примутъ видъ:

$$\frac{c}{l}\Sigma E_i\omega_i = P$$

$$\frac{a}{l}\Sigma E_i\omega_ix_1^2 + \frac{b}{l}\Sigma E_i\omega_ix_iy_i = P\alpha$$

$$\frac{a}{l}\Sigma E_i\omega_ix_iy_i + \frac{b}{l}\Sigma E_i\omega_iy_1^2 = P\beta,$$

*) Бобылевъ. Курсъ аналитической механики. Часть II, стр. 775.

откуда:

$$\left.\begin{aligned} a &= P\,\frac{\left[\frac{\alpha}{l}\Sigma E_i\omega_i y_i^2 - \frac{\beta}{l}\Sigma E_i\omega_i x_i y_i\right]}{\frac{1}{l^2}\Sigma E_i\omega_i x_i^2 . \Sigma E_i\omega_i y_i^2 - \left(\frac{\Sigma E_i\omega_i x_i y'}{l}\right)^2} \\ b &= P\,\frac{\left[\frac{\beta}{l}\Sigma E_i\omega_i x_i^2 - \frac{\alpha}{l}\Sigma E_i\omega_i x_i y_i\right]}{\frac{1}{l^2}\Sigma E_i\omega_i x_i^2 . \Sigma E_i\omega_i y_i^2 - \left(\Sigma\frac{E_i\omega_i x_i y_i}{l}\right)^2} \\ c &= \frac{P}{\frac{1}{l}\Sigma E_i\omega_i} \end{aligned}\right\} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (294)$$

Зная a, b, c найдемъ по формулѣ (292) любое A_i.

Примѣры. Пусть напр. (рис. 642) четыре стойки одинаковаго сѣченія и матеріала, расположены въ вершинахъ прямоугольника, стороны котораго $2m$ и $2n$. Примемъ начала координатъ въ ц. т. всѣхъ четырехъ стоекъ и пусть оси X-овъ и Y-овъ будутъ соотвѣтственно параллельны сторонамъ $2m$ и $2n$; наконецъ, пусть $(-\alpha, \beta)$ координаты равнодѣйствующей вѣса твердаго тѣла: P. Тогда:

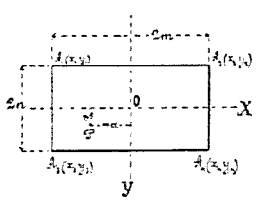


Рис. 642.

$$x_1 = -m; \quad y_1 = -n$$

$$x_2 = m; \quad y_2 = -n$$

$$x_3 = -m; \quad y_3 = n$$

$$x_4 = m; \quad y_4 = n.$$

Слѣдовательно

$$\Sigma E_i\omega_i y_1^2 = 4E\omega n^2; \quad \Sigma E_i\omega_i x_i y_i = 0, \quad \Sigma E_i\omega_i x_i^2 = 4E\omega m^2.$$

Поэтому на основаніи (294):

$$a = -P\,\frac{\frac{\alpha}{l}\cdot 4E\omega n^2}{\frac{1}{l^2}\cdot 4E\omega m^2 . 4E\omega n^2} = -\frac{P\alpha}{4\frac{E\omega}{l}m^2},$$

$$b = \frac{P\frac{\beta}{l}\cdot 4E\omega m^2}{\frac{1}{l^2}\cdot 4E\omega m^2 . 4E\omega n^2} = \frac{P\beta}{\frac{4E\omega n^2}{l}},$$

$$c = \frac{P}{\frac{4E\omega}{l}}.$$

Если напр., $\beta = \frac{n}{2}$, $-\alpha = -\frac{m}{2}$, $\omega = 10$ кв. дюйм., $E = 50.000\ \frac{\text{пуд.}}{\text{дм.}^2}$, $l = 100$ д. $P = 1200$ пуд., $m = 20$ д., $n = 10$ д.,

то:

$$a = -\frac{1200\times10\times100}{4\times50.000\times10\times400} = -0{,}0015; b = \frac{1200\times5\times100}{4\times50.000\times10\times100} = 0{,}003;$$

$$c = \frac{1200\times100}{4\times50.000\times10} = 0{,}06.$$

Слѣдовательно на основаніи (292)

$$A_1 = \frac{E.\omega}{l}(ax_1+by_1+c) = \frac{50.000\times10}{100}(+0{,}0015\times20-0{,}003\times5+0{,}06) = 375 \text{ пуд.}$$

$$A_2 = \frac{E.\omega}{l}(ax_2+by_2+c) = \frac{50000\times10}{100}(-0{,}0015\times20-0{,}003\times5+0{,}06) = 75 \text{ пуд.}$$

$$A_3 = \frac{E.\omega}{l}(ax_3+by_3+c) = \frac{50.000\times10}{100}(+0{,}0015\times20+0{,}003\times5+0{,}06) = 525 \text{ пуд.}$$

$$A_4 = \frac{E.\omega}{l}(ax_4+by_4+c) = \frac{50000\times10}{100}(-0{,}0015\times20+0{,}003\times5+0{,}06) = 225 \text{ пуд.}$$

Если $\alpha = 0$ и $\beta = 0$, то $a = 0$ и $b = 0$ и слѣд. $\lambda_i = c$ величина постоянная, т. е. всѣ стойки одинаково напряжены.

Тоже самое будетъ имѣть мѣсто (см. форм. 294), какъ бы стойки ни были расположены, лишь бы только равнодѣйствующая проходила чрезъ ц. т. сѣченія всѣхъ стоекъ.

Всѣ эти выводы справедливы только до тѣхъ поръ, пока давящее тѣло абсолютно твердое и неподвергается изгибу.

Опредѣленіе усилій и размѣровъ одиночныхъ опоръ. — Опредѣленіе усилій и размѣровъ элементовъ опоры, составленной изъ двухъ реберъ (стоенъ), расположенныхъ въ одной плоскости (плоскія опоры), при дѣйствіи симметричной нагрузки, вѣтра и несимметричной нагрузки. — Опредѣленіе усилій въ элементахъ плоской опоры, при числѣ реберъ болѣе двухъ. — а) Приблизительные пріемы опредѣленія усилій. — б) Пріемъ основаній на принципѣ возможныхъ перемѣщеній. — в) Пріемъ Нёрдпинга — Условіи устойчивости.

Опредѣленіе усилій и размѣровъ одиночныхъ опоръ. Если Q—полная нагрузка, приходящаяся на одиночную опору, то искомая площадь сѣченія $\omega = \frac{Q}{R_m}$, гдѣ R_m — коэффиціентъ допускаемаго напряженія въ зависимости отъ продольнаго изгиба.



Рис. 643.



Рис. 644.

Въ *деревянныхъ* одиночныхъ свайныхъ опорахъ R_m, конечно, должно быть не болѣе того, что допущено было для сваи. Вообще же R_m опредѣлится или по формулѣ Эйлера, при коэффиціентѣ запаса: $\alpha = \frac{1}{10}$

$$R_m = \alpha\frac{\pi^2}{4}\cdot\frac{EI}{\omega l^2},$$

при одномъ задѣланномъ и другомъ свободномъ концѣ (рис. 643), или по формулѣ:

$R_m = \alpha\pi^2\cdot\frac{EI}{\omega\, l^2}$, если оба конца свободны (качающіяся опоры) (рис. 644).

Вставляя вмѣсто $R_m = \frac{Q}{\omega}$, найдемъ:

Типъ сѣченій.	Одинъ конецъ задѣланъ, другой свободенъ.	Оба конца свободны.
Сплошное круглое сѣченіе діаметромъ d	$d = 1{,}69 \sqrt[4]{\frac{Ql^2}{\alpha E}}$	$d = 1{,}199 \sqrt[4]{\frac{Ql^2}{\alpha E}}$
Кольцевое сѣченіе при толщинѣ стѣнки δ и внѣшнемъ діаметрѣ d	$(d + 2\delta)^4 - d^4 = 2{,}269 \frac{Ql^2}{\alpha E}$	$(d + 2\delta)^4 - d^4 = 2{,}067 \frac{Ql^2}{\alpha E}$
Крестообразное симметричное сѣченіе шириною H, при толщинѣ кромки h, причемъ $n = \frac{H}{h}$	$H = 1{,}48 n \sqrt[4]{\frac{1}{n(n^3 + n - 1)} \cdot \frac{Ql^2}{\alpha E}}$	$H = 1{,}05 n \sqrt[4]{\frac{1}{n(n^3 + n - 1)} \cdot \frac{Ql^2}{\alpha E}}$

Иногда пользуются еще слѣдующими формулами:

$$\text{Шюблера: } R_m = \frac{R}{1 + \frac{k\omega l^2}{I}},$$

гдѣ $R = 30 \frac{\text{пуд.}}{\text{дм.}^2}$; $k = 0{,}00016$;

$$\text{Паукера: } R_m = \frac{30 \frac{\text{пуд.}}{\text{дм.}^2}}{1{,}2 + 0{,}08 \left(\frac{l}{12d}\right)^3},$$

гдѣ d—наименьшій размѣръ поперечнаго сѣченія, l—высота опоры. Также пользуются таблицей Рондлэ, по которой:

для $\frac{l}{d} =$	1	12	24	36	48	60	72
» $R_m =$	24	20	12	8	4	2	1 $\frac{\text{пуд.}}{\text{дм.}^2}$

Въ *металлическихъ* (чугунныхъ, желѣзныхъ) стойкахъ коэффиціентъ допускаемаго напряженія также опредѣляется по формулѣ Эйлера при коэффиціентѣ запаса $\alpha = \frac{1}{8}$—для чугуна, и $\alpha = \frac{1}{6}$—для желѣза и стали, т. е. по $R_m = \alpha \cdot \frac{\pi^2}{4} \frac{EI}{\omega l^2}$— при одномъ задѣланномъ другомъ свободномъ концѣ, или по: $R_m = \alpha \cdot \pi^2 \frac{EI}{\omega l^2}$— если оба конца свободны.

Кромѣ того можно пользоваться формулами Шюблера, Winkler'a, Grashof'a, Ясинскаго и пр., о которыхъ упомянуто было въ Гл. V, стр. 450 — 459.

Замѣтимъ, что въ крестообразныхъ чугунныхъ стойкахъ — толщина кромки дѣлается обыкновенно отъ $\frac{1}{3}$ до $\frac{1}{6}$ отъ общей ширины стойки, а въ желѣзныхъ отъ $\frac{1}{5}$ до $\frac{1}{10}$. Въ двутавровомъ сѣченіи толщина полокъ дѣлается отъ $\frac{1}{5}$ до $\frac{1}{8}$ отъ общей ширины полки, а толщина стѣнки отъ $\frac{1}{6}$ до $\frac{1}{12}$ отъ высоты стѣнки.

Если на вершину отдѣльной опоры дѣйствуетъ еще горизонтальная сила H, отклоняющая вершину на величину δ, то наибольшее напряженіе на сжатіе будетъ, очевидно, въ основаніи опоры (рис. 645) и опредѣлится по формулѣ:

$$R = \frac{Q}{\omega} + \frac{z}{I}(Hl + Q \cdot \delta) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (295)$$

Такъ, напримѣръ, если имѣемъ неразрѣзную мостовую ферму съ неподвижной опорой на быкѣ, при чемъ быкъ представляетъ собою отдѣльную одиночную опору, то, благодаря сцѣпленію колесъ паровоза, тренію по рельсамъ колесъ поѣзда и тренію катковъ на подвижныхъ опорахъ, — горизонтальная сила, отклоняющая быкъ въ сторону, противоположную движенію поѣзда, будетъ:

$$H = P \cdot f - (M \chi + Q \cdot \psi), \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (296)$$

гдѣ P — давленіе ведущихъ колесъ паровоза, f — коэффиціентъ сцѣпленія $= \frac{1}{7}$; M — вѣсъ поѣзда; χ — коэффиціентъ тренія $= \frac{1}{500}$; Q — нагрузка на подвижныя опоры; ψ — коэффиціентъ тренія $= \frac{1,5}{d}$, если d — діаметръ катка въ мм. Такимъ образомъ, наибольшее значеніе H получается при движеніи по мосту одного паровоза. Несравненно бо̀льшее значеніе H, направленнаго вдоль моста, получается при торможеніи поѣзда; коэффиціентъ торможенія принимается въ 0,25 или 0,2 отъ вѣса поѣзда.

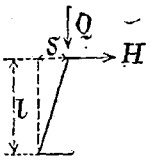


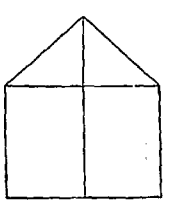
Рис. 645.

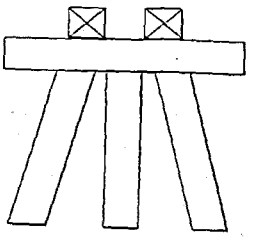
Если мостъ на кривой, то дѣйствующая на каждую погонную единицу мостовой фермы центробѣжная сила:

$$c = \frac{qv^2}{g \cdot r},$$

гдѣ q — вѣсъ поѣзда на погонную единицу; v — скорость; g — ускореніе силы тяжести; r — радіусъ кривизны. Къ этому значенію горизонтальной силы c дѣйствующей по направленію нормальному къ продольной оси моста, слѣдуетъ еще присоединить значеніе H, вызванное давленіемъ вѣтра. (Рл. IV, стр. 437—439). Зная величину пролета, легко опредѣлить величину H, приходящуюся на опору.

Если въ стойку врублены два подкоса, упирающіеся нижнимъ концомъ въ другія двѣ стойки (рис. 646), то опредѣленіе напряженій, какъ въ стойкѣ, такъ и въ подкосахъ, возможно лишь, принимая во вниманіе упругую деформацію.


Рис. 646.


Рис. 647.

Если же вертикальная стойка и двѣ наклонныя, сходящіяся въ одну точку, перекрыты общей насадкой (рис. 647), тогда приблизительно можно допустить, что вертикальная нагрузка распредѣляется по ровну на всѣ три стойки или, точнѣе, — по закону сопротивленія опоръ неразрѣзной балки.

Для большей обезпеченности слѣдуетъ въ этихъ случаяхъ пользоваться двумя прогонами, какъ это показано выше на рисункѣ.

Опредѣленіе усилій и размѣровъ элементовъ опоры, составленной изъ двухъ реберъ (стоекъ), расположенныхъ въ одной плоскости (плоскія опоры). Разсмотримъ отдѣльно вліяніе симметричной нагрузки, вѣтра и несимметричной нагрузки.

а) Симметричная нагрузка. Размѣры стоекъ расчитываются на сжатіе по извѣстнымъ формуламъ для длинныхъ стоекъ, при чемъ за свободную длину L при провѣркѣ на изгибъ въ продольномъ направленіи слѣдуетъ брать всю высоту стойки, а при провѣркѣ на изгибъ въ поперечномъ направленіи — разстояніе между точками, въ которыхъ сходятся связи, нѐ допускающія въ этомъ мѣстѣ

выгиба стойки. При наклонныхъ стойкахъ одноэтажныхъ и многоэтажныхъ быковъ (рис 648) усиліе, претерпѣваемое стойкой, выразится черезъ:

$$S_1 = Q\frac{\lambda_1}{\lambda} = Q\sec\alpha = Q\sqrt{1+tg^2\alpha} = Q\sqrt{1+m^2}, \quad . \quad . \quad . \quad (297)$$

если λ_1—длина всей стойки; λ—длина вертикальной проекціи ея; Q—вертикальное давленіе, приходящееся на стойку, включая и вѣсъ стойки.

Площадь стойки опредѣляется по формулѣ:

$$\omega = \frac{S_1}{R_m},$$

гдѣ R_m — допускаемый коэффиціентъ напряженія.

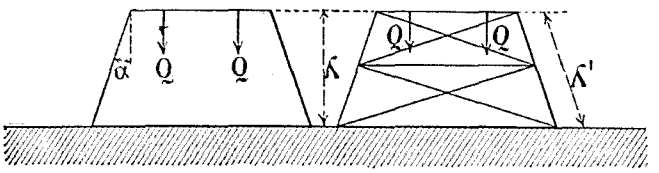


Рис. 648.

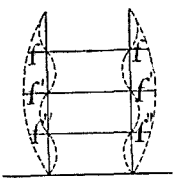
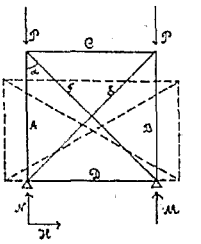


Рис. 649.



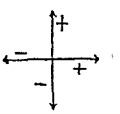


Рис. 650.

Горизонтальная составляющая: $N = Q\,tg\,\alpha = Qm$ будетъ сжимать верхнюю насадку.

Слѣдовательно, размѣры насадки опредѣляются по формулѣ:

$$R = \frac{N}{\omega} + \frac{Mz}{I},$$

гдѣ M—изгибающій моментъ отъ нагрузки, ω и $\frac{I}{z}$ — площадь и моментъ сопротивленія площади сѣченія насадки.

При вертикальныхъ стойкахъ: $S_1 = Q$; $N = O$.

При одинаковой нагрузкѣ обѣихъ стоекъ можно съ нѣкоторымъ приближеніемъ допустить, что діагонали не будутъ напряжены, что въ дѣйствительности несправедливо; діагонали будутъ сжаты, а распорки или горизонтальныя схватки—растянуты. Если даже допустить, что діагонали не сжаты, то схватки какъ сопротивляющіяся боковому выгибу длинныхъ стоекъ, будутъ напряжены, но величину этого напряженія трудно опредѣлить *).

Покажемъ, какъ, взявъ во вниманіе упругую деформацію, опредѣлять усилія въ діагоналяхъ и распоркахъ, предполагая нагрузку симетричною.

Предположимъ для простоты, что обѣ стойки (рис. 650) вертикальны, выдѣлимъ верхнюю панель и разсмотримъ ее, какъ опирающуюся на двѣ опоры ферму, состоящую изъ одной панели, на верхніе узлы которой дѣйствуетъ нагрузка P; одну опору (лѣвую) предполагаемъ неподвижною съ вертикальнымъ и горизонтальнымъ опорными сопротивленіями (N) и (H), а правую опору подвижною съ однимъ вертикальнымъ опорнымъ сопротивленіемъ (M). Усилія, направленныя вверхъ и вправо обозначимъ положительными, а обратнаго направленія—отрицательными.

*) Если бы можно было точно расчитать стрѣлы бокового выгиба f, f', f'', (рис. 649) которыя имѣли бы мѣсто въ точкахъ прикрѣпленія связей, при отсутствіи этихъ связей, то, опредѣливъ по прогибамъ силы, которыя, будучи приложены къ этимъ точкамъ, произвели бы тѣ же прогибы, можно было бы принять, что связи подвержены напряженію, равному этимъ силамъ.

Пусть искомыя усилія въ элементахъ фермы: A, B, C, D, E и F; соотвѣтственныя длины: a, b, c, d, e, f; площади сѣченій: ω_a, ω_b, ω_c, ω_d, ω_e, ω_f и уголъ, составленный діагональю со стойкою—α.

Выписываемъ условія равновѣсія силъ около каждаго изъ четырехъ узловъ, начиная съ лѣваго верхняго и предполагая, что всѣ ребра сжаты. Результаты расчета покажутъ, правильно ли сдѣланное предположеніе:

$$\left\{\begin{array}{l} 1)\ -P + A + F\,.\,cos\,.\,\alpha = 0 \\ 2)\ -C - F\,.\,sin\,.\,\alpha = 0 \end{array}\right.$$

$$\left\{\begin{array}{l} 3)\ -P + B + E\,.\,cos\,.\,\alpha = 0 \\ 4)\ +C + F\,sin\,.\,\alpha = 0 \end{array}\right.$$

$$\left\{\begin{array}{l} 5)\ -A - E\,cos\,.\,\alpha + N = 0 \\ 6)\ -E\,sin\,.\,\alpha - D + H = 0 \end{array}\right.$$

$$\left\{\begin{array}{l} 7)\ -B - F\,.\,cos\,.\,\alpha + M = 0 \\ 8)\ +F\,.\,sin\,.\,\alpha + D = 0 \end{array}\right.$$

Изъ (2) и (4) . . . $E = F$

Изъ (6) и (8) . . . $H = 0$

Изъ (1) и (5) . . . $N = P$

Изъ (3) и (7) . . . $M = P$

Изъ (2) и (6) . . . $C = D$

Изъ (1) и (7) . . . $A = B$

Слѣдовательно, остается два уравненія (1) и (2) съ тремя неизвѣстными:

$$-P + A + E\,cos\,.\,\alpha \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (298)$$

$$-C - E\,sin\,.\,\alpha = 0 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (299)$$

Третье уравненіе найдется изъ условія, что послѣ деформаціи зависимость между длинами сторонъ будетъ та же (при одинаковыхъ сѣченіяхъ симметричныхъ частей), какъ и до деформаціи, т. е. что:

$$(a + da)^2 + (c + dc)^2 = (e + de)^2;$$

$$a^2 + 2ada + (da)^2 + c^2 + 2cdc + (dc)^2 = c^2 + 2ede + (de)^2.$$

Но $a^2 + c^2 = e^2$, поэтому, пренебрегая членами второго порядка, получимъ:

$$ada + cde = ede$$

или:

$$\frac{aAa}{G\omega_a} + \frac{cCc}{G\omega_c} = \frac{eEe}{G\omega_e},$$

гдѣ G—коэффиціентъ продольной упругости.

Отбрасывая этотъ множитель, имѣемъ:

$$\frac{a^2A}{\omega_a} + \frac{c^2C}{\omega_c} = \frac{c^2E}{\omega_e} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (300)$$

Рѣшая совмѣстно (298), (299) и (300), будемъ имѣть:

$$\frac{a^2\,(P - E\,cos\,.\,\alpha)}{\omega_a} - \frac{c^2\,E\,sin\,.\,\alpha}{\omega_c} = \frac{e^2E}{\omega_e};$$

откуда:

$$E\left(\frac{e^2}{\omega_e} + \frac{a^2\,.\,cos\,.\,\alpha}{\omega_a} + \frac{c\,.\,sin\,.\,\alpha}{\omega_c}\right) = \frac{a^2P}{\omega_a};$$

$$E = F = \frac{P}{\frac{e^2}{\omega_e} \cdot \frac{\omega_a}{a^2} + cos\,.\,\alpha + \frac{c^2}{\omega_c} \cdot \frac{\omega_a}{a^2}\,.\,sin\,\alpha},$$

или

$$E = F = \frac{P}{\frac{\omega_a}{\omega_e\,.\,cos^2\,\alpha} + cos\,\alpha + \frac{\omega_a\,sin^3\,\alpha}{\omega_c\,cos^2\,\alpha}} = \frac{P\,.\,cos^2\,.\,\alpha}{\frac{\omega_a}{\omega_e} + cos^3\,\alpha + \frac{\omega_a}{\omega_c}\,sin^3\,\alpha} \quad . \quad . \quad (301)$$

[Замѣтимъ, что: $\frac{E}{\omega_e} = \frac{P}{\omega_a\left(\frac{e^2}{a^2} + cos.\alpha.\frac{\omega_e}{\omega_a} + \frac{c^2}{a^2}\cdot\frac{\omega_e}{\omega_e}.sin.\alpha\right)}$

Если $\alpha = 45°$; то $cos.\alpha = sin.\alpha = 0{,}707$;

$\frac{e^2}{a^2} = (1{,}414...)^2 = 2$; $\frac{\omega_e}{\omega_a}$ — вообще очень малая дробь; $\frac{c^2}{a^2}$ — обыкновенно около единицы, $\frac{\omega_e}{\omega_c} = 1$; такъ, что приближенно:

$$\frac{E}{\omega_e} = \frac{P}{\omega_a(2 + 0{,}707)} = \frac{P}{2{,}7\,.\,\omega_a}.$$

Но $A = P - E\,cos.\alpha$, слѣдовательно:

$$\frac{E}{\omega_e} = \frac{A}{2{,}7\,\omega_a} + \frac{E.0{,}707}{2{,}7\,.\,\omega_a},$$

т. е., если сѣченіе діагонали (ω_e) незначительно по сравненію съ сѣченіемъ распорки (ω_a) — то среднее напряженіе діагонали составляетъ немного менѣе половины средняго напряженія стойки опоры].

Если бы разсматривалась какая-либо промежуточная панель опоры, то, полагая, что въ трехъ смежныхъ панеляхъ усилія и сѣченія діагоналей и распорокъ порознь одинаковы, имѣемъ по Винклеру *):

$$E = F = \frac{P\,.\,cos^2\,.\,\alpha}{\frac{\omega_a}{\omega_e} + cos^3.\alpha + \frac{2\omega_a\,sin^3\,.\,\alpha}{\omega}} = \frac{P}{\frac{\omega_a\,.\,c^2}{\omega_e\,.\,a^2} + cos\,.\,\alpha + \frac{2\omega_a}{\omega_e}\frac{c^2}{a^2}sin.\alpha} \quad . . (302)$$

Примѣръ. Пусть, напр.

$$a = b = c = d = 240 \text{ д.}; \quad \alpha = 45°, \quad e = f = 336 \text{ д.}$$

$$\omega_a = \omega_b = 32 \text{ кв. дм.} \qquad J_a = J_b = 892$$

$$\omega_c = \omega_d = 8{,}48 \text{ кв. дм.} \qquad J_c = J_d = 13{,}44$$

$$\omega_e = \omega_f = 2{,}12 \text{ кв. дм.} \qquad J_e = J_f = 1{,}73$$

$$P = 8213 \text{ пуд.}$$

Тогда, на основаніи (301), имѣемъ:

$$E = F = \frac{8213}{\frac{336^2}{2{,}12} \times \frac{32}{240^2} + 0{,}707 + \frac{240^2}{8{,}48} \times \frac{32}{240^2} \times 0{,}707} =$$

$$= \frac{8213}{29{,}57 + 0{,}707 + 2{,}67} = \frac{8213}{32{,}95} = 0{,}0303 \times 8213 \text{ пуд.} = 246{,}19 \text{ пуд.}$$

$$C = D = -E\,.\,sin\,.\,\alpha = -0{,}707\,.\,E = -0{,}0214 \times 8213 = -157{,}76 \text{ пуд.}$$

$$A = B = P - E\,.\,cos\,.\,\alpha = 8213 - 0{,}707 \times 0{,}0303 \times 8213 =$$

$$= 8213 \times 0{,}9786 = 7966{,}81 \text{ пуд.}$$

Такимъ образомъ при заданныхъ размѣрахъ отъ сжимающаго усилія стойки на діагональ передается около 3%; среднее же напряженіе въ діагонали при сѣченіи *brutto*:

$$R = \frac{E}{\omega_e} = \frac{246{,}19}{2{,}12} = 116 \frac{\text{пуд.}}{\text{дм.}^2}$$

*) Winkler. Querconstructionen. Стр. 414.

составляетъ немного меиѣе половины средняго напряженія въ распоркѣ

$$R = \frac{A}{\omega_a} = \frac{7966{,}81}{32} = 248{,}94 \frac{\text{пуд.}}{\text{дм.}^2},$$

Résal *) рѣшаетъ эту задачу въ болѣе общемъ видѣ, предполагая, что ребра и сжимающія силы Q наклонны и составляютъ съ вертикалью соотвѣтственно углы i и θ (рис. 650′). Если діагонали составляютъ съ вертикалью уголъ α, сѣченія реберъ: ω, верхней распорки: ω', нижней: ω_1' и каждой изъ діагоналей ω'', тогда напряженія R въ ребрахъ, R'—въ діагоналяхъ, R''— въ распоркахъ:

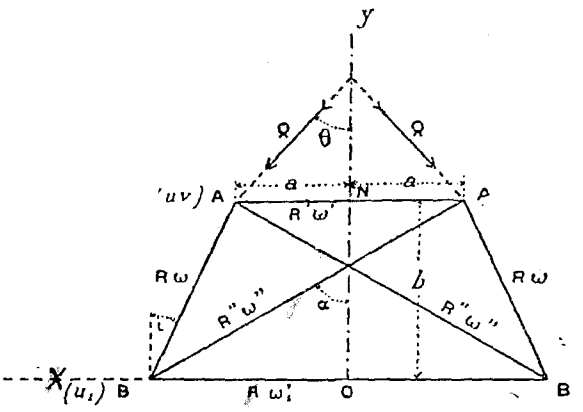


Рис. 650′.

$$\left.\begin{aligned} R &= -Q\frac{\omega''\sin(\theta+\alpha)\sin(\alpha+i)\sin(\alpha-i)+\omega'\cos\theta\cos^2 i}{\omega'\omega''\cos^3\alpha+\omega\,.\,\omega'\cos^3 i+\omega\omega''\sin^2(\alpha+i)\sin(\alpha-i)} \\ R' &= Q\frac{\omega''\cos^2\alpha\sin(\theta+\alpha)+\omega\cos^2 i\sin(\theta-i)}{\omega'\omega''\cos^3\alpha+\omega\,.\,\omega'\cos^3 i+\omega\omega''\sin^2(\alpha+i)\sin(\alpha-i)} \\ R'' &= Q\frac{\omega\sin(\theta-i)\sin(\alpha+i)\sin(\alpha-i)-\omega'\cos\theta\cos^2\alpha}{\omega'\omega''\cos^3\alpha+\omega\,.\,\omega'\cos^3 i+\omega\omega''\sin^2(\alpha+i)\sin(\alpha-i)}. \end{aligned}\right\} \quad \ldots \quad (303)$$

Если реберъ не существуетъ, то $\omega = 0$, и

$$R'\omega' = Q\frac{\sin(\theta+\alpha)}{\cos\alpha};\quad R''\omega'' = -\frac{Q\cos\theta}{\cos\alpha}.$$

При $\omega' = 0$; $R\omega = -Q\dfrac{\sin(\theta+\alpha)}{\sin(\alpha+i)}$; $R''\omega'' = Q\dfrac{\sin(\theta-i)}{\sin(\alpha+i)}$;

при $\omega'' = 0$, $R\omega = -Q\dfrac{\cos\theta}{\cos i}$; $R'\omega' = Q\dfrac{\sin(\theta-i)}{\cos i}$.

б) *Вліяніе вѣтра.* Пусть давленіе вѣтра приложено въ вершинѣ опоры и предположимъ, что горизонтальные элементы связей—жесткія схватки или распорки, допускающія сжатіе, а діагонали—плоскаго сѣченія, не допускающія сжатія. Опредѣленіе усилія можетъ быть сдѣлано различными пріемами. Изложимъ два пріема.

Первый пріемъ, основанный на разложеніи силъ по закону параллелограмма. Разсмотримъ сначала невысокую опору, состоящую изъ одной панели (рис. 651). Если на точку A дѣйствуетъ давленіе вѣтра H, то верхняя распорка будетъ сжата усиліемъ $W_0 = H$; сжимающее усиліе не можетъ направиться по діагонали AD, предположенной по заданію—не жесткаго сѣченія. Изъ условій равновѣсія силъ, приложенныхъ къ узлу A, слѣдуетъ поэтому, что усиліе въ AC равно нулю.

Въ точкѣ B усиліе разложится по діагонали и по ребру опоры.

*) Résal. Ponts métalliques. T. II, p. 546.

Если h_0 и h_1 — длины верхней и нижней распорки; d — длина діагонали; l — разстояніе точки встрѣчи наклонныхъ стоекъ отъ верхней распорки, то отъ дѣйствія вѣтра напряженіе діагонали и второго ребра опредѣлится изъ подобія треугольниковъ YHB и CBD; имѣемъ:

$$Y = H \cdot \frac{d}{h_1}; \quad X = H \frac{\lambda_1}{h_1}.$$

Усиліе діагонали передается въ точку C, гдѣ разложится по нижней схваткѣ и

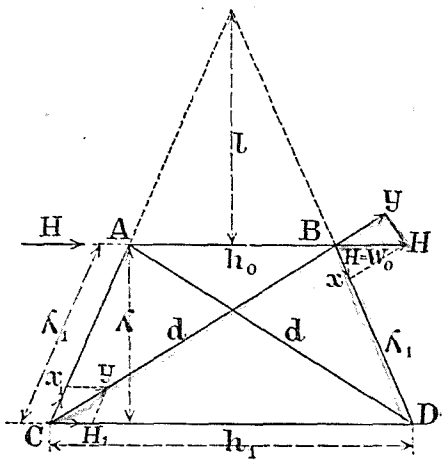


Рис. 651.

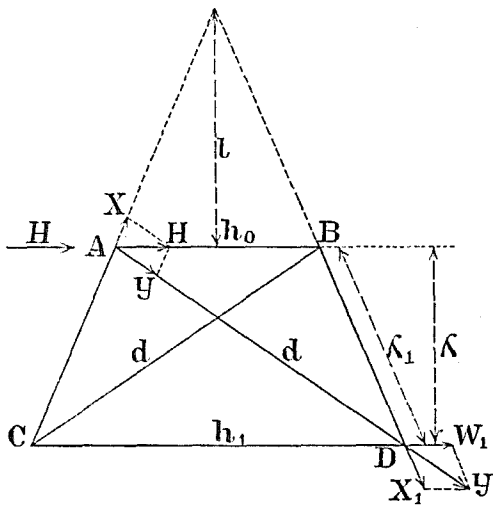


Рис. 652.

по ребру AC, (предполагая, что опора C можетъ перемѣщаться по направленію нормальному къ AC), не вызывая никакого напряженія въ части ребра выше C. Изъ подобія треугольниковъ CX_1Y и ABC имѣемъ:

$$X_1 = Y \frac{\lambda_1}{d} = H \frac{d}{h_1} \cdot \frac{\lambda_1}{d} = H \frac{\lambda_1}{h_1};$$

$$H_1 = Y \frac{h_0}{d} = H \frac{d}{h_1} \times \frac{h_0}{d} = H \frac{h_0}{h_1} = H \frac{l}{l + \lambda}.$$

Сжимающія усилія въ верхнихъ и нижнихъ распоркахъ будутъ: H и H_1, а вытягивающее усиліе въ діагонали: $Y = \frac{Hd}{h_1}$.

При дѣйствіи вѣтра противоположнаго направленія мы получили бы, что діагональ AD работаетъ взамѣнъ діагонали BC и что усиліе въ BD равна нулю.

Если горизонтальныя распорки не въ состояніи принять сжимающаго усилія, или если взамѣнъ ихъ имѣются, напримѣръ, стяжные болты, а діагонали — жесткаго сѣченія, допускающія сжатіе, то распредѣленіе усилій иное. Въ точкѣ A (рис. 652) усиліе $W_0 = H$ разложится по діагонали и по ребру, сжимая первую и вытягивая второе.

Составляющія Y и X опредѣлятся изъ подобія треугольниковъ XHA и ADC:

$$Y = H \frac{d}{h_1}; \quad X = H \frac{\lambda_1}{h_1};$$

усиліе Y передается въ точку D, доставивъ составляющія W_1 и X; изъ подобія

треугольниковъ DW_1Y и ABD имѣемъ:

$$W_1 = Y\,\frac{h_0}{d} = H\,\frac{d}{h_1}\cdot\frac{h_0}{d} = H\,\frac{h_0}{h_1} = H\,\frac{l}{l+\lambda};$$

$$X_1 = Y\,\frac{\lambda_1}{d} = H\,\frac{\lambda_1}{h_1}.$$

Верхняя схватка или стяжка не напряжена; нижняя схватка или стяжка напряжена вытягивающимъ усиліемъ W_1, а раскосъ—сжимающимъ усиліемъ Y.

Если всѣ элементы заполненія какъ горизонтальные, такъ и діагоиальные устроены въ видѣ схватокъ, но ни одна изъ системъ связей не достаточно жесткаго еѣченія, то давленіе вѣтра въ верхней точкѣ разложится частью по горизонтальной связи и по діагонали, и тогда, не принимая въ расчетъ упругую деформацію, трудно опредѣлить какая доля всего усилія H пойдетъ по каждой изъ нихъ. Можно допустить, что усиліе разложится пропорціонально представляемому связями сопротивленію, но, во всякомъ случаѣ, это — приблизительное предположеніе и поэтому слѣдуетъ избѣгать употребленія связей подобныхъ поперечныхъ сѣченіи въ виду неопредѣленности передачи усилія, т. е. необходимо проектировать жесткія діагонали при плоскихъ горизонтальныхъ связяхъ или стяжкахъ, или же — проектировать плоскія или круглаго еѣченія діагонали при жесткихъ горизонтальныхъ распоркахъ.

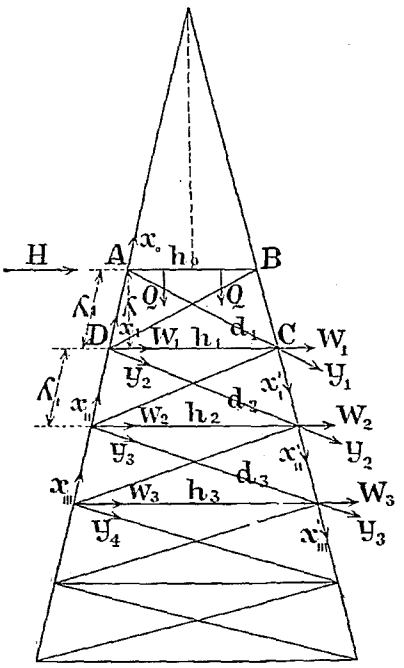


Рис. 653.

Переходимъ теперь къ типу опоры, состоящей изъ нѣсколькихъ панелей. Примѣняя указанный пріемъ, найдемъ усилія въ элементахъ опоры, предполагая, что горизонтальныя связи — стяжки, а діагоиали—жесткіе раскосы.

Сохранимъ прежнія обозначенія, т. е. назовемъ длину горизоитальныхъ стяжекъ (рис. 653) черезъ—$h_0, h_1, h_2 \ldots h_n$; длину раскосовъ въ панеляхъ черезъ—$d_1, d_2 \ldots d_n$; длину реберъ въ панеляхъ черезъ — λ_1; вертикальную проекцію ихъ черезъ — λ; усилія въ стяжкахъ черезъ— $W_0, W_1, W_2 \ldots W_n$; усилія въ раскосахъ черезъ— $Y_1, Y_2 \ldots Y_n$; составляющія въ различныхъ узлахъ перваго ребра (навѣтреннаго) черезъ— $X_0, X_1, X_{II} \ldots X_n$; такія же составляющія въ узлахъ второго ребра (подвѣтреннаго) черезъ—$X_1', X_{II}', X_{III}' \ldots X_n'$.

Изъ сравненія соотвѣтственныхъ подобныхъ треугольииковъ получнмъ слѣдующія выраженія:

Для первой панели:

$$W_0 = O;\quad X_0 = H\,\frac{\lambda_1}{h_1};\quad Y_1 = H\,\frac{d_1}{h_1};$$

$$W_1 = Y_1\,\frac{h_0}{d_1} = H\,\frac{d_1}{h_1}\cdot\frac{h_0}{d_1} = H\,\frac{h_0}{h_1} = H\,\frac{l}{l+\lambda};$$

$$X_1' = Y_1\,\frac{\lambda_1}{d_1} = H\,\frac{d_1}{h_1}\cdot\frac{\lambda_1}{d_1} = H\,\frac{\lambda_1}{h_1}.$$

Для второй панели:

$$X_1 = W_1 \frac{\lambda_1}{h_2} = H \frac{l}{l + \lambda} \cdot \frac{\lambda_1}{h_2};$$

$$Y_2 = W_1 \frac{d_2}{h_2} = H \frac{l}{l + \lambda} \cdot \frac{d_2}{h_2};$$

$$W_2 = Y_2 \frac{h_1}{d_2} = H \frac{l}{l + \lambda} \cdot \frac{d_2}{h_2} \cdot \frac{h_1}{d_2} = H \frac{l}{l + \lambda} \cdot \frac{h_1}{h_2} =$$

$$= H \frac{l}{l + \lambda} \cdot \frac{l + \lambda}{l + 2\lambda} = H \frac{l}{l + 2\lambda};$$

$$X_{II}' = Y_2 \frac{\lambda_1}{d_2} = H \frac{l}{l + \lambda} \cdot \frac{d_2}{h_2} \cdot \frac{\lambda_1}{d_2} = H \frac{l}{l + \lambda} \cdot \frac{\lambda_1}{h_2}.$$

Для третьей панели:

$$X_{II} = W_2 \cdot \frac{\lambda_1}{h_3} = H \frac{l}{l + 2\lambda} \cdot \frac{\lambda_1}{h_3}; \quad Y_3 = W_2 \frac{d_3}{h_3} = H \frac{l}{l + 2\lambda} \cdot \frac{d_3}{h_3};$$

$$W_3 = Y_3 \frac{h_2}{d_3} = H \frac{l}{l + 2\lambda} \cdot \frac{d_3}{h_3} \cdot \frac{h_2}{d_3} = H \frac{l}{l + 2\lambda} \cdot \frac{h_2}{h_3} =$$

$$= H \frac{l}{l + 2\lambda} \cdot \frac{l + 2\lambda}{l + 3\lambda} = H \frac{l}{l + 3\lambda};$$

$$X_{III}' = Y_3 \frac{\lambda_1}{d_3} = H \frac{l}{l + 2\lambda} \cdot \frac{d_3}{h_3} \cdot \frac{\lambda_1}{d_3} = H \frac{l}{l + 2\lambda} \cdot \frac{\lambda_1}{h_3}.$$

Такимъ образомъ, для n-ой панели:

$$X_{n-1} = H \frac{l}{l + (n-1)\lambda} \cdot \frac{\lambda_1}{h_n}; \quad Y_n = H \frac{l}{l + (n-1)\lambda} \cdot \frac{d_n}{h_n}; \quad W_n = H \frac{l}{l + n\lambda};$$

$$X_n' = H \frac{l}{l + (n-1)\lambda} \cdot \frac{\lambda_1}{h_n}. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (304)$$

Слѣдовательно, въ n-ой панели первая стойка или ребро будетъ вытянуто усиліемъ, выражающимся суммою X_0, X_1, X_{II}, ... X_{n-1} (n членовъ), и въ той же панели вторая стойка будетъ сжата усиліемъ, равнымъ суммѣ: X_1', X_{II}', ... X'_{n-1} ($n-1$ членовъ).

Найдемъ выраженіе этихъ суммъ:

$$\Sigma X = X_0 + X_1 + X_2 + \ldots + X_{n-1} =$$

$$= Hl\lambda_1 \left(\frac{1}{lh_1} + \frac{1}{(l + \lambda) h_2} + \frac{1}{(l + 2\lambda) h_3} + \ldots + \frac{1}{[l + (n-1)\lambda] h_n} \right),$$

(n)

но:

$$h_1 = h_n \frac{l + \lambda}{l + n\lambda}; \; h_2 = h_n \frac{l + 2\lambda}{l + n\lambda} \text{ и т. д.,}$$

слѣдовательно:

$$\Sigma X = H \frac{l\lambda_1 (l + n\lambda)}{h_n} \left\{ \frac{1}{l (l + \lambda)} + \frac{1}{(l + \lambda)(l + 2\lambda)} + \ldots + \frac{1}{[l + (n-1)\lambda] (l + n\lambda)} \right\};$$

но

$$\frac{1}{l\,(l+\lambda)}+\frac{1}{(l+\lambda)\,(l+2\lambda)}=\frac{2}{l\,(l+2\lambda)};\quad \frac{1}{l\,(l+\lambda)}+\frac{1}{(l+\lambda)\,(l+2\lambda)}+$$

$$+\frac{1}{(l+2\lambda)\,(l+3\lambda)}=\frac{3}{l\,(l+3\lambda)};$$

по аналогіи:

$$\left\{\frac{1}{l\,(l+\lambda)}+\frac{1}{(l+\lambda)\,(l+2\lambda)}+\ldots+\frac{1}{[l+(n-1)\lambda]\,(l+n\lambda)}\right\}=\frac{n}{l\,(l+n\lambda)},$$

слѣдовательно:

$$\Sigma X=H\frac{l\lambda_1\,(l+n\lambda)}{h_n}\cdot\frac{n}{l(l+n\lambda)}=H\lambda_1\frac{n}{h_n}\quad\ldots\quad(305)$$

Подобнымъ образомъ:

$$\Sigma X'=X_I'+X_{II}'+\ldots+X'_{n-1}=H\lambda_1 l\left\{\overbrace{\frac{1}{lh_1}+\frac{1}{(l+\lambda)\,h_2}+\ldots+\frac{1}{[l+(n-2)\lambda]h_{n-1}}}^{n-1}\right\}=$$

$$=H\frac{\lambda_1\,(n-1)}{h_{n-1}}\quad\ldots\quad(306)$$

Слѣдовательно, если взять еще въ расчетъ вліяніе вертикальной нагрузки на ребро, то въ n-ой панели первая стойка будетъ сжата усиліемъ:

$$Q\frac{\lambda_1}{\lambda}-H\frac{\lambda_1 n}{h_n},\quad\ldots\quad(307)$$

а вторая стойка сжата усиліемъ:

$$Q\frac{\lambda_1}{\lambda}+H\frac{\lambda_1\,(n-1)}{h_{n-1}}\quad\ldots\quad(308)$$

Если вѣсъ половины каждаго этажа G, то, окончательно, первая стойка въ нижней (n-ой) панели сжата усиліемъ:

$$(Q+nG)\frac{\lambda_1}{\lambda}-H\frac{\lambda_1 n}{h_n},\quad\ldots\quad(309)$$

а вторая стойка въ той же панели сжата усиліемъ:

$$(Q+nG)\frac{\lambda_1}{\lambda}+H\frac{\lambda_1\,(n-1)}{h_{n-1}}\quad\ldots\quad(310)$$

Усиліе въ раскосѣ тамъ же:

$$Y_n=H\frac{l}{l+(n-1)\lambda}\cdot\frac{d_n}{h_n}\quad\ldots\quad(311)$$

Усиліе въ стяжкѣ:

$$W_n=H\frac{l}{l+n\lambda}\quad\ldots\quad(312)$$

Если:

$$(Q+nG)\frac{\lambda_1}{\lambda}<H\frac{\lambda_1 n}{h_n},$$

тогда первая стойка вытянута усиліемъ:

$$H\frac{\lambda_1 n}{h}-(Q+nG)\frac{\lambda_1}{\lambda},$$

и, слѣдовательно, закрѣпленіе стойки въ каменной кладкѣ, какъ и стыковыя сопряженія стойки, должны сопротивляться этому усилію.

Второй пріемъ. Кромѣ изложеннаго пріема, основаннаго на разложеніи силъ, усилія, вызванныя въ элементахъ опоры дѣйствіемъ вѣтра, можно опредѣлить еще другимъ путемъ, примѣняя три основныхъ уравненія, опредѣляющихъ условіе равновѣсія силъ, дѣйствующихъ въ одной плоскости. Пріемъ будетъ состоять въ томъ, что, отдѣливъ мысленно верхнюю часть опоры, въ которой находится данная сила, т. е. давленіе вѣтра,—предполагаютъ приложенными къ отсѣченнымъ ребрамъ искомыя въ нихъ усилія и составляютъ три основныхъ уравненія равновѣсія. (Можно было бы разсматривать и нижнюю отсѣченную часть, но для этого необходимо было бы опредѣлить предварительно сопротивленія опоръ). По числу уравненій можно уже видѣть, что наибольшее число засѣкаемыхъ реберъ можетъ быть не болѣе трехъ. Вмѣсто того, чтобы составить три уравненія, выражающія условіе равновѣсія силъ, дѣйствующихъ въ одной плоскости, можно написать три уравненія моментовъ, выбирая точку, относительно которой составляется моментъ, такимъ образомъ, чтобы въ выраженіе момента входило каждый разъ лишь одно изъ неизвѣстныхъ усилій. (См. подробности въ изложеніи способа Риттера въ примѣненіи къ фермамъ со сквозной стѣнкой).

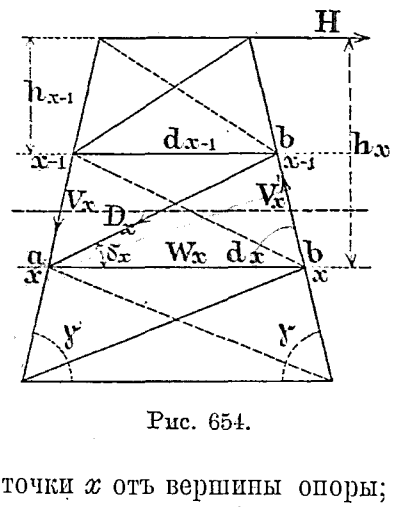


Рис. 654.

Пусть на рис. 654 раскосы, обозначенные пунктиромъ, представляютъ ту систему, которая не работаетъ. Пусть H — горизонтальная сила, приложенная въ вершинѣ быка; V_x и V_x' — усилія въ двухъ ребрахъ въ панели $(x, x-1)$; D_x — усиліе раскоса, находящагося въ той же панели; d_x — разстояніе между ребрами въ плоскости xx; W_x — усиліе распорки въ этой плоскости; h_x — разстояніе точки x отъ вершины опоры; γ—уголъ, составляемый ребромъ съ горизонталью въ плоскости грани; δ_x—перемѣнный уголъ наклоненія раскосовъ. Чтобы опредѣлить, будутъ ли усилія V_x и V_x' сжимающія или вытягивающія,—разсматриваемъ условіе равновѣсія верхней отсѣченной части и составляемъ моменты относительно точки встрѣчи остальныхъ двухъ пересѣченныхъ реберъ, при чемъ, по правилу Риттера (см. расчетъ сквозныхъ фермъ), предполагаемъ a priori, что искомыя внутреннія усилія V_x и V_x'—вытягивающія. Для даннаго случая, предполагая V_x' вытягивающимъ усиліемъ и составляя моментъ силъ относительно точки a, получимъ:

$$Hh_x + V_x' d_x \sin\gamma = 0,$$

откуда:

$$V_x' = -\frac{Hh_x}{d_x \sin\gamma}, \quad \ldots\ldots\ldots \quad (313)$$

т. е. V_x'—сжимающее усиліе и должно быть направлено внутрь ребра верхней отсѣченной части. Составляя моментъ отиосительно точки b, получимъ:

$$Hh_{x-1} - V_x d_{x-1} \sin\gamma = 0,$$

откуда:

$$V_x = \frac{Hh_{x-1}}{d_{x-1} \sin\gamma}, \quad \ldots\ldots\ldots \quad (314)$$

т. е. V_x—вытягивающее усиліе и, слѣдовательно, направлено во внѣшнюю сторону. Усилія D_x и W_x можно найти, составивъ моментъ относительно точки встрѣчи двухъ наклонныхъ реберъ. Пусть эта точка встрѣчи O (рис. 655) находится на разстояніи h' отъ вершины опоры. Сдѣлавъ сѣченіе въ предѣлахъ панели $(x, x-1)$, и, предполагая a priori, что D_x — вытягивающее усиліе, составляемъ моментъ относительно точки O, получимъ:

$$-Hh' + D_x OM = 0,$$

но:

$$OM = Ox\,sin(\gamma - \delta_x) = \frac{(h' + h_x)}{sin\,\gamma}\,.\,sin(\gamma - \delta_x).$$

Слѣдовательно:

$$D_x = \frac{H\,.\,h'\,sin\,\gamma}{(h' + h_x)\,sin\,(\gamma - \delta_x)} \quad . \quad . \quad . \quad (315)$$

Такъ какъ результатъ получился положительный, то D_x—дѣйствительно вытягивающее усиліе.

Равнымъ образомъ, сдѣлавъ сѣченіе такъ, чтобы заѣчь d_x, найдемъ:

$$-Hh' - W_x(h' + h_x) = 0;$$

$$W_x = -\frac{Hh'}{h' + h_x}, \quad . \quad . \quad . \quad (316)$$

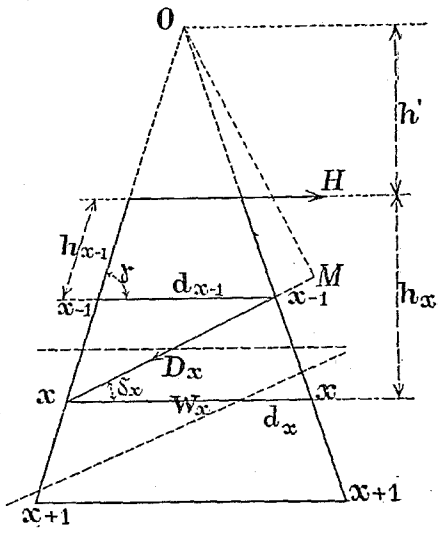


Рис. 655.

т. е. W_x — сжимающее усиліе.

Усилія D_x и W_x можно еще иначе опредѣлить; такъ, написавъ условія равновѣсія, напримѣръ, вертикальныхъ силъ, получимъ:

$$(V_x - V_x')\,sin\,\gamma \pm D\,sin\,\delta_x = 0.$$

Но формулы (313) и (314) показываютъ, что $V_x' > V_x$ или $V_x' = V_x$. Если $V' > V$, то второй членъ со знакомъ $+$ и D_x будетъ вытягивающее усиліе. Слѣдовательно:

$$+D_x = (V_x' - V_x)\frac{sin\,\gamma}{sin\,\delta_x} \quad . \quad . \quad . \quad (316')$$

Для опредѣленія W_x имѣемъ (рис. 656):

$$W_x = D_x\frac{no}{mo} = D_x\,.\,\frac{sin\,(\gamma - \delta_x)}{sin\,\gamma} = (V_x' - V_x)\frac{sin\,(\gamma - \delta_x)}{sin\,\delta_x},$$

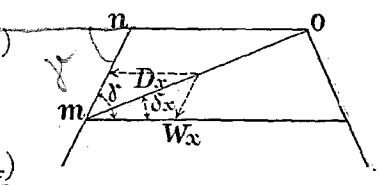


Рис. 656.

причемъ W_x, какъ явствуетъ изъ разложенія силъ, знака противоположнаго съ D_x, т. е.:

$$W_x = -(V_x' - V_x)\frac{sin\,(\gamma - \delta_x)}{sin\,\delta_x} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (316'')$$

Но аналитическое выраженіе:

$$V_x' = \frac{Hh_x}{d_x\,sin\,\gamma}; \quad V_x = \frac{Hh_{x-1}}{d_{x-1}\,sin\,\gamma}; \quad \frac{d_x}{d_{x-1}} = \frac{h' + h_x}{h' + h_{x-1}}; \quad d_{x-1} = d_x\frac{(h' + h_{x-1})}{(h' + h_x)}.$$

Слѣдовательно:

$$V_x = \frac{H\,h_{x-1}\,(h' + h_x)}{d_x\,(h' + h_{x-1})\,sin\,\gamma},$$

$$(V_x' - V_x)\frac{sin\,\gamma}{sin\,\delta_x} = +\frac{Hh_x(h' + h_{x-1}) - Hh_{x-1}(h' + h_x)}{d_x\,(h' + h_{x-1})\,sin\,o_x} = \frac{Hh'\,(h_x - h_{x-1})}{d_x\,(h' + h_{x-1})\,sin\,\delta_x},$$

Но: $\frac{h_x - h_{x-1}}{sin\ \delta_x} = s_x$, если s_x — длина діагонали.

$$d_x\ (h_x' + h_{x-1}) = d_{x-1}\ (h' + h_x).$$

Слѣдовательно: $$(V' - V_x)\frac{sin\ \gamma}{sin\ \delta_x} = \frac{Hh'\ s_x}{d_{x-1}\ (h' + h_x)}.$$

Но: $$\frac{s_x}{d_{x-1}} = \frac{sin\ \gamma}{sin\ (\gamma - \delta_x)}.$$

Слѣдовательно: $$(V' - V_x)\frac{sin\ \gamma}{sin\ \delta_x} = \frac{Hh'\ sin\ \gamma}{(h' + h_x)\ sin\ (\gamma - \delta_x)},$$

т. е. оба выраженія D_x — тождественны.

Найденное рапѣе выраженіе (316′):

$$W_x = -\ (V'_x - V_x)\ \frac{sin\ (\gamma - \delta_x)}{sin\ \delta_x},$$

на основаніи предыдущаго, перепишется такъ:

$$W_x = -\ (V'_x - V_x)\frac{sin\ (\gamma - \delta_x)}{sin\ \delta_x} = -\frac{Hh'\ sin\ \gamma\ sin\ (\gamma - \delta_x)}{(h' + h_x)\ sin\ (\gamma - \delta_x)\ sin\ \gamma} = -\frac{Hh'}{h' + h_x}.$$

Мы до сихъ поръ предполагали, что горизонтальная сила вѣтра приложена въ вершинѣ опоры. Въ дѣйствительности равнодѣйствующая давленій вѣтра на ферму и на подвижной составъ приложена почти всегда выше вершины опоры, съ другой стороны равнодѣйствующая давленія вѣтра на боковую поверхность опоры приложена всегда ниже вершины опоры. Посмотримъ, *какое вліяніе оказываетъ на напряженіе реберъ* относительное положеніе равиодѣйствующей вѣтра. Если v и v' (рис. 657) давленія вѣтра на ферму и на подвижной составъ; h и h' — разстоянія точекъ приложенія этихъ равиодѣйствующихъ отъ вершины опоры, то, при перенесеніи равиодѣйствующей $v + v'$ въ вершину опоры, получится сверхъ того пара съ моментомъ: $v\ .\ h + v'\ .\ h$. Эту пару можно всегда замѣнить другой парой съ плечомъ a и силой: $p = \frac{vh + v'h'}{a}$. Это усиліе p увеличить усиліе ребра (I) и уменьшить на ту же величину усиліе (II). Поэтому вслѣдствіе предположенія, что равнодѣйствующая отъ давленія вѣтра на ферму и подвижной составъ перенесена въ вершину опоры, необходимо взять въ расчетъ происходящее отъ этого дополнительное уеиліе въ ребрахъ. (Не только ребра опоръ, но и ферма съ подвѣтренной стороны болѣе напряжена, чѣмъ противоположиая ферма и именно, на усиліе p', исчисляемое подобнымъ же образомъ отъ переиесенія давленія вѣтра на подвижный составъ въ уровень рельсоваго пути, такъ что при расчетѣ фермъ слѣдуетъ имѣть въ виду это дополнительное усиліе). Отсюда видно, что въ данномъ случаѣ полезно выбрать такой типъ фермъ, чтобы опорная подушка была помѣщена въ высшей точкѣ фермы, такъ какъ тогда $p = \frac{vh - v'h'}{a}$, которое въ извѣстныхъ случаяхъ можетъ быть даже равно нулю. (Подобное расположеніе опорной подушки сдѣлано въ Крумлинскомъ віадукѣ, въ фермахъ віадука въ долинѣ Lyse (рис. 597), гдѣ примѣиеиы параболическія фермы съ нижиимъ

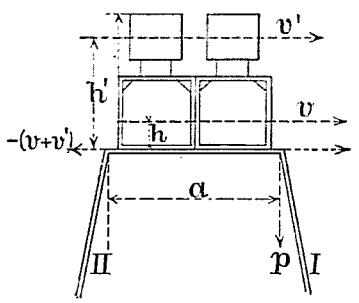


Рис. 657.

криволинейнымъ и верхнимъ горизонтальнымъ поясами, въ американскихъ віадукахъ (рис. 635), гдѣ фермы имѣютъ срѣзанные концы и пр.).

в) Вліяніе несимметричной нагрузки. Пусть (рис. 658) на верхнюю распорку дѣйствуютъ два неодинаковыхъ груза A и B на разстояніяхъ a и b отъ соотвѣтственныхъ вершинъ опоры. Тогда на лѣвую вершину передается грузъ:

$$Q = \frac{B \,.\, b + A\,(h_0 - a)}{h_0},$$

а на правую вершину:

$$Q' = \frac{A \,.\, a + B\,(h_0 - b)}{h_0}.$$

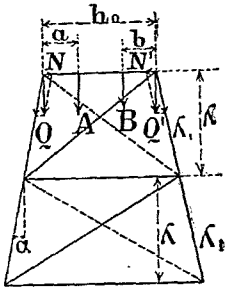


Рис. 658.

Каждое изъ усилій разложится по наклонномуребру и по распоркѣ. Усиліе по лѣвому наклонному ребру:

$$S = Q\frac{\lambda_1}{\lambda} = Q\sec\alpha = Q\sqrt{1 + tg^2\alpha} = Q\sqrt{1 + m^2}.$$

Равнымъ образомъ усиліе, которое передается на правое наклонное ребро:

$$S' = Q'\frac{\lambda_1}{\lambda} = Q'\sqrt{1 + m^2}.$$

Горизонтальныя составляющія:

$$N = Q\,tg\,\alpha = Qm,$$
$$N' = Q'\,tg\,\alpha = Q'm.$$

Если $N > N'$, то, при отсутствіи раскосовъ, верхняя распорка была бы сжата усиліемъ N', а усиліе $N - N'$ произвело бы перекашиваніе опоры, т. е. дѣйствовало бы точно такъ же, какъ вѣтеръ, проложенный въ вершинѣ оноры. Во избѣжаніе перекашиванія необходимо помѣстить раскосы и стяжки или распорки. Если распорки жесткаго сѣченія при плоскихъ діагоналяхъ (раскосы—показанные сплошной чертой), то верхняя распорка будетъ сжата усиліемъ $N' + (N - N') = N$; тѣмъ не менѣе усиліе, которое разложится по діагонали и но правому ребру, будетъ, очевидно, $N - N'$, при чемъ сохраняются въ силѣ всѣ ранѣе выведенныя формулы съ замѣной H черезъ $N - N'$.

Если раскосы жесткаго сѣченія (направленіе, показанное пунктиромъ), а горизонтальныя связи—стяжки, то верхняя распорка остается сжатой усиліемъ N', а усиліе $N - N' = H$ — разложится но жесткому раскосу и по лѣвому ребру, и т. д. Верхняя распорка должна быть, слѣдовательно, настолько жестка, чтобы быть въ состояніи принять сжимающее усиліе N', если $N' < N$.

Если ребра вертикальны, то $N = 0$ и $N' = 0$; слѣдовательно, — и стяжки или распорки не будутъ напряжены, если пренебречь упругой деформаціей.

г) Совмѣстное вліяніе симметричной нагрузки, вѣтра и несимметричной нагрузки. Необходимыя выраженія усилій въ частяхъ опоры легко получатся изъ предыдущаго путемъ суммированія соотвѣтственныхъ выраженій. Замѣтимъ при этомъ, что на усилія въ *наклонныхъ* ребрахъ будутъ вліять, какъ симметричная нагрузка, вѣтеръ, такъ и несимметричная, и послѣдняя — двоякимъ образомъ, т. е. непосредственно и при участіи раскосовъ или стяжекъ и распорокъ. Усилія въ этихъ послѣднихъ (если пренебречь упругой деформаціей) будутъ зависѣть только отъ вѣтра и отъ разности горизонтальныхъ составляющихъ несимметричной нагрузки. Если ребра *вертикальны*, то усилія въ нихъ будутъ зависѣть отъ симметричной

нагрузки, вѣтра и несимметричной нагрузки, дѣйствующей лишь непосредственно; усилія въ раскосахъ, стяжкахъ или распоркахъ, пренебрегая упругой деформаціей, зависятъ только отъ вѣтра. (См. фор. 331, 313′ и 314′ на стр. 924).

Опредѣленіе усилій въ элементахъ плоской опоры при числѣ реберъ болѣе двухъ. Если имѣемъ нѣсколько стоекъ безъ діагоналей и перекрытыхъ общей поперечной насадкой, то давленіе Q, приходящееся на каждую стойку, опредѣлятся по формуламъ неразрѣзной балки. Если между всѣми ребрами помѣщены раскосы (рис. 659, 660 по 665), то, помимо примѣненія начала наименьшей работы или

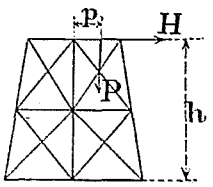


Рис. 659.

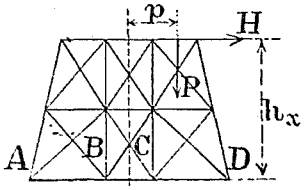
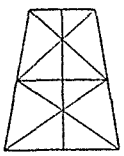
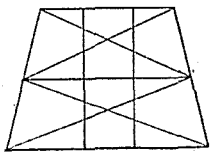


Рис. 660.


Рис. 661.


Рис. 662.

принципа возможныхъ перемѣщеній, опредѣленіе усилій удобнѣе производить пріемомъ, предложеннымъ Nördling'омъ, который приведенъ ниже.

а) *Приближенные пріемы опредѣленія усилій.* Въ зависимости отъ типа опоръ и рода матеріала допускаютъ иногда болѣе упрощенные расчеты. Такъ въ типахъ опоръ, показанныхъ на рис. 661 и 662, средняя или двѣ среднія стойки расчитываются на одну вертикальную нагрузку—симметричную и несимметричную, а крайнія—наклонныя, а также діагонали и распорки или стяжки—по формуламъ, приведеннымъ въ пунктахъ *а*, *б*, *в* и *г* предыдущаго параграфа. Въ довольно распространенномъ у насъ типѣ свайныхъ плоскихъ опоръ (рис. 663) и состоящемъ изъ двухъ, трехъ или четырехъ коренныхъ свай и затѣмъ изъ ряда откосныхъ свай, коренныя сваи (*а*) расчитываются обыкновенно на вертикальную нагрузку, а откосныя сваи (*б*) съ системой раскосовъ и стяжекъ — на дѣйствіе вѣтра. Діагональныя крестообразныя схватки, обжимающія коренныя сваи, конечно, также будутъ сопротивляться дѣйствію вѣтра, несимметричной нагрузки, горизонтальнымъ толчкамъ, неправильности хода поѣзда, но для запаса предполагаютъ, что онѣ не участвуютъ въ сопротивленіи дѣйствію вѣтра и служатъ лишь для связи въ одну жесткую раму всѣхъ коренныхъ свай для лучшаго сопротивленія, главнымъ образомъ, боковымъ толчкамъ. Другое назначеніе этихъ діагоналей, это — взаимно связать лѣвую и правую группу откосныхъ свай въ одно цѣлое, если разсматривать всю опору относительно дѣйствія горизонтальныхъ силъ, какъ балку, задѣланную однимъ концомъ въ стѣну и подверженную дѣйствію изгиба, при чемъ коренныя и откосныя стойки представляютъ собою фибры, а раскосы замѣняютъ собою сцѣпленіе между фибрами, играютъ роль шпонокъ. Въ этомъ случаѣ для того, чтобы обѣ группы откосныхъ свай могли работать при направленіи вѣтра въ ту или другую сторону,—раскосы должны одинаково хорошо сопротивляться сжатію и вытягиванію или, если конструкція такова, что раскосы могутъ принять лишь сжимающее усиліе, слѣдуетъ помѣстить въ каждой панели раскосы двухъ

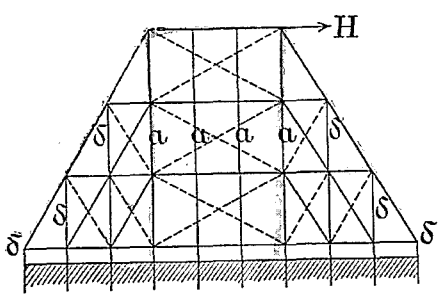


Рис. 663.

направленій (показанные пунктиромъ и сплошной чертой). Большею частью ограничиваются помѣщеніемъ раскосовъ одного направленія, работающаго на сжатіе (сплошная черта), и тогда при дѣйствіи вѣтра изгибу сопротивляются: группа двухъ крайнихъ коренныхъ свай (при указанномъ на рис. 663 направленіи діагоналей, связывающихъ коренныя сваи) вмѣстѣ съ одной группой откосныхъ свай, или, если пренебречь сопротивленіемъ коренныхъ свай дѣйствію вѣтра, то изгибу будетъ сопротивляться только группа откосныхъ свай. При обратномъ направленіи вѣтра будетъ работать другая группа откосныхъ свай, совмѣстно съ двумя коренными или отдѣльно. Отсюда также слѣдуетъ, что при высокихъ опорахъ нельзя обойтись безъ откосныхъ свай, такъ какъ, если ограничиться однѣми коренными, связанными хотя бы попарно раскосами, (рис. 664), то, пренебрегая малымъ сопротивленіемъ среднихъ свай, растягивающее усиліе, которому подвергалась бы свая въ плоскости задѣла: $N = \frac{H \cdot h}{d}$ благодаря малому d, было бы очень значительно; если бы свая даже и не выдернулась, то могло бы произойти раскрытіе сроста свай или стойки опоры. Кромѣ того, благодаря малому d, а слѣдовательно, и малому моменту инерціи $I = 2\omega \left(\frac{d^2}{4} + \frac{d^2}{36}\right)$, гдѣ ω — площадь сѣченія стойки, — получился бы значительный прогибъ въ вершинѣ опоры; необходимо, слѣдовательно, увеличить I въ плоскости задѣла помѣщеніемъ группы откосныхъ свай.

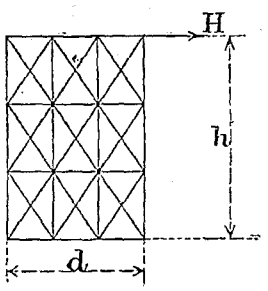


Рис. 664.

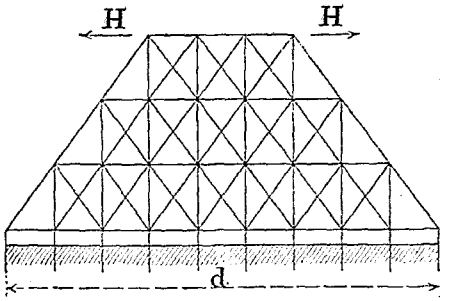


Рис. 665.

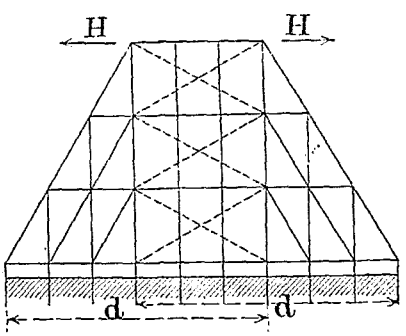


Рис. 666.

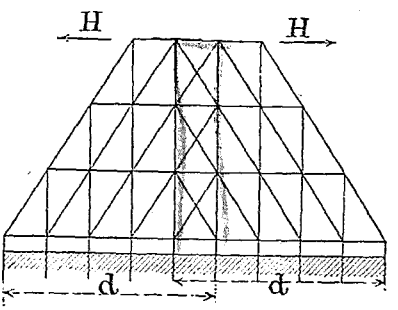


Рис. 667.

Наиболѣе совершенный типъ свайныхъ опоръ, въ которомъ сопротивлялись бы изгибу отъ дѣйствія вѣтра того и другого направленія — не только всѣ коренныя сваи, но и откосныя сваи обѣихъ группъ, — это типъ, показанный на рис. 665 съ раскосами обоихъ направленій и, слѣдовательно, въ плоскости задѣла за d — слѣдуетъ принимать разстояніе между крайними откосными сваями. Менѣе совершенный типъ, но вполнѣ удовлетворяющій требованіямъ устойчивости и прочности показанъ на рис. 666 или рис. 667; оба послѣдніе типа различаются тѣмъ, что въ одиомъ случаѣ между коренными сваями помѣщены крестообразные

раскосы, а въ другомъ—крестообразныя полусхватки. Усилія въ типѣ (рис. 665 и 666) могутъ быть опредѣлены на основаніи принципа возможныхъ перемѣщеній (такъ какъ опора представляетъ ферму статически-неопредѣлимую), но въ случаѣ свайныхъ опоръ также довольствуются приближеннымъ расчетомъ: полагаютъ, что коренныя вертикальныя сваи сопротивляются только вертикальной нагрузкѣ, а наружная откосная свая и наружная укосина и нижняя схватка сопротивляются только дѣйствію вѣтра, причемъ промежуточнымъ откоснымъ сваямъ, раскосамъ и схваткамъ—даютъ такіе же размѣры, какъ и для наружныхъ элементовъ. Въ двухъ послѣднихъ типахъ дѣйствію вѣтра сопротивляется группа двухъ коренныхъ свай и та, либо другая группа откосныхъ свай; значеніе d—въ плоскости задѣла показано въ обоихъ случаяхъ на рисункѣ. Дѣлая это предположеніе, мы вмѣстѣ съ тѣмъ допускаемъ, что откосныя сваи не принимаютъ участія въ сопротивленіи вертикальной нагрузкѣ. Если врубка подкосовъ сдѣлана вполнѣ совершенно, то такое допущеніе, конечно, мало вѣроятно; если же, въ предположеніи плотничной работы, во врубкахъ имѣется нѣкоторый зазоръ, то, предполагая, что размѣры коренныхъ стоекъ таковы, что не можетъ быть бокового выпучиванія,—осадка стойки, вызванная однимъ лишь сжатіемъ — всегда менѣе вѣроятной величины зазора во врубкѣ и, слѣдовательно, передача части вертикальнаго давленія подкосу почти невозможна. Такъ, напримѣръ, при высотѣ опоры въ $6^c = 6 \times 84 = 504''$ и при нагрузкѣ 6 вер. = 10 д. сваи или стойки грузомъ въ 1500 пуд.—сжатіе стойки только:

$$\lambda = \frac{P \,.\, L}{E \,.\, \omega} = \frac{1500 \times 504 \times 4}{50.000 \times 3{,}14 \times 10^2} = 0{,}20 \text{ дюйм.}$$

Замѣтимъ еще, что усилія въ группѣ деревянныхъ откосныхъ свай можно приблизительно опредѣлить, разсматривая каждую стойку какъ отдѣльное волокно составного бруса, гдѣ раскосы играютъ роль шпонокъ (рис. 669), предполагая, что сѣченіе стоекъ одинаково и что усилія измѣняются по закону прямой линіи. Такъ напр., для нижней панели:

$$M = N\,3d + N'd;\ \frac{N'}{N} = \frac{\frac{d}{2}}{\frac{3}{2}d} = \frac{1}{3},$$

если $M = H \,.\, h$—сгибающій моментъ; N—усиліе въ двухъ крайнихъ стойкахъ; N'—усиліе въ двухъ среднихъ стойкахъ.

б) *Опредѣленіе усилій на основаніи принципа возможныхъ перемѣщеній.* Въ нижеслѣдующемъ изложена сущность этого пріема, къ которому прибѣгаютъ, когда имѣютъ дѣло съ статически-неопредѣлимыми фермами, и затѣмъ покажемъ примѣненіе его къ простому случаю, когда напр., опредѣлются усилія только въ элементахъ группы откосныхъ свай подъ дѣйствіемъ горизонтальной силы, приложенной въ вершинѣ опоры (рис. 668 и рис. 672). Еслибы даже предположить, что сваи въ типѣ (рис. 668) не задѣланы, а только закрѣплены, т. е. что каждая изъ нихъ можетъ имѣть по двѣ составляющихъ опорнаго сопротивленія, то въ разематриваемомъ типѣ всего неизвѣстныхъ величинъ (усилій въ ребрахъ и опорныхъ сопротивленій): $18 + 2 \times 4 = 26$. Условныхъ же уравненій равновѣсія по числу узловъ: $2 \times 10 = 20$; слѣдовательно, ферма статически неопредѣлимая. Въ типѣ (рис. 672) если также предположить, что всѣ опоры закрѣплены,—имѣемъ 15 неизвѣстныхъ и 12 условныхъ уравненій. Если даже только одна опора закрѣплена, а остальныя — допускаютъ горизонтальное перемѣщеніе, то имѣютъ 13 неизвѣстныхъ и 12 условныхъ уравненій, т. е. и въ данномъ случаѣ опора статически неопредѣлимая.

Переходимъ къ изложенію сущности пріема.

Изображенная на рис. 670 ферма статически неопредѣлимая; эта ферма обратится въ статически опредѣлимую, если, напримѣръ, откинуть всѣ раскосы, показанные пунктиромъ. Пусть число составныхъ частей или связей m, при чемъ число связей, опредѣляющихъ неизмѣняемость фермы (показанныхъ сплошной чертой), т. е. *необходимое* число связей пусть

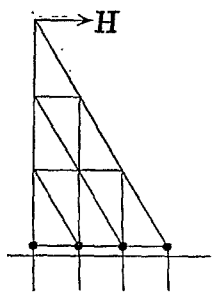
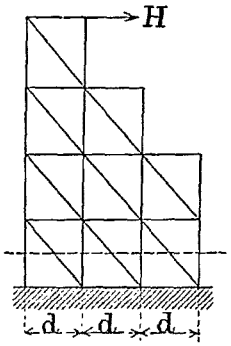


Рис. 668.



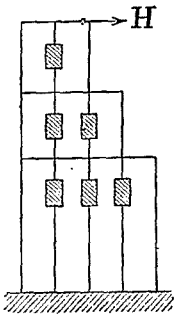


Рис. 669.

будетъ n, и пусть ихъ длины будутъ $l_1, l_2, l_3 \ldots\ldots l_n$, вообще l_x, а число *излишнихъ* связей u (показанныхъ пунктиромъ) длиною соотвѣтственно $l_1', l_1'', l_1''' \ldots\ldots l^u$ и вообще l^z, при чемъ, очевидно: $m = n + u$.

Назовемъ далѣе чрезъ $S_1, S_2, S_3 \ldots\ldots S_n$ искомыя усилія первой группы (*необходимыхъ*) связей, а черезъ $S', S'', S''' \ldots\ldots S^u$—искомыя усилія въ *излишнихъ* связяхъ.

Пусть далѣе $S_1^0, S_2^0, S_3^0 \ldots\ldots S_n^0$—усилія первой группы связей въ предположеніи, что *излишнія связи мысленно устранены*; затѣмъ пусть $\sigma_1', \sigma_1'' \ldots\ldots \sigma_1^u$; $\sigma_2', \sigma_2'' \ldots\ldots \sigma_2^u$; $\sigma_n', \sigma_n'' \sigma_n''' \ldots\ldots \sigma_n^u$— усилія въ необходимыхъ связяхъ l_1, $l_2 \ldots\ldots l_n$ — вызванныя послѣдовательно усиліями 1, приложенными поочередно взамѣнъ мысленно устраненныхъ излишнихъ связей (рис. 671),

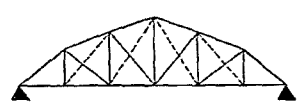


Рис. 670.

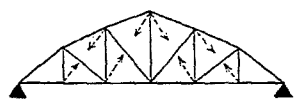


Рис. 671.

но дѣйствующими по направленію соотвѣтствующихъ устраненныхъ связей. Если усилія 1 замѣнить искомыми усиліями $S', S'', S''' \ldots S^u$, то вызванныя ими усилія въ группѣ необходимыхъ связей будутъ, очевидно:

$$\left.\begin{array}{l} S'\sigma_1', \; S''\sigma_1'', \; S'''\sigma_1''', \ldots\ldots S^u\sigma_1^u \\ S'\sigma_2', \; S''\sigma_2'', \; S'''\sigma_2''', \ldots\ldots S^u\sigma_n^u \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ S'\sigma_n', \; S''\sigma_n'', \; S'''\sigma_n''', \ldots\ldots S^u\sigma_n^u \end{array}\right\} \ldots\ldots\ldots\ldots (317)$$

Такимъ образомъ, полныя усилія необходимыхъ связей будутъ:

$$\left.\begin{array}{l} S_1 = S_1^0 + S'\sigma_1' + S''\sigma_1'' + S'''\sigma_1''' + \ldots + S^u\sigma_1^u \\ S_2 = S_2^0 + S'\sigma_2' + S''\sigma_2'' + S'''\sigma_2''' + \ldots + S^u\sigma_2^u \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ S_n = S_n^0 + S'\sigma_n' + S''\sigma_n'' + S'''\sigma_n''' + \ldots + S^u\sigma_n^u \end{array}\right\} \ldots\ldots\ldots (318)$$

при чемъ остаются еще неизвѣстными усилія въ излишнихъ связяхъ: $S', S'', \ldots\ldots S^u$.

Чтобы опредѣлить эти послѣднія, пользуются слѣдующимъ разсужденіемъ:

Если $P', P'', P''', \ldots$ данныя внѣшнія силы; $\delta', \delta'', \delta''' \ldots$ безконечно-малыя перемѣщенія по направленіе дѣйствія этихъ силъ; $S_1, S_2 \ldots S_n$—искомыя усилія въ необходимыхъ связяхъ; $\Delta l_1, \Delta l_2, \ldots \Delta l_n$ и вообще Δl_x—перемѣщенія по направленію дѣйствія усилія въ этихъ связяхъ; $S', S'', S''', \ldots S^u$—искомыя усилія въ лишнихъ связяхъ; $\Delta l', \Delta l'', \ldots \Delta l^u$ и вообще Δl^z—перемѣщенія по направленію дѣйствія усилія въ этихъ связяхъ, то на основаніи начала возможныхъ перемѣщеній, по которому въ случаѣ равновѣсія между внѣшними силами ($P', P'', P''', \ldots S', S'', \ldots S''$) и внутренними силами ($S_1, S_2, \ldots S_n$) должно существовать равенство работъ:

$$\Sigma P\delta + \Sigma S^z \Delta l^z = \Sigma S_x \Delta l_x$$

$$\Sigma P\delta + S'\Delta l' + S''\Delta l'' + \ldots S^u\Delta l^u = S_1 \Delta l_1 + S_2 \Delta l_2 \ldots S_n \Delta l_n.$$

Полагая всѣ P и всѣ S^x за исключеніемъ одной поочередно равными нулю и пользуясь (318) получимъ:

$$S'\Delta l' = S'\sigma_1'\,\Delta l_1 + S'\sigma_2'\,\Delta l_2 + \ldots + S'\sigma_n'\,\Delta l_n,$$

$$S''\Delta l'' = S''\sigma_1''\,\Delta l_1 + S''\sigma_2''\,\Delta l_2 + \ldots + S''\sigma_n''\,\Delta l_n,$$

$$\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$$

$$S^u\Delta l^u = S^u\sigma_1^u\,\Delta l_1 + S^u\sigma_2^u\,\Delta l_2 + \ldots + S^u\sigma_n^u\,\Delta l_n,$$

такъ какъ при $P=0$ и $S_1^0=0$, $S_2^0=0$, . . . и т. д.

Слѣдовательно, по сокращеніи получимъ:

$$\left.\begin{aligned}
\Delta l' &= \sigma_1'\Delta l_1 + \sigma_2'\Delta l_2 + \ldots + \sigma_n'\Delta l_n \\
\Delta l'' &= \sigma_1''\Delta l_1 + \sigma_2''\Delta l_2 + \ldots + \sigma_n''\Delta l_n \\
&\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\
\Delta l^u &= \sigma_1^u\Delta l_1 + \sigma_2^u\Delta l_2 + \ldots + \sigma_n^u\Delta l_n
\end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (319)$$

Но

$$\Delta l^x = \frac{S^x l^x}{E\omega^x}, \quad \Delta l_x = \frac{S_x l_x}{E\omega_x}.$$

Слѣдовательно:

$$\frac{S' l'}{E\omega'} = \sigma_1'\frac{S_1 l_1}{E\omega_1} + \sigma_2'\frac{S_2 l_2}{E\omega_2} + \ldots + \sigma_n'\frac{S_n l_n}{E\omega_n},$$

$$\frac{S'' l''}{E\omega''} = \sigma_1''\frac{S_1 l_1}{E\omega_1} + \sigma_2''\frac{S_2 l_2}{E\omega_2} + \ldots + \sigma_n''\frac{S_n l_n}{E\omega_n},$$

$$\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$$

$$\frac{S^u l^u}{E\omega^u} = \sigma_1^u\frac{S_1 l_1}{E\omega_1} + \sigma_2^u\frac{S_2 l_2}{E\omega_2} + \ldots + \sigma_n^u\frac{S_n l_n}{E\omega_n},$$

или:

$$\left.\begin{aligned}
S' &= \frac{\omega'}{\omega_1}\cdot\frac{l_1}{l'}\sigma_1'S_1 + \frac{\omega'}{\omega_2}\frac{l_2}{l'}\sigma_2'S_2 + \ldots + \frac{\omega'}{\omega_n}\frac{l_n}{l'}\sigma_n'S_n \\
S'' &= \frac{\omega''}{\omega_1}\cdot\frac{l_1}{l''}\sigma_1''S_1 + \frac{\omega''}{\omega_2}\frac{l_2}{l''}\sigma_2''S_2 + \ldots + \frac{\omega''}{\omega_n}\frac{l_n}{l''}\sigma_n''S_n \\
&\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\
S^u &= \frac{\omega^u}{\omega_1}\cdot\frac{l_1}{l^u}\sigma_1^uS_1 + \frac{\omega^u}{\omega_2}\frac{l_2}{l^u}\sigma_2^uS_2 + \ldots + \frac{\omega^u}{\omega_n}\frac{l_n}{l^u}\sigma_n^uS_n
\end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots \quad (320)$$

или, означая:

$$\frac{\omega'}{l'} = k'; \ \frac{\omega''}{l''} = k''; \ \frac{\omega^u}{l^u} = k^u; \ \frac{\omega_1}{l_1} = k_1; \ \frac{\omega_2}{l_2} = k_2; \ \frac{\omega_n}{l_n} = k_n,$$

получимъ:

$$\left.\begin{aligned}
S' &= \frac{k'}{k_1}\sigma_1'S_1 + \frac{k'}{k_2}\sigma_2'S_2 + \ldots + \frac{k'}{k_n}\sigma_n'S_n \\
S'' &= \frac{k''}{k_1}\sigma_1''S_1 + \frac{k''}{k_2}\sigma_2''S_2 + \ldots + \frac{k''}{k_n}\sigma_n''S_n \\
S''' &= \frac{k'''}{k_1}\sigma_1'''S_1 + \frac{k'''}{k_2}\sigma_2'''S_2 + \ldots + \frac{k'''}{k_n}\sigma_n'''S_n \\
&\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\
S^u &= \frac{k^u}{k_1}\sigma_1^uS_1 + \frac{k^u}{k_2}\sigma_2^uS_2 + \ldots + \frac{k^u}{k_n}\sigma_n^uS_n
\end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (321)$$

Присоединяя эти уравненія, числомъ u, къ группѣ уравненій (318), число которыхъ—n получимъ всего $u+n=m$ уравненій для опредѣленія всѣхъ пензвѣстныхъ:

$$S_1, S_2, S_3, \ldots S_n, S', S'', S''', \ldots S^u.$$

Если выраженія (318) поставить въ (321), то для опредѣленія S', S'', S''', ... S^u уснлій въ

лишнихъ связяхъ, получимъ выраженія:

$$\left.\begin{aligned}
S' &= \frac{k'}{k_1}\sigma_1'(S_1^0 + S'\sigma_1' + S''\sigma_1'' + \ldots + S^u\sigma_1^u) + \frac{k'}{k_2}\sigma_2'(S_2^0 + S'\sigma_2' + S''\sigma_2'' + \ldots + S^u\sigma_2^u) + \\
&\quad + \ldots + \frac{k'}{k_n}\sigma_n'(S_n^0 + S'\sigma_n' + S''\sigma_n'' + \ldots + S^u\sigma_n^u), \\
S'' &= \frac{k''}{k_1}\sigma_1''(S_1^0 + S'\sigma_1' + S''\sigma_1'' + \ldots + S^u\sigma_1^u) + \frac{k''}{k_2}\sigma_2''(S_2^0 + S'\sigma_2' + S''\sigma_2'' + \ldots + S^u\sigma_2^u) + \\
&\quad + \ldots + \frac{k''\sigma_n''}{k_n}(S_n^0 + S'\sigma_n' + S''\sigma_n'' + \ldots + S^u\sigma_n^u), \\
&\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\
S^u &= \frac{k^u}{k_1}\sigma_1^u(S_1^0 + S'\sigma_1' + S''\sigma_1'' + \ldots + S^u\sigma_1^u) + \frac{k^u}{k_2}\sigma_2^u(S_2^0 + S'\sigma_2' + S''\sigma_2'' + \ldots + S^u\sigma_2^u) + \\
&\quad + \ldots + \frac{k^u\sigma_n^u}{k_n}(S_n^0 + S'\sigma_n' + S''\sigma_n'' + \ldots + S^u\sigma_n^u),
\end{aligned}\right\} \quad (322)$$

или:

$$\left.\begin{aligned}
&S'\left\{k'\Sigma_1^n\frac{\sigma'^2}{k} - 1\right\} + S''k'\Sigma_1^n\frac{\sigma'\sigma''}{k} + S'''k'\Sigma_1^n\frac{\sigma'\sigma'''}{k} + \ldots\ldots + S^uk'\Sigma_1^n\frac{\sigma'\sigma^u}{k} + k'\Sigma_1^n\frac{S^0\sigma'}{k} = 0 \\
&S''k''\Sigma_1^n\frac{\sigma''\sigma'}{k} + S''\left\{k''\Sigma_1^n\frac{\sigma''^2}{k} - 1\right\} + S'''k''\Sigma_1^n\frac{\sigma'\sigma'''}{k} + \ldots\ldots + S^uk''\Sigma_1^n\frac{\sigma''\sigma^u}{k} + k''\Sigma_1^n\frac{S^0\sigma''}{k} = 0 \\
&S'k'''\Sigma_1^n\frac{\sigma'''\sigma'}{k} + S''k'''\Sigma_1^u\frac{\sigma'''\sigma''}{k} + S'''\left\{k'''\Sigma_1^u\frac{\sigma'''^2}{k} - 1\right\} + \ldots + S^uk'''\Sigma_1^n\frac{\sigma'''\sigma^u}{k} + k'''\Sigma_1^u\frac{S^0\sigma'''}{k} = 0 \\
&\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\
&S'k^u\Sigma_1^n\frac{\sigma^u\sigma'}{k} + S''k^u\Sigma_1^n\frac{\sigma^u\sigma''}{k} + S'''k^u\Sigma_1^n\frac{\sigma^u\sigma'''}{k} + \ldots\ldots + S^u\left\{k^u\Sigma_1^n\frac{(\sigma^u)^2}{k} - 1\right\} + k^u\Sigma_1^n\frac{S^0\sigma^u}{k} = 0
\end{aligned}\right\} \quad (323)$$

Рѣшая эти уравненія, найдемъ усилія въ излишнихъ связяхъ S', S'', ... S^u, а затѣмъ на основаніи (318) найдемъ и полныя усилія въ первой группѣ частей, т. е. S_1, S_2, S_3 .... S^i

При выводѣ предыдущихъ формулъ мы предполагали, что излишнія части это — ребра фермы, но подъ излишними частями можно подразумѣвать и опорныя сопротивленія, которыя въ зависимости отъ природы опоръ могутъ допускать или не допускать той или другой составляющей опорнаго сопротивленія. Положимъ, напримѣръ, что всѣ излишнія части опорныя сопротивленія (многопролетная балка) съ неупругими, неподвижными опорами. Тогда въ выраженіи (319) $\Delta l^z = 0$, и поэтому (319) приметъ видъ:

$$0 = \sigma_1^z\Delta l_1 + \sigma_2^z\Delta l_2 + \sigma_3^z\Delta l_3 + \ldots\ldots + \sigma_n^z\Delta l_n \quad \ldots\ldots\ldots \quad (319')$$

Замѣняя Δl_x чрезъ $\frac{S_x l_x}{E\omega_x}$ и давая указателю z — различныя значенія отъ 1 до u, получимъ изъ предыдущаго такой рядъ, откидывая множитель $\frac{1}{E}$:

$$\left.\begin{aligned}
0 &= \sigma_1'S_1\frac{l_1}{\omega_1} + \sigma_2'S_2\frac{l_2}{\omega_2} + \sigma_3'S_3\frac{l_3}{\omega_3} + \ldots\ldots + \sigma_n'S_n\frac{l_n}{\omega_n} \\
0 &= \sigma_1''S_1\frac{l_1}{\omega_1} + \sigma_2''S_2\frac{l_3}{\omega_2} + \sigma_3''S_3\frac{l_3}{\omega_3} + \ldots\ldots + \sigma_n''S_n\frac{l_n}{\omega_n} \\
&\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\
0 &= \sigma_1^uS_1\frac{l_1}{\omega_1} + \sigma_2^uS_2\frac{l_2}{\omega_2} + \sigma_3^uS_3\frac{l_3}{\omega_3} + \ldots\ldots + \sigma_n^uS_n\frac{l_n}{\omega_n}
\end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots \quad (320')$$

или, согласно прежнему обозначенію:

$$\left.\begin{aligned}
0 &= \frac{\sigma_1'S_1}{k_1} + \sigma_2'\frac{S_2}{k_2} + \sigma_3'\frac{S_3}{k_3} + \ldots\ldots + \sigma_n'\frac{S_n}{k_n} \\
0 &= \sigma_1''\frac{S_1}{k_1} + \sigma_2''\frac{S_2}{k_2} + \sigma_3''\frac{S_3}{k_3} + \ldots\ldots + \sigma_n''\frac{S_n}{k_n} \\
&\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\
0 &= \sigma_1^u\frac{S_1}{k_1} + \sigma_2^u\frac{S_2}{k_2} + \sigma_3^u\frac{S_3}{k_3} + \ldots\ldots + \sigma_n^u\frac{S_n}{k_n}
\end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (321')$$

Всего u уравненій, которыя, по присоединеніи къ n уравненіямъ (315), позволятъ найти $n + u = m$ неизвѣстныхъ.

Вставляя значенія S_1, S_2, S_3, ... S_n изъ (318) въ выраженіе (321′), получимъ:

$$\left.\begin{aligned}
0 &= \frac{\sigma_1'}{k_1}(S_1^0 + S'\sigma_1' + S''\sigma_1'' + \ldots + S^u\sigma_1^u) + \frac{\sigma_2'}{k_2}(S_2^0 + S'\sigma_2' + S''\sigma_2'' + \ldots + S^u\sigma_2^u) + \ldots + \\
&\quad + \frac{\sigma_n'}{k_n}(S_n^0 + S'\sigma_n' + \ldots + S^u\sigma_n^u), \\
0 &= \frac{\sigma_1''}{k_1}(S_1^0 + S'\sigma_1' + S''\sigma_1'' + \ldots + S^u\sigma_1^u) + \frac{\sigma_2''}{k_2}(S_2^0 + S'\sigma_2' + S''\sigma_2'' + \ldots + S^u\sigma_2^u) + \ldots + \\
&\quad + \frac{\sigma_n''}{k_n}(S_n^0 + S'\sigma_n' + S''\sigma_n'' + \ldots + S^u\sigma_n^u), \\
&\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\
0 &= \frac{\sigma_1^u}{k_1}(S_1^0 + S'\sigma_1' + S''\sigma_1'' + \ldots + S^u\sigma_1^u) + \frac{\sigma_2^u}{k_2}(S_2^0 + S'\sigma_2' + S''\sigma_2'' + \ldots + S^u\sigma_2^u) + \ldots + \\
&\quad + \frac{\sigma^u}{k_n^u}(S_n^0 + S'\sigma_n' + S''\sigma_n'' + \ldots + S^u\sigma_n^u)
\end{aligned}\right\} \quad (322')$$

или:

$$\left.\begin{aligned}
&S'\Sigma_1^n\frac{\sigma'^2}{k} + S''\Sigma_1^n\frac{\sigma'\sigma''}{k} + S'''\Sigma_1^n\frac{\sigma'\sigma'''}{k} + \ldots\ldots + S^u\Sigma_1^n\frac{\sigma'\sigma^u}{k} + \Sigma_1^n\frac{S^0\sigma'}{k} = 0 \\
&S'\Sigma_1^n\frac{\sigma''\sigma'}{k} + S''\Sigma_1^n\frac{\sigma''^2}{k} + S'''\Sigma_1^n\frac{\sigma''\sigma'''}{k} + \ldots\ldots + S^u\Sigma_1^n\frac{\sigma''\sigma^u}{k} + \Sigma_1^n\frac{S^0\sigma''}{k} = 0 \\
&S'\Sigma_1^n\frac{\sigma'''\sigma'}{k} + S''\Sigma_1^n\frac{\sigma'''\sigma''}{k} + S'''\Sigma_1^n\frac{\sigma'''^2}{k} + \ldots\ldots + S^u\Sigma_1^n\frac{\sigma'''\sigma^u}{k} + \Sigma_1^n\frac{S^0\sigma'''}{k} = 0 \\
&\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\
&\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\
&S'\Sigma_1^n\frac{\sigma^u\sigma'}{k} + S''\Sigma_1^n\frac{\sigma^u\sigma''}{k} + S'''\Sigma_1^n\frac{\sigma^u\sigma'''}{k} + \ldots\ldots + S^u\Sigma_1^n\frac{(\sigma^u)^2}{k} + \Sigma_1^n\frac{S^0\sigma^u}{k} = 0
\end{aligned}\right\} \quad (323')$$

Изъ этихъ n уравненій могутъ быть найдены: S', S'', . . . S^u, а затѣмъ, на основаніи (318) и остальныя извѣстныя: S_1, S_2, S_3 . . . . . S_n.

Покажемъ примѣненіе этого пріема на простомъ примѣрѣ, указанномъ на рис. 672. Пусть на вершину оноры (рис. 672) дѣйствуетъ горизонтальная сила, положимъ 400 пуд.; всѣ составныя части опоры предположимъ постояннаго сѣченія діаметромъ 5 вер. около $d = 9$ д.; пусть уголъ $\alpha = 45°$. Такъ какъ одна изъ опоръ (A) должна быть закрѣпленной (съ двумя опорными сопротивленіями), а остальныя двѣ могутъ представлять свободно опирающіяся опоры (съ одной составляющей), то всего неизвѣстныхъ будетъ: $9 + 2 \times 1 + 1 + 1 = 13$, а условныхъ уравненій $2 \times 0 = 12$; слѣдовательно, откинуть нужно одну неизвѣстную, но такъ, чтобы не нарушалась неизмѣняемость системы. Напримѣръ, откинемъ опору C. Для опредѣленія A гор., A вер., B и 9 неизвѣстныхъ усилій въ частяхъ фермы можемъ воспользоваться совмѣстнымъ рѣшеніемъ 12 условныхъ уравненій, но рѣшеніе будетъ найдено скорѣе, если опредѣлимъ отдѣльно сопротивленія опоръ, а затѣмъ и усилія въ частяхъ фермы.

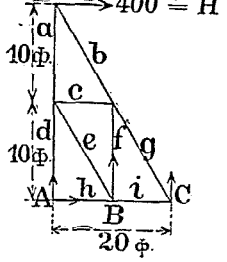


Рис. 672.

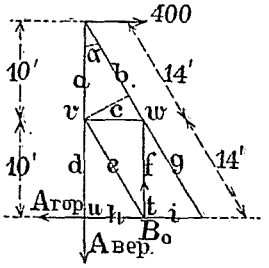


Рис. 673.



Составляя моментъ относительно B, находимъ (рис. 672):

$$400 \times 20 + A\text{ вер.} \times 10 + A\text{ гор.} \;.\; 0 = 0;\quad A\text{ вер.} = -\frac{400 \times 20}{10} = -800\text{ п.}$$

Составляя моментъ относительно A, имѣемъ:

$$400 \times 20 - B \times 10 = 0;\quad B = \frac{400 \times 20}{10} = +800.$$

Для полученія значенія A гор., пользуемся условіемъ $\Sigma X = 0$:

$$400 + A\text{ гор.} = 0;\quad A\text{ гор.} = -400\text{ пуд.}$$

Слѣдовательно, A гор. и A вер. и B должны имѣть то направленіе, какое указано на рис. 673.

Замѣтимъ, что такъ какъ предположено, что $C=0$, а элементы g и i не взаимнопротивоположны, то, слѣдовательно, $g=0$ и $i=0$. Поэтому усилія въ остальныхъ частяхъ могутъ быть найдены простымъ разложеніемъ силъ, или, по способу статическихъ моментовъ. Разсматривая верхнюю отсѣченную часть и составивъ моментъ относительно точки w (рис. 673), получимъ:

$$400 \times 10 - a \times 10 = 0; \quad a = +\frac{400 \times 10}{10} = +400 \text{ пуд. выт.}$$

Составивъ моментъ относиссельно точки v:

$$400 \times 10 + b \,.\, a \sin \alpha = 400 \times 10 + b \times 10 \times 0{,}707 = 0;$$

$$b = -\frac{400 \times 10}{10 \times 0{,}707} = -566 \text{ пуд. сжат.}$$

Сдѣлавъ сѣченіе чрезъ a и f такъ, чтобы засѣчь c и замѣчая, что $i=0$, пользуемся условіемъ $\Sigma X = 0$. Тогда:

$$400 - c = 0; \quad c = +400 \text{ пуд. выт.}$$

Сдѣлавъ сѣченіе чрезъ d, e и f и составивъ моментъ относительно точки t и замѣчая, что $g=0$, получимъ:

$$400 \times 20 - d \times 10 = 0; \quad d = +\frac{400 \times 20}{10} = +800 \text{ пуд. выт.}$$

Составивъ моментъ относительно точки v, имѣемъ:

$$400 \times 10 + f \,.\, 10 = 0;$$

$$f = -400 \text{ пуд. сж.}$$

Для опредѣленія e пользуемся условіемъ $\Sigma X = 0$, тогда:

$$+400 + e \sin \alpha = 0,$$

$$e = -\frac{400}{0{,}707} = -566 \text{ пуд.-сж.}$$

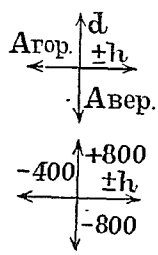


Рис. 674.

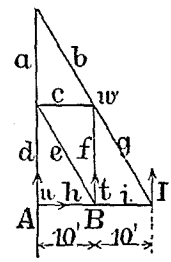


Рис. 675.

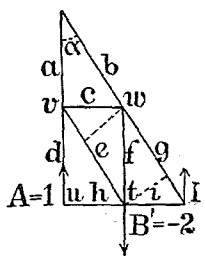


Рис. 676.

Для опредѣленія h пишемъ условіе равновѣсія силъ около точки u, откуда (рис. 674):

$$-400 + h = 0, \quad h = +400 \text{ пуд. выт.}$$

Такимъ образомъ мы получили слѣдующія значенія:

$$S_1^\circ,\ S_2^\circ, \ldots S_n^\circ.$$

Значенія S°.								
a°	b°	c°	d°	e°	f°	g°	h°	i°
пуд. +400	пуд. −566	пуд. +400	пуд. +800	пуд. −566	пуд. −400	пуд. 0	пуд. +400	пуд. 0

Теперь находимъ различныя значенія σ^e_a, σ^e_b, $\sigma^e_c, \ldots \sigma^e_i$, вызванныя въ связяхъ a, b, $c, \ldots h$, i усиліемъ I, приложеннымъ взамѣнъ мысленно устраненнаго сопротивленія опоры C. Найдемъ сначала сопротивленія опоръ.

Составивъ моменты относительно точекъ t и u, найдемъ (рис. 675):

$$-1 \times 10 + A' \text{ вер.} \times 10 + A' \text{ гор.} \times 0 = 0; \quad A' \text{ вер.} = +1.$$

$$-1 \times 20 - B' \times 10 = 0; \qquad B' = -2.$$

Для полученія значенія A гор., напишемъ условіе $\Sigma X = 0$, откуда A' гор. $= 0$.
Слѣдовательно, сопротивленія опоръ имѣютъ направленіе, показанное на рис. 676.

Сдѣлавъ разложеніе усилія I по i и g или сдѣлавъ сѣченіе по ig и взявъ моменты относительно точекъ w и t, получимъ:

$$-1\times 10+i\times 10=0;\quad i=+1 \text{ вытяг.}$$

$$-1\times 10-gf\sin\alpha=-1.10-g.10\times 0{,}707=0;$$

$$g=-\frac{1}{0{,}707}=-1{,}414 \text{ сжат.}$$

Сдѣлавъ сѣченіе по a, c, f, i и написавъ условіе $\Sigma X=0$, разсматривая правую отсѣченную часть, найдемъ:

$$-c-i=-c-1=0;\quad c=-1 \text{ сжат.}$$

Такъ какъ въ точкѣ пересѣченія a и b вѣтъ ни груза, ни опоры, то $a=0$ и $b=0$. Поэтому, написавъ $\Sigma Y=0$ въ сѣченіи a, c, f, i—получимъ:

$$-f+1=0;\quad f=+1 \text{ вытяг.}$$

Написавъ условіе равновѣсія силъ относительно точки A:

$$1+d=0;\quad d=-1 \text{ сжат.};\quad h=0.$$

Сдѣлавъ сѣченіе по d, e, f, g и написавъ моментъ относительно w:

$$A'\times 10-d\times 10+e.f\sin\alpha-1.10=1\times 10-1\times 10+e\times 10\times 0{,}707-1\times 10=0,$$

откуда:
$$e=+\frac{1}{0{,}707}=+1{,}414 \text{ вытян.}$$

Такимъ образомъ получили такія значенія различныхъ σ^c:

Значенія σ^c								
σ^c_a	σ^c_b	σ^c_c	σ^c_d	σ^c_e	σ^c_f	σ^c_g	σ^c_h	σ^c_i
0	0	— 1	— 1	+ 1,414	+ 1	— 1,414	0	+ 1

Такъ какъ въ данномъ случаѣ излишняя часть—опорное сопротивленіе, то слѣдуетъ воспользоваться уравненіями (323′); а такъ какъ, сверхъ того, только *одна* излишняя часть, то, слѣдовательно, имѣетъ мѣсто только σ', т. е. въ данномъ случаѣ σ^c; остальныхъ σ'', σ''', … σ^u —не существуетъ. Слѣдовательно, изъ группы уравненій (323′) слѣдуетъ взять только первое и при томъ только первый и послѣдній члены, такъ какъ всѣ остальные, очевидно, равны нулю. Слѣдовательно:

$$S'\sum_1^n\frac{\sigma'^2}{k}+\sum_1^n S^\circ\frac{\sigma'}{k}=S'\left(\frac{(\sigma_a{}^c)^2}{k_a}+\frac{(\sigma_b{}^c)^2}{k_b}+\frac{(\sigma_c{}^c)^2}{k_c}+\frac{(\sigma_d{}^c)^2}{k_d}+\frac{(\sigma_e{}^c)^2}{k_e}+\frac{(\sigma_f{}^c)^2}{k_f}+\frac{(\sigma_g{}^c)^2}{k_g}+\right.$$

$$\left.+\frac{(\sigma_h{}^c)^2}{k_h}+\frac{(\sigma_i{}^c)^2}{k_i}\right)+\left(\frac{a^\circ\sigma_a{}^c}{k_a}+\frac{b^\circ\sigma_b{}^c}{k_b}+\frac{c^\circ\sigma_c{}^c}{k_c}+\frac{d^\circ\sigma_d{}^c}{k_d}+\frac{e^\circ\sigma_e{}^c}{k_e}+\frac{f^\circ\sigma_f{}^c}{k_f}+\frac{g^\circ\sigma_g{}^c}{k_g}+\frac{h^\circ\sigma_h{}^c}{k_h}+\frac{i^\circ\sigma_i{}^c}{k_i}\right)=0.$$

Но:
$$k_1=\frac{\omega_1}{l_1},\quad k_2=\frac{\omega_2}{l_2},\ldots\ k_n=\frac{\omega_n}{l_n}.$$

Полагая всѣ части круглаго сѣченія діаметромъ $d=9''$, получимъ $\omega_1=\omega_2=\ldots\omega_n$ или, въ данномъ случаѣ:

$$\omega_a=\omega_b=\omega_c=\ldots\omega_i=\frac{\pi d^2}{4}=\frac{3{,}14}{4}\times 81=63{,}6 \text{ кв. д.}=0{,}442 \text{ кв. ф.}$$

Слѣдовательно:

$$k_a = k_d = k_f = \frac{\omega_a}{a} = \frac{\omega_b}{b} = \frac{\omega_f}{f} = \frac{0{,}442}{10} = 0{,}0442 \text{ ф.}$$

$$k_c = k_h = k_i = \frac{\omega_c}{c} = \frac{\omega_h}{h} = \frac{\omega_i}{i} = \frac{0{,}442}{10} = 0{,}0442 \text{ ф.}$$

$$k_b = k_e = k_g = \frac{\omega_b}{b} = \frac{\omega_e}{e} = \frac{\omega_g}{g} = \frac{0{,}442}{14} = 0{,}0315 \text{ ф.}$$

Слѣдовательно, вставляя въ предыдущую формулу вмѣсто σ_a^c, $\sigma_b^c \ldots$, a°, $b^\circ, \ldots k_a$, $k_b \ldots$ ихъ значенія, получимъ:

$$S'\left(\frac{1}{0{,}0442} + \frac{1}{0{,}0442} + \frac{\overline{1{,}414}^2}{0{,}0315} + \frac{1}{0{,}0442} + \frac{\overline{1{,}414}^2}{0{,}0315} + \frac{1}{0{,}0442}\right) +$$

$$+ \left(-\frac{400\times1}{0{,}0442} - \frac{800\times1}{0{,}0442} - \frac{566\times1{,}414}{0{,}0315} - \frac{400\times1}{0{,}0442}\right) = 0,$$

или:

$$S'\ (0{,}0315 + 0{,}0315 + \overline{1{,}414}^2 \times 0{,}0442 + 0{,}0315 + \overline{1{,}414}^2 \times 0{,}0442 + 0{,}0315) =$$

$$= (400 \times 0{,}0315 + 800 \times 0{,}0315 + 566 \times 1{,}414 \times 0{,}0442 + 400 \times 0{,}0315),$$

или

$$S' \times 0{,}3028 = 85{,}77; \quad S' = 283 \text{ пуд.}$$

S' есть въ данномъ случаѣ сопротивленіе опоры $C = 283$ пуд.
Слѣдовательно, на основаніи (318):

$$S_1 = S_1^\circ + S'\sigma_1' + S''\sigma_1'' + \ldots + S^u\sigma_1^u$$
$$S_2 = S_2^\circ + S'\sigma_2' + S''\sigma_2'' + \ldots + S^u\sigma_2^u$$
$$\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$$
$$S_n = S_n^\circ + S'\sigma_n' + S''\sigma_n'' + \ldots + S^u\sigma_n^u$$

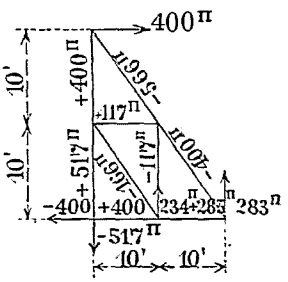


Рис. 677.

будемъ имѣть (рис. 677):

$S_1 = S_1^\circ + S'\sigma_1'$	или:	$a = a^\circ + C\sigma_a^c =$	$+400 + 283 \times 0$	$= +400$	нуд.	вытяг.
$S_2 = S_2^\circ + S'\sigma_2'$	»	$b = b^\circ + C\sigma_b^c =$	$-566 + 283 \times 0$	$= -566$	»	сжат.
$S_3 = S_3^\circ + S'\sigma_3'$	»	$c = c^\circ + C\sigma_c^c =$	$+400 - 283 \times 1$	$= +117$	»	вытяг.
$S_4 = S_4^\circ + S'\sigma_4'$	»	$d = d^\circ + C\sigma_d^c =$	$+800 - 283 \times 1$	$= +517$	»	вытяг.
$S_5 = S_5^\circ + S'\sigma_5'$	»	$e = e^\circ + C\sigma_e^c =$	$-566 + 283 \times 1{,}414$	$= -166$	»	сжат.
$S_6 = S_6^\circ + S'\sigma_6'$	»	$f = f^\circ + C\sigma_f^c =$	$-400 + 283 \times 1$	$= -117$	»	сжат.
$S_7 = S_7^\circ + S'\sigma_7'$	»	$g = g^\circ + C\sigma_g^c =$	$0 - 283 \times 1{,}414$	$= -400$	»	сжат.
$S_8 = S_8^\circ + S'\sigma_8'$	»	$h = h^\circ + C\sigma_h^c =$	$+400 + 283 \times 0$	$= +400$	»	вытяг.
$S_9 = S_9^\circ + S'\sigma_9'$	»	$i = i^\circ + C\sigma_i^c =$	$0 + 283 \times 1$	$= +283$	»	вытяг.

Полныя сопротивленія опоръ:

$$A \text{ гор.} = A_0 \text{ гор.} + A' \text{ гор.} = -400 + 0 \times 283 = -400 \text{ пуд.}$$
$$A \text{ вер.} = A_0 \text{ вер.} + A' \text{ вер.} = -800 + 1 \times 283 = -517 \text{ »}$$
$$B = B_0 + B' = +800 - 2 \times 283 = +234 \text{ »}$$
$$C = = +283 \text{ »}$$

При другой площади сѣченія стоекъ и раскосовъ получится иное распредѣленіе усилій.

Такимъ образомъ крайніе, наружные подкосы и крайняя стойка всего болѣе напряжены и усилія ихъ не многимъ отличаются отъ тѣхъ, еслибы внутреннихъ откосныхъ свай и раскосовъ не существовало. Поэтому въ деревянныхъ опорахъ, гдѣ матеріалъ сравнительно не дорогъ, въ случаѣ примѣненія группы откосныхъ свай, можно опредѣлить усилія въ предположеніи существованія лишь наружнаго подкоса и крайней коренной сваи; затѣмъ, подобравъ сѣченія, придать то же сѣченіе и промежуточнымъ откоснымъ сваямъ. При металлическихъ опорахъ, конечно, слѣдуетъ примѣнять точный способъ расчета.

b) *Пріемъ Нёрдлинга.* Въ этомъ пріемѣ ребра опоры разематриваются, какъ фибры твердаго тѣла, подвергающагося изгибу.

α) *Опредѣленіе усилій въ ребрахъ.* Разсмотримъ сначала опору изъ 4 реберъ, а затѣмъ отъ нея легко перейти къ опорѣ, имѣющей 3 и 2 ребра. Опредѣлимъ предварительно усилія въ ребрахъ, разсматривая послѣдовательно вліяніе несимметричной нагрузки, симетричной и вѣтра.

Пусть (рис. 678) H — вся высота опоры, H_1 — высота точки пересѣченія всѣхъ реберъ; K' — вертикальная нагрузка, помѣщениая на разстояніи c отъ оси опоры; P, Q, R, S — искомыя сжимающія усилія въ 4 ребрахъ на разстояніи y отъ основанія, принимаемыя по малости угловъ наклоненія реберъ равными—вертикальнымъ проекціямъ; a—ширина опоры въ этомъ сѣченіи. Если предполагаемыя извѣстными площади сѣченія (опредѣленныя приблизительно) крайнихъ реберъ обозначимъ черезъ Ω, а виутреинихъ чрезъ ω (сущность расчета не измѣнится, если всѣ сѣченія будутъ различны, но извѣстны или одинаковаго сѣченія, но неизвѣстны); затѣмъ чрезъ π' — напряженіе на квадратную единицу отъ равномѣрнаго сжатія, черезъ π — дополнительное напряженіе на квадратную единицу площади, находящейся на разстояніи единицы отъ нейтральнаго волокна, причемъ это напряженіе вызывается изгибомъ опоры, то, разсматривая эти 4 ребра, какъ бы мысленно выдѣлениыя изъ одного твердаго тѣла, получимъ:

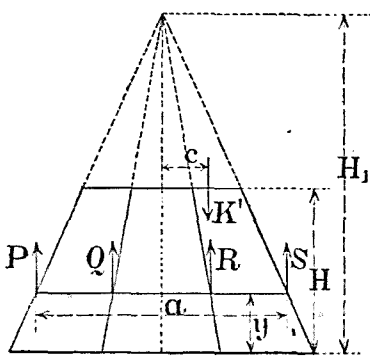


Рис. 678.

$$\left.\begin{aligned} P &= (\pi' - \frac{a}{2}\,.\,\pi)\,.\,\Omega; \\ Q &= (\pi' - \frac{a}{6}\,.\,\pi)\,.\,\omega; \\ R &= (\pi' + \frac{a}{6}\,.\,\pi)\,.\,\omega; \\ S &= (\pi' + \frac{a}{2}\,.\,\pi)\,.\,\Omega; \end{aligned}\right\} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (324)$$

Кромѣ того . . . . . $P + Q + R + S = K'$;

Если допустить, какъ сказано выше, что по незначительности угловъ наклоненія вертикальныя составляющія совпадаютъ съ направленіемъ реберъ, то: . . . . $(S - P)\,\frac{a}{2} + (R - Q)\,.\,\frac{a}{6} = K'\,.\,c$

Изъ этихъ шести уравненій опредѣлимъ значенія слѣдующихъ шести неизвѣстныхъ:

$$\left.\begin{aligned} \pi &= + \frac{c \,.\, K'}{\frac{a^2}{2}\left(\Omega + \frac{\omega}{9}\right)} \\ \pi' &= \frac{K'}{2\,(\Omega + \omega)} \end{aligned}\right\} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (325)$$

$$\left.\begin{aligned} P &= \frac{K'}{2\left(1 + \frac{\omega}{\Omega}\right)} - \frac{cK'}{a\left(1 + \frac{\omega}{9\Omega}\right)}\,; \quad Q = \frac{K'}{2\left(1 + \frac{\Omega}{\omega}\right)} - \frac{cK'}{\frac{a}{3}\left(1 + \frac{9\Omega}{\omega}\right)} \\ R &= \frac{K'}{2\left(1 + \frac{\Omega}{\omega}\right)} + \frac{cK'}{\frac{a}{3}\left(1 + \frac{9\Omega}{\omega}\right)}\,; \quad S = \frac{K'}{2\left(1 + \frac{\omega}{\Omega}\right)} + \frac{cK'}{a\left(1 + \frac{\omega}{9\Omega}\right)} \end{aligned}\right\} \quad . \quad . \quad (326)$$

Изъ этихъ формулъ мы видимъ, что при одинаковыхъ сѣченіяхъ реберъ нѣтъ надобности знать величину этого сѣченія, если желаемъ опредѣлить только величины полныхъ усилій реберъ. Для опредѣленія же величинъ: π и π' значеніе площади сѣченія, очевидно, необходимо.

Если грузъ K расположенъ симметрично, т. е. когда $c = 0$, то:

$$P = S = \frac{K}{2\left(1 + \frac{\omega}{\Omega}\right)}\,;$$

$$Q = R = \frac{K}{2\left(1 + \frac{\Omega}{\omega}\right)} \quad . \quad . \quad . \quad (326')$$

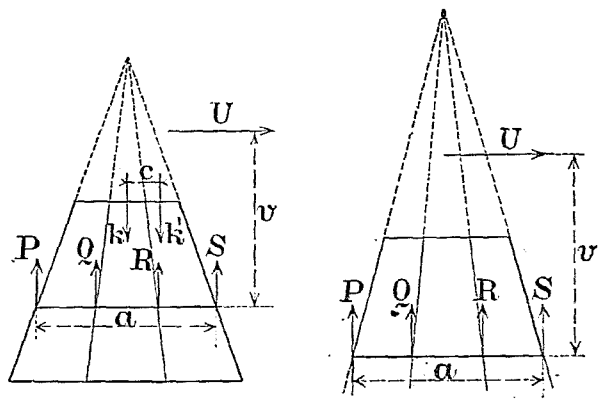


Рис. 679.

Если вмѣсто несимметрично расположеннаго груза разсмотрѣть вліяніе вѣтра, моментъ котораго относительно разсматриваемой плоскости $U \,.\, v$, то при показанномъ направленіи вѣтра изъ тѣхъ же формулъ (324) получимъ:

$$\left.\begin{aligned} \pi &= \frac{U \,.\, v}{\frac{a^2}{2}\left(\Omega + \frac{\omega}{9}\right)}\,; \quad S = -P = \frac{U \,.\, v}{a\left(1 + \frac{\omega}{9\Omega}\right)} \\ R &= -Q = \frac{U \,.\, v}{\frac{a}{3}\left(1 + \frac{9\Omega}{\omega}\right)}\,, \end{aligned}\right\} \quad . \quad . \quad . \quad (326'')$$

замѣчая, что $\pi' = 0; \quad S = -P; \quad R = -Q,$

и

$$2S \,.\, \frac{a}{2} + 2R \,.\, \frac{a}{6} = U \,.\, v.$$

Если одновременно дѣйствуетъ симметрично расположенная нагрузка—K, несимметричная — K' и давленіе вѣтра — U (опрокидывающее опору въ ту же сторону какъ и несимметрично расположенная нагрузка K'), то, на основаніи

формулъ (326′), (326) и (326″) имѣемъ (рис. 679):

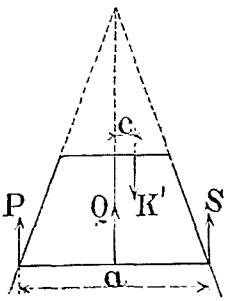


Рис. 680.

$$\left.\begin{aligned} P &= \frac{K + K'}{2\left(1 + \frac{\omega}{\Omega}\right)} - \frac{(cK' + Uv)}{a\left(1 + \frac{\omega}{9\Omega}\right)} \\ Q &= \frac{K + K'}{2\left(1 + \frac{\Omega}{\omega}\right)} - \frac{(cK' + Uv)}{\frac{a}{3}\left(1 + \frac{9\Omega}{\omega}\right)} \\ R &= \frac{K + K'}{2\left(1 + \frac{\Omega}{\omega}\right)} + \frac{(cK' + U.v)}{\frac{a}{3}\left(1 + \frac{9\Omega}{\omega}\right)} \\ S &= \frac{K + K'}{2\left(1 + \frac{\omega}{\Omega}\right)} + \frac{(cK' + U.v)}{a\left(1 + \frac{\omega}{9\Omega}\right)} \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots \quad (326''')$$

(имѣя эти значенія, слѣдуетъ сдѣлать повѣрку достаточности сѣченій стоекъ по извѣстной формулѣ для сжатія длинныхъ стоекъ).

Если опрокидывающій моментъ вѣтра имѣетъ знакъ, противоположный моменту несимметрично расположенной нагрузки, то вмѣсто $CK' + U \,.\, v$ слѣдуетъ брать $CK' - U \,.\, v$.

Разсмотримъ теперь опору съ *тремя* ребрами.

При дѣйствіи несимметричной нагрузки имѣемъ (рис. 680):

$$P = \left(\pi' - \frac{a}{2}.\pi\right)\Omega; \quad Q = \pi' \,.\, \omega; \quad P + Q + S = K'; \quad S = \left(\pi' + \frac{a}{2} \,.\, \pi\right)\Omega;$$

$$(S - P)\,\frac{a}{2} = K'c,$$

или

$$K'c = \frac{a^2 \,.\, \pi \,.\, \Omega}{2}, \quad K' = + \pi'(2\Omega + \omega);$$

откуда:

$$\pi = \frac{2\,K'c}{a^2\Omega}; \quad \pi' = \frac{K'}{2\Omega + \omega}.$$

Слѣдовательно:

$$P = \frac{K'\Omega}{2\Omega + \omega} - \frac{K'c}{a} = \frac{K'}{2 + \frac{\omega}{\Omega}} - \frac{K' \,.\, c}{a}; \quad Q = \frac{K'}{1 + \left(\frac{2\Omega}{\omega}\right)}; S = \frac{K'}{2 + \frac{\omega}{\Omega}} + \frac{K'c}{a} \quad (327)$$

Если нагрузка K расположена симметрично, тогда $c = 0$. Слѣдовательно:

$$P = S = \frac{K}{\left(2 + \frac{\omega}{\Omega}\right)}; \quad Q = \frac{K}{1 + \frac{2\Omega}{\omega}} \quad \ldots\ldots \quad (328)$$

При дѣйствіи вѣтра, а также симметрично и несимметрично расположеиной нагрузки, будемъ имѣть (рис. 681):

$$\left.\begin{aligned} P &= \frac{K + K'}{2 + \frac{\omega}{\Omega}} - \frac{K'c + U \,.\, v}{a}; \quad Q = \frac{K + K'}{1 + \frac{2\Omega}{\omega}} \\ S &= \frac{K + K'}{2 + \frac{\omega}{\Omega}} + \frac{K'c + Uv}{a} \end{aligned}\right\} \quad \ldots \quad (329)$$

При двухъ ребрахъ и несимметрично расположенной нагрузкѣ (рис. 682):

$$P = \left(\pi' - \frac{a}{2} \cdot \pi\right) \cdot \Omega;\ S = \left(\pi' + \frac{a}{2} \cdot \pi\right) \Omega;\ P + S = K';\ (S - P)\frac{a}{2} = K'c,$$

или

$$2\pi' \Omega = K';\ \frac{a^2 \pi}{2} \Omega = K'c;$$

откуда:

$$\pi' = \frac{K'}{2\Omega};\ \pi = \frac{2K'c}{a^2 \Omega}.$$

Слѣдовательно:

$$P = \frac{K'}{2} - \frac{K'c}{a};\ S = \frac{K'}{2} + \frac{K'c}{a} \quad \ldots\ldots \quad (330)$$

При дѣйствіи вѣтра, а также симметрично и несимметрично расположенной нагрузки:

$$P = \frac{K + K'}{2} - \frac{K'c + Uv}{a};\ S = \frac{K + K'}{2} + \frac{K'c + Uv}{a}; \quad \ldots \quad (331)$$

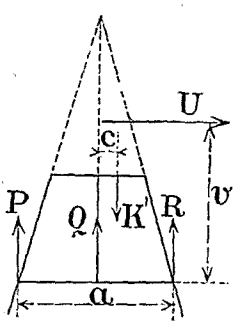


Рис. 681.

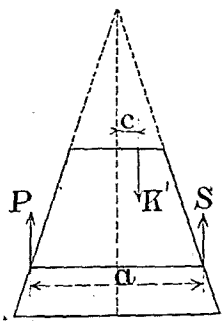


Рис. 682.

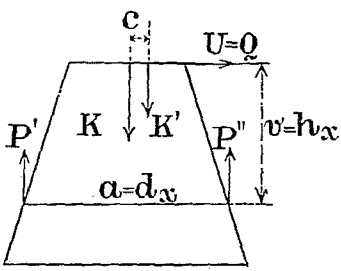


Рис. 683.

если моментъ вѣтра того же знака, какъ и моментъ несимметрично расположенной нагрузки.

Сравнивая эти послѣднія формулы съ формулами: (313) и (314) необходимо послѣднія дополнить еще выраженіемъ усилій въ ребрахъ отъ симметрической и несимметрической нагрузокъ. Если первая K, а вторая K' (рис. 683) и длина верхней распорки a_0, то вызываемыя этими нагрузками усилія въ лѣвомъ ребрѣ, отъ непосредственнаго дѣйствія силъ K и K':

$$N = \frac{K}{2\cos\alpha} + \frac{K'\left(\frac{a_0}{2} - c\right)}{a_0 \cos\alpha}.$$

Затѣмъ, благодаря разности горизонтальныхъ составляющихъ въ верхней распоркѣ:

$$\frac{K'\left(\frac{a_0}{2} + c\right) tg\,\alpha}{a_0} - \frac{K'\left(\frac{a_0}{2} - c\right) tg\,\alpha}{a_0} = \frac{2K'c\ tg\,\alpha}{a_0}$$

вліяніе этой разности на основаніи формулы (313), замѣняя H чрезъ $\frac{2K'c\ tg\,\alpha}{a_0}$, выразится сжимающимъ усиліемъ въ лѣвомъ ребрѣ:

$$\frac{2K'c\ tg\,\alpha}{a_0} \cdot \frac{h_x}{a\cos\alpha}$$

$\left(\text{въ зависимости отъ направленія силы: } H = \frac{2K'c\ tg\,\alpha}{a_0}\right)$.

Слѣдовательно усиліе вызванное нагрузками: K и K' въ лѣвомъ ребрѣ:

$$N' = \frac{K}{2\cos\alpha} + \frac{K'}{2\cos\alpha} - \frac{K'c}{a_0\cos\alpha} + \frac{2\,K'c\,tg\,\alpha\,h_x}{a_0 a\cos\alpha} = \frac{K}{2\cos\alpha} + \frac{K'}{2\cos\alpha} - \frac{K'c}{aa_0\cos\alpha}(a - tg\,\alpha\,h_x) =$$

$$= \frac{K}{2\cos\alpha} + \frac{K'}{2\cos\alpha} - \frac{K'c}{aa_0\cos\alpha}\cdot a_0 = \frac{K}{2\cos\alpha} + \frac{K'}{2\cos\alpha} - \frac{K'c}{a\cos\alpha}.$$

Подобнымъ образомъ найдемъ для праваго ребра:

$$N'' = \frac{K}{2\cos\alpha} + \frac{K'}{2\cos\alpha} + \frac{K'c}{a\cos\alpha}.$$

Если кромѣ того дѣйствуетъ вѣтеръ: $U = H = Q$ слѣва на право на разстояніи $v = h_x$ отъ разсматриваемой панели, то на основаніи (314) вліяніе ого на лѣвоо ребро выразится вытягивающимъ усиліемъ:

$$M' = \frac{Hh_{x-1}}{d_{x-1}\sin\gamma} = \frac{Hh_{x-1}}{d_{x-1}\cos\alpha}.$$

Такъ какъ въ данномъ случаѣ сжимающіе усиліе обозначено знакомъ +, то окончательно

$$P' = N' + M' = \frac{K}{2\cos\alpha} + \frac{K'}{2\cos\alpha} - \frac{K'c}{a\cos\alpha} - \frac{Hh_{x-1}}{d_{x-1}\cos\alpha}. \quad \ldots\ldots\ldots (314')$$

Подобнымъ образомъ $M'' = -\frac{Hh_x}{d_x\sin p}$ сжимающее усиліе, а въ впду того, что сжимающее усиліе въ данномъ случаѣ обозначено знакомъ + будетъ имѣть:

$$P'' = \frac{K}{2\cos\alpha} + \frac{K'}{2\cos\alpha} + \frac{K'c}{a\cos\alpha} + \frac{Hh_x}{d_x\cos\alpha}. \quad \ldots\ldots\ldots (313')$$

При выводѣ формулъ (313) и (314) предположено, что горизонтальная сила Q приложена къ вершинѣ опоры. Слѣдовательно, при сравненіи съ формулами Nördling'a, сила $U=Q$ также предположена въ вершиіѣ опоры. Кромѣ того $\gamma = 90^0 - \alpha$, а такъ какъ α предположено весьма близкимъ къ нулю, то $\sin\gamma = \cos\alpha = 1$. Сравнивая послѣдніе члены формулъ: (314′) и (313′) съ послѣдними членами формулъ (331), т. е. съ $-\frac{Uv}{a}$ и $+\frac{Uv}{a}$, мы замѣчаемъ, что въ формулахъ (331) вліяніе горизонтальной силы на усилія въ двухъ ребрахъ данныхъ горизоитальныхъ сѣченій выражается одной и той же величиной, взятой съ противоположными знаками, между тѣмъ какъ въ формулахъ 313′) и (314′) это вліяніе выражается неодинаковой величиной, такъ какъ $\frac{h_{x-1}}{d_{x-1}}$ неравно $\frac{h_x}{d_x}$. Это различіе происходить оттого, что при выводѣ формулъ (331) предположено, что оба ребра какъ бы мысленно выдѣлены изъ одного твердаго тѣла, а потому очевидно, что въ одиомъ и томъ же поперечномъ сѣченіи, нормальномъ къ нейтральному ребру двухъ площадокъ, взятыхъ на равномъ разстояніи отъ нейтральной оси усилія, зависящія отъ изгиба, будутъ равны по величинѣ, но противоположны по знаку. При выводѣ же формулъ (313) и (314) предположено, что работаетъ только одна система раскосовъ, а слѣдовательно (какъ увидимъ въ главѣ «расчетъ сквозныхъ фермъ») равиыя усилія обоихъ реберъ получаются не въ сѣченіи нормальномъ къ нейтральному ребру, а въ сѣченіи, параллельиомъ направленно работающихъ раскосовъ.

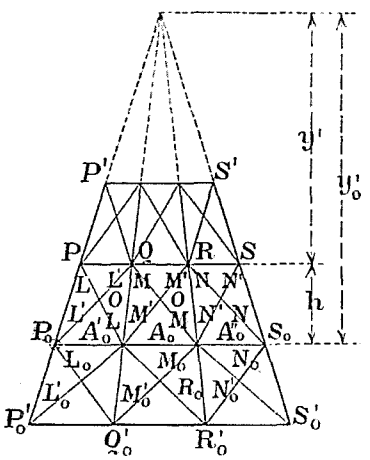


Рис. 684.

Для полученія полнаго согласія между формулами (314′) и (313′) и формулами (331) и нужно заставить и вторую систему раскосовъ работать иа сжатіе, такъ чтобы половина силы U растягивала одну систему раскосовъ, а другая половина сжимала другую систему раскосовъ и въ этомъ случаѣ $\frac{Hh_{x-1}}{d_{x-1}} = \frac{Hh_x}{d_x} = \frac{Uv}{a}$.

β) *Опредѣленіе усилія въ раскосахъ, распоркахъ или тяжахъ.* Допускаемъ по малости угловъ, что усилія въ ребрахъ совпадаютъ съ вертикальной состовляющей; пусть θ (рис. 684) — tangens угла наклоненія наружныхъ реберъ съ вертикалью; h — высота этажа; P, Q, R, S — усилія реберъ въ этажѣ P, S, P', S', а P_0, Q_0, R_0, S_0 — усилія реберъ въ этажѣ P, S, P_0, S_0, причемъ предполагаемъ, что въ выраженія различныхъ P вошелъ собственный вѣсъ этажей, а также вліяніе всѣхъ прочихъ нагрузокъ и горизонтальныхъ силъ; собственный вѣсъ этажей, приходящійся на каждое ребро, означимъ чрезъ k и предполагаемъ его сосредоточеннымъ въ узлѣ.

Если L, L', M, M', N, N', A_0, A_0', A_0'' — искомыя сжимающія усилія въ раскосахъ и распоркахъ, то, приравнявъ нулю сумму вертикальныхъ проекцій усилій около каждаго изъ узловъ распорокъ A'_0, A_0 и A''_0, имѣемъ:

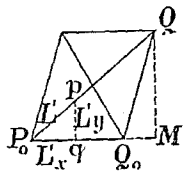


Рис. 685.

$$\left.\begin{aligned} P_0' - P_0 - k &= L'_y - (L_0)_y \\ Q_0' - Q_0 - k &= M'_y - (M_0)_y + L_y - (L_0')_y \\ R_0' - R_0 - k &= M_y - (M_0')_y + N'_y - (N_0)_y \\ S_0' - S_0 - k &= N_y - (N_0')_y \end{aligned}\right\} \quad \ldots \quad (332)$$

Съ другой стороны сумма горизонтальныхъ составляющихъ силъ около узловъ P_0, Q_0, R_0 и S_0 должна быть равна нулю. Слѣдовательно, замѣняя, по малости угла наклоненія наружныхъ реберъ, sinus tangens'омъ, получимъ:

$$(P_0 - P_0')\,\theta + A_0' + L_x' + (L_0)_x = 0,$$

или, пользуясь (332), получимъ:

$$A_0' = [L'_y - (L_0)_y + k]\,\theta - L_x' - (L_0)_x.$$

Далѣе:
$$(Q_0 - Q_0')\,\frac{\theta}{3} + A_0 - A_0' + M_x' + (M_0)_x - L_x - (L_0')_x = 0;$$

на основаніи (332) имѣемъ:

$$A_0 = A_0' + [M'_y - (M_0)_y + L_y - (L_0')_y + k]\,\frac{\theta}{3} - M_x' - (M_0)_x + L_x + (L_0')_x.$$

Затѣмъ:
$$(S_0 - S_0')\,\theta + A_0'' + N_x + (N_0')_x = 0;$$

откуда:
$$A_0'' = [N_y - (N_0')_y + k]\,\theta - N_x - (N_0')_x.$$

Если y' и y_0' — разстояніе этажа PS и P_0S_0 отъ общей точки пересѣченія всѣхъ реберъ, то изъ подобія треугольниковъ P_0pq и P_0QM (рис. 685):

$$\left.\begin{aligned} L_y' : L_x' \\ N_y : N_x \end{aligned}\right\} = h : \left\{(y' + h)\,\theta - (y' + h)\,\frac{\theta}{3} + h\,\frac{\theta}{3}\right\} = h : \frac{\theta}{3}\,(2y' + 3h) = h : \frac{\theta}{3}\,(2y'_0 + h)$$

Подобнымъ образомъ:

$$\left.\begin{aligned} M_y' : M_x' \\ M_y : M_x \end{aligned}\right\} = h : \left\{(y' + h)\,\frac{\theta}{3} + (y' + h)\,\frac{\theta}{3} - h\,\frac{\theta}{3}\right\} = h : \frac{\theta}{3}\,(2y' + h) = h : \frac{\theta}{3}\,(2y'_0 - h)$$

$$\left.\begin{aligned} N_y' : N_x' \\ L_y : L_x \end{aligned}\right\} = h : \left\{(y' + h)\,\theta - (y' + h)\,\frac{\theta}{3} - h\,\theta\right\} = h : \frac{\theta}{3}\,(2y' - h) = h : \frac{\theta}{3}\,(2y'_0 - 3h)$$

(333)

Написавъ подобныя же равенства для нижележащаго этажа и исключивъ, помощью тѣхъ и другихъ равенствъ, величины M'_x, M_x $(M_0)_x$, $(M_0')_x$ и такъ далѣе всего 8 величинъ, т. е. всѣ горизонтальныя проекціи усилій раскосовъ, входящихъ въ составъ выраженій A_0', A_0, A_0'', получимъ:

$$\left.\begin{aligned} A_0' &= \theta k - \frac{2\theta}{3h}\,[(y_0' + h)\,(L_0)_y + (y_0' - h)\,L_y'] \\ A_0 &= \frac{4}{3}\,\theta k - \frac{2\theta}{3h}\,[(y_0' - h)\,(L_y' - L_y) - (y_0' + h)\,(L_0')_y - (L_0)_y] + \\ &\qquad + [(y_0' - h)\,M'_y + (y_0' + h)\,(M_0)_y] \\ A_0'' &= \theta k - \frac{2\theta}{3h}\,[(y_0' + h)\,(N_0')_y + (y_0' - h)\,N_y] \end{aligned}\right\} \quad (334)$$

Слѣдовательно, усилія распорокъ найдемъ, зная вертикальныя составляющія усилій раскосовъ. Для опредѣленія зависимости между вертикальными составляющими усилій раскосовъ одной и той же панели, т. е. между величинами: L_y, L_y', M_y, M_y', N_y и N_y', Nördling поступаетъ такъ,

Изъ условія равновѣсія внѣшнихъ силъ, приложенныхъ къ вершинамъ треугольника POP_0, четыреугольника QOQ_0O' и т. д. имѣемъ (замѣчая, что Ly и $L'y$ вертик. состав. усилій L и L' и что P_0 и P по малости угла, составленнаго ребрами съ вертикальною линіею, весьма мало отличаются отъ

$$P_0 \cos\alpha = P_0 \frac{1}{sec\,\alpha} = \frac{P_0}{\sqrt{1+\theta^2}}\Big) \cdot$$

$$P_0 - P - k = L_y' - L_y$$

откуда; $$L_y' - L_y = P_0 - P - k; \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (335)$$

$$\left.\begin{aligned} Q_0 - Q - k &= M_y' - M_y + L_y - L_y' \\ R_0 - R - k &= M_y - M_y' + N_y' - N_y, \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (336)$$

откуда: $$M_y' - M_y = \begin{cases} Q_0 - Q + P_0 - P - 2k \\ R - R_0 + S - S_0 + 2k \end{cases}$$

$$S_0 - S - k = N_y - N_y', \quad \text{откуда } N_y' - N_y = S - S_0 + k \quad \ldots \quad (337)$$

Равенства (335, 336 и 337)—это основныя равенства для всякаго андреевскаго креста, т. е. что существующая разность усилій P_0 и P, Q_0 и Q и т. д. есть слѣдствіе различія въ усиліяхъ раскосовъ, сходящихся въ точкахъ P_0 и P. Еслибы $L_y' = L_y$ и т. д., то единственная причина разности напряженій P_0 и P, Q_0 и Q и т. д. была бы прибавка отъ вѣса этажа k.

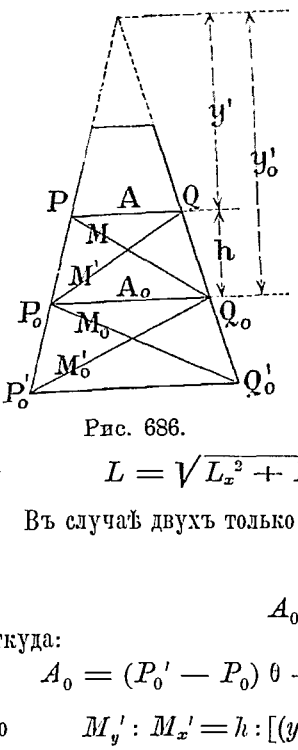


Рис. 686.

Подобныя же равенства можно составить и для нижележащей панели, въ которыя войдутъ $(L_0)_y$, $(L_0')_y$, $(M_0)_y$, $(M'_0)_y$, $(N_0)_y$ и $(N'_0)_y$. Но такъ какъ всѣхъ равенствъ 6, а число неизвѣстныхъ 12, то 6 должны быть даны. Можно предположить, напримѣръ, что въ обоихъ этажахъ $L = -L'$; $M = -M'$; $N = -N'$, т. е. что оба раскоса одинаково напряжены, но съ противоположными знаками; или предположить, что $L' = 0$, $M' = 0$, $N' = 0$, т. е. что раскосы могутъ работать только на растяженіе.

Такимъ образомъ, получимъ три уравненія съ тремя неизвѣстными, откуда опредѣлимъ L_y, M_y и N_y, а для другого этажа $(L_0)_y$, $(M_0)_y$ и $(N_0)_y$, а слѣдовательно будутъ найдены и A'_0, A_0, A''_0.

Что касается опредѣленія L, M, N, то опредѣливъ изъ (333) L_x, M_x, N_x помощью L_y, M_y, N_y, окончательно найдемъ:

$$L = \sqrt{L_x^2 + L_y^2}; \qquad M = \sqrt{M_x^2 + M_y^2}; \qquad N = \sqrt{N_x^2 + N_y^2} \quad \ldots \quad (338)$$

Въ случаѣ двухъ только реберъ имѣемъ (рис. 686):

$$\left.\begin{aligned} M'_y - (M_0)_y &= P'_0 - P_0 - k \\ A_0 + M_x' + (M_0)_x + (P_0 - P_0')\,\theta &= 0: \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (339)$$

откуда:

$$A_0 = (P_0' - P_0)\,\theta - M_x' - (M_0)_x = [M'_y - (M_0)_y + k]\,\theta - M_x' - (M_0)_x.$$

Но $$M_y' : M_x' = h : [(y' + h)\,\theta + (y' + h)\,\theta - h\theta] = h : \theta\,(2y' + h) = h : 2y'_0 - h;$$

$$(M_0)_y : (M_0)_x = (M_0')_y : (M_0')_x = h : [(y_0' + h)\,\theta + (y_0' + h)\,\theta - h\theta] = h : \theta\,(2y_0' + h).$$

Исключая изъ выраженія для A_0 значенія M_x' и $(M_0)_x$ помощью двухъ послѣднихъ равенствъ, найдемъ:

$$A_0 = k\theta - \frac{2\theta}{h}\,[(y_0' - h)\,M_y' + (y_0' + h)\,(M_0)_y] \quad \ldots\ldots \quad (340)$$

Слѣдовательно, A_0 извѣстно, коль скоро даны M_y' и $(M_0)_y$. Для опредѣленія же этихъ величинъ мы имѣемъ формулы:

$$\left.\begin{aligned} M_y' - M_y &= P_0 - P - k; \\ (M'_0)_y - (M_0)_y &= P_0' - P_0 - k. \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (341)$$

Слѣдовательно, въ каждомъ уравненіи одна изъ неизвѣстныхъ должна быть дана. Можно сдѣлать предположеніи, что $M = -M'$, $M_0 = -M'_0$, или $M = O$, $M_0 = O$. Зная M_y', найдемъ M_x', а слѣдовательно и

$$M = \sqrt{M_x'^2 + M_y'^2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (342)$$

Замѣтимъ, что въ опорахъ съ двумя наклонными ребрами раскосы подъ дѣйствіемъ горизонтальной силы работаютъ менѣе, чѣмъ въ опорахъ съ вертикальными ребрами. Такъ напр. если горизонт. сила приложена въ точкѣ встрѣчи обоихъ реберъ, то раскосы совсѣмъ не напряжены.

Условія устойчивости. Когда мы опредѣлимъ по найденнымъ усиліямъ размѣры составныхъ частей опоры, опора будетъ удовлетворять условіямъ прочности. Кромѣ того необходимо, чтобы она удовлетворяла условіямъ устойчивости помимо вспомогательныхъ приспособленій, вантъ и пр. Если вѣсъ опоры и соотвѣтственной части фермы — Q; разстояніе между основаніями крайнихъ реберъ (въ плоскости перпендикулярной къ оси моста) — q; давленіе вѣтра на опору — N; разстояніе точки приложенія этого давленія отъ основанія — n, v и v—давленія вѣтра на ферму и подвижной составъ; H, h и h'—высоты опоры, и разстоянія отъ вершины опоры точекъ приложенія давленія вѣтра на ферму и подвижной составъ (рис. 657), то должны имѣть:

$$Q \cdot \frac{q}{2} = m\,[v\,(h + H) + Nn], \quad \ldots\ldots\ldots \quad (343)$$

гдѣ m — коэффиціентъ устойчивости отъ 1,50 до 2,00. Кромѣ того необходимо еще сдѣлать вторую повѣрку въ предположеніи, что мостъ нагруженъ порожнимъ поѣздомъ.

Если вѣсъ поѣзда, приходящійся на опору: Q', то:

$$(Q + Q')\,\frac{q}{2} = m\,[v\,(h + H) + v'\,(h' + H) + n \cdot N]. \quad \ldots \quad (344)$$

Изъ двухъ уравненій нужно выбрать наибольшее q.

Замѣтимъ здѣсь, что если бы, какъ въ Крумлинскомъ віадукѣ, ферма была помѣщена ниже верхней грани опоры, то имѣли бы:

$$(Q + Q')\,\frac{q}{2} = m\,[v\,(H - h) + v'\,(H + h') + Nn];$$

полагая же: $vh = v'h'$ имѣли бы:

$$(Q + Q')\,\frac{q}{2} = m\,[(v + v')\,H + Nn],$$

а въ первомъ случаѣ: $$Q\,\frac{q}{2} = m\,[v\,(H - h) + Nn].$$

Опредѣленіе усилій и размѣровъ элементовъ пирамидальной или призматической опоры, разсматривая каждую грань независимо.—Примѣры.—Вліяніе неодинаковой нагрузки смежныхъ пролетовъ. — Вліяніе температуры. — Опредѣленіе усилій, разсматривая опору, какъ пространственную ферму.—Опредѣленіе площади опоры, подвергающейся дѣйствію вѣтра — Формулы для опредѣленія поперечныхъ размѣровъ составныхъ частей камеры нессона, шахтовыхъ трубъ и шлюзовъ.

Опредѣленіе усилій и размѣровъ элементовъ пирамидальной или призматической опоры при независимомъ разсмотрѣніи каждой грани. Предполагаемъ число реберъ не болѣе четырехъ.

Внѣшнія дѣйствующія силы будутъ двоякаго рода:

1) вертикальныя—вѣсъ фермы, опоры и вѣсъ подвижной нагрузки;

2) горизонтальныя—давленіе вѣтра и силы, проявляющіяся отъ неодинаковой нагрузки реберъ или отъ тренія, вызваннаго измѣненіемъ длины фермы отъ измѣненія температуры фермы.

Пусть вертикальныя силы, приложенныя въ узловыхъ точкахъ (рис. 687) P^{I}, P^{II}, P^{III}, P^{IV} и горизонтальныя силы $\pm Q^{I}$, $\pm Q^{II}$, $\pm Q^{III}$, Q^{IV}. Каждая изъ вертикальныхъ силъ разложится по направленію наклоннаго ребра и по двумъ верхнимъ распоркамъ.

Слѣдовательно (рис. 688):

$$\left.\begin{array}{ll} P_{I} = \dfrac{P'}{\cos\alpha}; & P_{II} = \dfrac{P''}{\cos\alpha} \\ q_a' = om\ \cos\beta = P'\,tg\,\alpha\,\cos\beta; & q_a'' = P''\,tg\,\alpha\,\cos\beta \\ q_b' = om\,.\,sin\beta = P'\,tg\,\alpha\,sin\,\beta; & q_b'' = P''\,tg\,\alpha\,sin\,\beta \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots & \ldots\ldots\ldots \end{array}\right\}\ *). \qquad (345)$$

Для каждой изъ 4-хъ силъ P получаемъ подобныя же три уравненія Если мы дальше назовемъ черезъ $\pm Q_{I}$, $\pm Q_{II}$, $\pm Q_{III}$, $\pm Q_{IV}$, равнодѣйствующія отъ

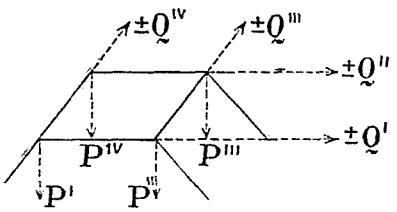


Рис. 687.

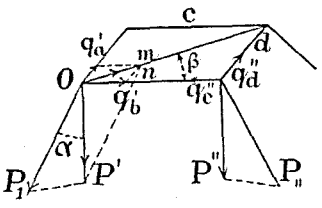


Рис. 688.

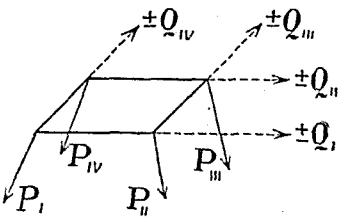


Рис. 689.

различныхъ Q и каждой пары q, то получимъ распредѣленіе силъ, показанное на рис. 689. Такъ, напримѣръ, для распорки b равнодѣйствующая $\pm Q_{1}$ есть равнодѣйствующая трехъ силъ: $\pm Q'$, $+ q_b'$ и $- q_b''$ и т. д.

Силы P_{1}, направленныя по ребрамъ, имѣющимъ внизу опорную точку, дойдутъ до основанія, не измѣняясь въ направленіи, хотя величина ихъ можетъ измѣняться отъ дѣйствія горизонтальныхъ сплъ, приложенныхъ въ различныхъ точкахъ ребра опоры. Такимъ образомъ, опредѣливши вліяніе вертикальныхъ силъ на ребра, остается для полученія окончательнаго усилія въ ребрахъ, прибавлять къ полученнымъ результатамъ въ алгебраическомъ смыслѣ вертикальныя составляющія отъ горизонтальныхъ силъ, которыя разложатся по діагоналямъ и по ребрамъ.

Очевидно, что каждую грань можно разсматривать независимо. Для опредѣленія усилій въ составныхъ частяхъ каждой изъ граней опоры, вызываемыхъ различными внѣшними силами, слѣдуетъ примѣнить тѣже формулы, которыя были выведены для плоскихъ опоръ.

Разсмотримъ *нѣсколько частныхъ случаевъ*, предполагая, что фермы разрѣзныя.

1) *Равномѣрная нагрузка всѣхъ реберъ; отсутствіе вѣтра.* Такъ какъ различныя P^{I}, P^{II}, P^{III}, P^{IV} — равны между собою, то соотвѣтственныя q_a' и q_a^{IV} и т. д. въ формулахъ 345 равны и противоположны по знаку, а слѣдовательно

*) На рис. 688 вмѣсто q_b'' ошибочно поставлено q_c''.

$+ Q_1 = q_b' - q_b'' = 0$, т. е. распорки (кромѣ верхнихъ, которыя будутъ сжаты) и раскосы не работаютъ, если пренебречь упругой деформаціей.

2) *Неравномѣрная нагрузка реберъ; отсутствіе вѣтра.* Въ данномъ случаѣ $q_a' - q_a^{IV}$, $q_b' - q_b''$ и т. д. не равно нулю. Обозначая черезъ Q_I, Q_{II}, Q_{III}, Q_{IV} —равнодѣйствующія отъ различныхъ q, опредѣлимъ по ранѣе выведеннымъ формуламъ (313) и (314) соотвѣтственныя значенія V_x и V_x'. Окончательныя усилія въ ребрахъ получимъ, взявъ алгебраическую сумму этихъ V_x и V_x' и соотвѣтствеиныхъ значеній P_1; въ одномъ случаѣ будемъ имѣть разность, а въ другомъ — сумму. Усилія въ раскосахъ и распоркахъ найдутся по формуламъ (315) и (316). Здѣсь слѣдуетъ повторить тоже, что говорилось о вліяніи несиметричной нагрузки въ плоскихъ опорахъ, т. е. если $Q_1 = q_b' - q_b''$, то верхняя распорка сжата бо́льшимъ изъ двухъ усилій: q_b' и q_b'', а на раскосы и на остальныя распорки вліяетъ лишь разность этихъ силъ: $Q_1 = q_b' - q_b''$.

3) Если при двухъ вышеупомянутыхъ предположеніяхъ допустить еще *присутствіе вѣтра*, то въ первомъ случаѣ Q_I, Q_{II}, Q_{III}, Q_{IV} — будутъ выражать только давленіе вѣтра, а во второмъ—равнодѣйствующую отъ давленія вѣтра и различныхъ q.

Примѣры. Въ ниже помѣщенныхъ таблицахъ показаны значенія усилій въ ребрахъ віадука Бюссо (Busseau) подъ два пути, построеннаго Nördling'омъ, и вычисленныя при различныыъ предположеніяхъ по выше приведеннымъ формуламъ 326'''. Въ быкѣ 8 реберъ, поддерживающихъ четыре фермы подъ два пути; приведемъ сначала данныя, относящіяся къ этому віадуку (табл. № 1).

Здѣсь K— собственный вѣсъ двухъ фермъ подъ одинъ путь по длинѣ полупролета—165 тоннъ, увеличенный вѣсомъ каждаго полуэтажа опоры по 10 тоннъ. Такъ какъ опора состоитъ изъ 8 реберъ, то на четыре переднихъ ребра передается вѣсъ фермъ на длину полупролета и половинный вѣсъ этажа опоры и еще K' — вѣсъ подвижной нагрузки на длину полупролета. Остальныя буквы въ табл. № 1 имѣютъ значенія, указанныя выше на стр. 920—921.

Таблица №. 1.

№ этажа, считая снизу.	a метр.	Ω квадрат. миллим.	ω квадрат. миллим.	$\frac{\omega}{\Omega}$	K тоннъ.	K'	U	c	v метровъ.
7	6,00	38.940	34.600	0,888	175	100 тоннъ подъ одинъ путь.	31 тонна.	1,75 метра.	4,00
6	6,60	38.940	34.600	0,888	185				8,50
5	7,20	43.080	34.600	0,803	195				13,00
4	7,80	47.080	34.600	0,803	205				17,50
3	8,40	47.100	38.940	0,826	215				22,00
2	9,00	47.100	38.940	0,826	225				26,50
1	9,60	50.930	38.940	0,764	235				31,00
0	10,20	—	38.940	—	245				35,50

Столбецъ № 1 таблицы № 2 опредѣленъ по формулѣ (326'''), положивъ $U=0$. Такъ, напримѣръ, для этажа № 7:

$$P = \frac{175 + 100}{2\,(1{,}888)} - \frac{175}{6 \times 1{,}0987} = 46{,}3.$$

Столбецъ № 2 той же таблицы—по формулѣ (326'''), полагая $K'=0$. Такъ напримѣръ, для этажа № 5:

$$P = \frac{195}{2 \times (1{,}803)} - \frac{31 \times 13{,}00}{7{,}20 \times 1{,}0892} = 2{,}7 \text{ тонны.}$$

Столбецъ № 3 той же таблицы—по формулѣ (326'''), гдѣ вмѣсто $+c$ слѣдуетъ взять $-c$, въ виду того, что формула выведена въ предположеніи нагрузки праваго пути. Такъ, напримѣръ, для этажа № 5:

$$S = \frac{195 + 100}{2 \times 1{,}803} + \frac{31 \times 13{,}00 - 1{,}75 \times 100}{7{,}20 \times 1{,}0892} = 110{,}9 \text{ тонны.}$$

Столбецъ № 4 той же таблицы—по формулѣ (326'''), гдѣ въ числителѣ перваго члена нужно прибавить K' и въ числителѣ второго члена—cK'. Слѣдовательно:

$$P = \frac{K + K' + K'}{2\left(1 + \frac{\omega}{\Omega}\right)} - \frac{(cK' - cK' + Uv)}{a\left(1 + \frac{\omega}{9\Omega}\right)} = \frac{K + 2K'}{2\left(1 + \frac{\omega}{\Omega}\right)} - \frac{Uv}{a\left(1 + \frac{\omega}{9\Omega}\right)}$$ и т. д.

Таблица №. 2.

№№ этажей.	№ 1. Отсутствіе вѣтра; нагрузка праваго пути.				№ 2. Отсутствіе подвижной нагрузки; давленіе вѣтра.				№ 3. Подвижная нагрузка на лѣвомъ пути; давленіе вѣтра.				№ 4. Нагрузка обоихъ путей; давленіе вѣтра.				№ 5. Нагрузка обоихъ путей; отсутствіе вѣтра.			
	P	Q	R	S	P	Q	R	S	P	Q	R	S	P	Q	R	S	P	Q	R	S
	тонны.																			
7	46,3	56,8	72,5	99,4	27,5	35,6	46,7	65,2	80,6	67,0	62,4	65,1	80,5	82,6	93,8	118,1	99,3	88,2	88,2	99,3
6	51,3	59,9	74,2	99,6	12,6	32,8	54,3	85,4	63,3	63,4	70,6	87,7	65,6	79,8	101,3	138,3	102,0	90,5	90,5	102,0
5	59,5	59,7	71,7	104,1	2,7	29,7	57,1	105,5	52,7	57,9	73,5	110,9	58,1	74,3	101,7	160,9	109,5	88,0	88,0	109,5
4	64,0	62,4	73,4	105,2	— 7,0	28,6	62,7	120,7	41,3	56,4	79,5	127,8	49,5	73,1	107,2	176,2	112,3	90,2	90,2	112,3
3	67,1	66,0	76,5	105,3	— 15,6	28,2	69,1	133,3	30,9	56,0	86,5	141,6	39,2	73,4	114,3	188,1	113,6	93,9	93,9	113,6
2	71,2	68,6	78,4	106,8	—22,1	27,9	73,9	145,3	23,2	55,3	91,7	154,8	32,7	73,1	119,1	200,0	116,4	96,1	96,1	116,4
1	78,1	68,3	76,8	111,8	—25,7	27,5	74,3	159,0	19,4	53,3	91,8	170,5	31,0	70,8	117,7	215,6	123,3	94,2	94,2	123,3
0	82,0	70,7	78,7	113,6	—30,1	27,8	78,3	169,0	14,1	53,4	96,1	181,5	26,6	71,1	121,7	225,7	126,1	96,4	96,4	126,1

Слѣдовательно, для этажа № 5:

$$S = \frac{195 + 200}{2 \times 1{,}803} + \frac{31 \times 13}{7{,}20 \times 1{,}0892} = 160{,}9 \text{ тонны.}$$

Столбецъ № 5 той же таблицы—по формулѣ (326'''), положивъ $U = 0$. Слѣдовательно, для этажа № 5:

$$S = \frac{195 + 200}{2 \times 1{,}803} = 109{,}5 \text{ тонны.}$$

Въ слѣдующихъ таблицахъ выписаны усилія въ раскосахъ и распоркахъ для опоры віадука Busseau, предполагая, что раскосы работаютъ по ровну на растяженіе и сжатіе, или что работаетъ на растяженіе только одна система раскосовъ. При этомъ приняты тѣ различныя нагрузки, при которыхъ расчитаны вышеприведенные столбцы №№ 1, 2, 3 и 5 таблицы № 2.

Таблица №. 1'.

№№ этажей.	y' метры.	Отсутствіе вѣтра. Нагрузка праваго пути. Оба раскоса одновременно работаютъ.								
		L	L'	M	M'	N	N'	A'	A	A''
		тонны	тонны	тонны	тонны	тонны	тонны	тонны	тонны	тонны
7	45	— 1,4	+ 1,4	— 1,7	1,7	— 1,2	+ 1,2	—	—	—
6	49,5	— 3,1	+ 3,1	— 1,7	1,7	+ 1,1	— 1,1	1,1	+ 2,2	1,2
5	54,0	— 1,1	+ 1,1	— 1,2	1,2	— 0,8	0,8	— 0,6	— 1,5	— 0,7
4	58,3	— 0,4	+ 0,4	— 1,0	1,0	— 1,4	1,4	— 0,1	— 0,4	— 0,2
3	63,0	— 0,9	+ 0,9	— 0,9	0,9	— 0,6	0,6	0,5	0,9	0,5
2	67,5	— 2,7	+ 2,7	— 1,0	1,0	+ 2,1	— 2,1	1,3	2,5	1,3
1	72,0	— 0,9	+ 0,9	— 0,8	0,8	— 0,4	0,4	— 0,8	— 0,8	— 0,8

Таблица №. 1^{II}.

№№ этажей.	y' метры.	Т о ж е. Раскосы работаютъ на вытягиваніе.								
		L	L'	M	M'	N	N'	A'	A	A''
		тонны	тонны	тонны	тонны	тонны	тонны	тонны	тонны	тонны
7	45	— 2,7	—	— 3,4	—	— 2,5	—	—	—	—
6	49,5	— 6,2	—	— 3,4	—	—	— 2,2	3,2	3,7	2,2
5	54,0	— 2,2	—	— 2,5	—	— 1,7	—	1,3	— 0,2	0,2
4	58,5	— 0,7	—	— 2,0	—	— 2,8	—	0,0	0,7	0,9
3	53,0	— 1,8	—	— 1,9	—	— 2,2	—	1,2	1,9	1,5
2	67,5	— 5,2	—	— 2,0	—	—	— 2,9	3,3	3,6	2,5
1	72,0	— 1,6	—	— 1,5	—	— 0,8	—	1,2	— 0,8	0,2

Таблица №. 2^{I}.

№№ этажей.	y' метры.	Отсутствіе подвижной нагрузки. Давленіе вѣтра. Раскосы работаютъ на вытягиваніе.								
		L	L'	M	M'	N	N'	A'	A	A''
		тонны	тонны	тонны	тонны	тонны	тонны	тонны	тонны	тонны
7	45	—	— 19,3	—	— 25,2	—	— 19,0	—	—	—
6	49,5	—	— 14,1	—	— 20,3	—	— 17,2	— 7,8	11,3	9,5
5	54,0	—	— 14,3	—	— 18,2	—	— 14,1	— 5,8	8,0	7,5
4	58,5	—	— 12,9	—	— 16,3	—	— 11,4	— 6,6	8,2	6,4
3	63,0	—	— 10,7	—	— 14,1	—	— 10,9	— 6,7	8,6	6,7
2	67,2	—	— 7,5	—	— 11,1	—	— 13,1	— 5,7	8,7	8,1
1	72,0	—	— 8,5	—	— 11,2	—	— 2,0	— 4,2	5,2	5,8

Таблица №. 3^{I}.

№№ этажей.	y' метры.	Подвижная нагрузка на лѣвомъ пути. Давленіе вѣтра. Раскосы работаютъ на вытягиваніе.								
		L	L'	M	M'	N	N'	A'	A	A''
		тонны	тонны	тонны	тонны	тонны	тонны	тонны	тонны	тонны
7	45	—	— 22,0	—	— 28,2	—	— 21,6	—	—	—
6	49,5	—	— 14,7	—	— 23,3	—	— 22,6	8,9	13,5	11,1
5	54,0	—	— 16,0	—	— 20,3	—	— 16,0	6,5	8,8	8,5
4	58,5	—	— 15,1	—	— 18,0	—	— 12,7	7,5	9,1	7,1
3	63,0	—	— 22,2	—	— 15,7	—	— 12,4	7,6	9,9	7,3
2	67,5	—	— 7,6	—	— 12,9	—	— 15,7	6,5	10,4	9,4
1	72,0	—	— 9,7	—	— 12,5	—	— 10,2	4,3	5,6	8,5

Таблица №. 4^{I}.

№№ этажей.	y' метры.	Нагрузка обоихъ путей. Давленіе вѣтра. Оба раскоса одновременно работаютъ.								
		L	L'	M	M'	N	N'	A'	A	A''
		тонны	тонны	тонны	тонны	тонны	тонны	тонны	тонны	тонны
7	45	9,5	— 9,5	12,4	—12,4	9,7	— 9,7	—	—	—
6	49,5	5,5	— 5,5	10,0	—10,0	11,2	—11,2	1,3	2,9	1,6
5	54,0	6,7	— 6,7	8,8	— 8,8	7,2	— 7,2	— 1,0	— 1,1	— 0,8
4	58,5	6,7	— 6,7	8,0	— 8,0	5,4	— 5,4	— 0,3	— 0,7	— 0,2
3	63,0	5,3	— 5,3	5,3	— 5,3	5,6	— 5,6	0,4	0,7	0,7
2	67,5	2,5	— 2,5	4,7	— 4,7	7,8	— 7,8	1,4	3,1	— 1,9
1	72,0	4,2	— 4,2	5,9	— 5,9	4,6	— 4,6	— 1,1	— 3,1	— 1,1

Таблица № 5′.

№№ этажей.	y' метры.	Нагрузка обоихъ путей. Отсутствіе вѣтра. Оба раскоса одновременно работаютъ.								
		L	L'	M	M'	N	N'	A'	A	A''
		тонны	тонны	тонны	тонны	тонны	тонны	тонны	тонны	тонны
7	45	— 0,1	0,1	—	—	0,1	— 0,1	—	—	—
6	49,5	— 2,8	2,8	—	—	2,8	— 2,8	1,5	2,8	1,5
5	54,0	— 1,6	1,6	—	—	1,6	— 1,6	— 1,0	— 2,1	— 1,0
4	58,5	+ 0,7	— 0,7	—	—	— 0,7	+ 0,7	— 0,3	— 0,7	— 0,3
3	63,0	— 0,1	0,1	—	—	0,1	— 0,1	0,6	1,1	0,6
2	67,5	— 2,6	2,6	—	—	2,6	— 2,6	1,7	3,2	1,7
1	72,0	— 0,2	0,2	—	—	0,2	— 0,2	— 1,1	— 2,7	— 1,1

Всѣ эти значенія опредѣлены по формуламъ: (332) — (337), пользуясь данными таблицы № 2. Здѣсь $\theta = \frac{1}{15}$; $k = \frac{10}{4} = 2{,}5$ тонны; $h = 4{,}5$ метра. Такъ напримѣръ, въ таблицѣ № 1′ значеніе L для этажа № 7 опредѣлено слѣдующимъ образомъ.

Согласно (332): $$2L_y' = P_0 - P - k.$$

Изъ столбца № 1 таблицы № 2, для этажа № 7:

$$P = 46{,}3,$$

для этажа № 6: $$P_0 = 51{,}3.$$

Слѣдовательно: $$L_y' = \frac{51.3 - 46.3 - 2.5}{2} = 1{,}25 \text{ тонны}.$$

Согласно (336):

$$L_y' : L_x' = h : \frac{\theta}{3}(2y' + 3h) = 4{,}5 : \frac{1}{45}(2\times 45 + 3\times 4{,}5) = 4{,}5 : 2{,}29;$$

$$L_x' = \frac{1{,}25 \times 2{,}29}{4{,}5} = 0{,}636.$$

Слѣдовательно на основаніи (338):

$$L = \sqrt{L_y'^2 + L_x'^2} = \sqrt{(1{,}25)^2 + (0{,}636)^2} = 1{,}4 \text{ тонны}.$$

При нагрузкѣ, указанной въ таблицѣ № 5′, казалось бы, что раскосы L, L', N и N' не должны быть напряжены. Присутствіе же усилія объясняется тѣмъ, что внутреннія и внѣшнія ребра имѣютъ различныя сѣченія и что, кромѣ того, собственный вѣсъ k принятъ постояннымъ для всѣхъ реберъ, что въ дѣйствительности невѣрно. Горизонтальные тяжи или распорки тоже напряжены, что есть слѣдствіе бокового изгиба реберъ.

Вліяніе неодинаковой нагрузки смежныхъ пролетовъ. Если ферма разрѣзная или даже неразрѣзная, но безъ балансирной опорной подушки, то неодинаковая нагрузка обоихъ пролетовъ вліяетъ на измѣненіе усилія въ ребрахъ.

Положимъ, что ферма неразрѣзная и пусть l величина пролета; p и q — нагрузки на погонную единицу неиагруженнаго и нагруженнаго пролета; α — tangens угла наклоненія, составляемаго изогнутой осью фермы. Тогда для какого-либо нагруженнаго пролета, считая абсциссы отъ ближайшей опоры и предполагая, что нагруженные и неиагруженные пролеты чередуются *), при очень боль-

*) Общее выраженіе момента:

$$M_x = M_{m-1} + \left(\frac{M_m - M_{m-1} - X'_m}{l_m}\right) \cdot x + (X'_m)_x,$$

гдѣ M_{m-1}, M_m — моменты на лѣвой и правой опорахъ разсматриваемаго пролета l_m; X'_m, — мо-

шомъ числѣ пролетовъ, имѣемъ въ предѣлѣ:

$$EJ\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{qlx}{2} - \frac{qx^2}{2} - \left(\frac{q+p}{24}\right)l^2; \quad \ldots\ldots\ldots \quad (346)$$

$$EJ\frac{dy}{dx} = \frac{qlx^2}{4} - \frac{qx^3}{6} - \left(\frac{q+p}{24}\right)l^2x + EJ\alpha;$$

$$EJy = \frac{qlx^3}{12} - \frac{qx^4}{24} - \frac{(q+p)}{48}l^2x^2 + EJ\alpha x.$$

ментъ нагрузки въ предѣлахъ пролета l_m относительно правой опоры пролета l_m; $(X'_m)_x$ — моментъ нагрузки между лѣвой опорой и еѣченіемъ x, взятый относительно еѣченія x.

Если промежуточные пролеты равны между собою, а длина каждаго изъ крайнихъ пролетовъ l, причемъ величина промежуточныхъ пролетовъ δl, то при очень большомъ числѣ пролетовъ:

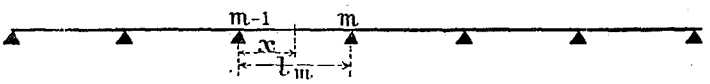


Рис. 690.

1) при *четномъ* или *нечетномъ* числѣ пролетовъ и при загрузкѣ черезъ одинъ *четныхъ* пролетовъ, моменты на опорахъ третьей, пятой, седьмой ....

$$M_{m\,(2,4,6,8\ldots)} = -\frac{1}{24}kl^2\delta^2\left[\frac{1+\alpha''^{m-1}(3\delta-2)}{2+\delta\sqrt{3}}\right]^{*)} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (a)$$

гдѣ $\alpha'' = -2+\sqrt{3}$ **); m—указатель пролета;

2) при *четномъ* или *нечетномъ* числѣ пролетовъ, но при загрузкѣ черезъ одинъ *нечетныхъ* пролетовъ, моменты на опорахъ второй, четвертой, шестой ....

$$M_{m\,(1,3,5,7\ldots)} = -\frac{1}{24}kl^2\left[\delta^2 + \frac{(6-2\delta^2-3\delta^3)\,\alpha''^{m-1}}{2+\delta\sqrt{3}}\right]^{***)} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (b)$$

Всѣ моменты M_2, M_4, M_6 .... равны между собою, если $\delta = \frac{2}{3}$, т. е. крайніе пролеты составятъ $\frac{3}{2}$ отъ промежуточныхъ. Затѣмъ:

$$M_1 = M_3 = M_5 \ldots, \text{ если } 3\delta^3 + 2\delta^2 - 6 = 0, \text{ или } \delta = 1{,}0724,$$

т. е. если крайніе пролеты составляютъ $\frac{1}{1{,}072} = 0{,}933$ отъ промежуточныхъ. При $\delta = 1$, т. е. когда всѣ пролеты равны между собою, то $(a) = (b)$ и

$$M_{m\,(2,4,6,8\ldots)} = -\frac{1}{24}kl^2\left(1+\frac{\alpha''^{m-1}}{2+\sqrt{3}}\right) = M_{m\,(1,3,5,7\ldots)},$$

или

$$M_{m\,(2,4,6,8\ldots)} = M_{m\,(1,3,5,7\ldots)} = -\frac{1}{24}kl^2\left[1+\frac{(0{,}268)^{m-1}}{3{,}73}\right];$$

множитель въ скобкахъ съ увеличеніемъ m приближается къ 1, такъ что при предѣлѣ моменты на промежуточныхъ опорахъ равны: $-\frac{1}{24}kl^2$. (При полной загрузкѣ всѣхъ пролетовъ предѣльное значеніе момента на опорахъ $\frac{1}{12}kl^2$).

На этомъ основаніи:

$$M_{m-1} = M_m = -\frac{1}{24}kl^2;\ l_m = l;\ X'_m = -\frac{kl^2}{2};\ (X'_m)_x = -\frac{kx^2}{2}.$$

Слѣдовательно

$$M_x = -\frac{1}{24}kl^2 + \frac{kl}{2}x - \frac{kx^2}{2}.$$

При нагрузкѣ, напримѣръ, четныхъ пролетовъ грузомъ p (собственный вѣсъ), а нечетныхъ грузомъ q (собственный вѣсъ и подв. нагр.), моментъ на опорахъ:

$$M_m = -\frac{1}{24}(p+q)\,l^2.$$

Если разсматриваемый пролетъ нагруженъ собственнымъ вѣсомъ и подвижной нагрузкой, то:

$$M_x = -\frac{1}{24}(p+q)\,l^2 + \frac{qlx}{2} - \frac{qx^2}{2}.$$

---

*) Bresse. Cours de Mécanique appliquée. Troisième partie, стран. 201. Изд. 1865.
**) Ibidem, стран. 134.
***) Ibidem, стран. 202.

Но при $x = l$, $x = O$. Слѣдовательно:

$$O = \frac{ql^4}{12} - \frac{ql^4}{24} - \frac{(p+q)l^4}{48} + EJ\alpha l,$$

откуда:

$$\alpha = \frac{(q-p)l^3}{48EJ} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (347)$$

Если ширина опоры по верху b_m, то пониженіе реберъ, обращенныхъ къ сторонѣ нагруженнаго пролета $\frac{b_m}{2}\alpha = \lambda$, а слѣдовательно, напряженіе:

$$E \cdot \frac{\lambda}{L} \cdot \omega = E \frac{b_m \cdot \alpha}{2L} \cdot \omega,$$

если L—полная высота ребра, а ω—площадь поперечнаго сѣченія.

Такимъ образомъ, въ короткихъ ребрахъ одно и то же укорачиваніе производитъ большее напряженіе, чѣмъ въ длинныхъ ребрахъ. Но такъ какъ ребра, обращенныя къ нагруженному пролету, неразрывно связаны съ ребрами, обращенными къ ненагруженному пролету, то укорачиваніе ребра можетъ имѣть мѣсто лишь при изгибѣ опоры, такъ чтобы центръ верхняго основанія находился на одной вертикали съ центромъ нижняго основанія.

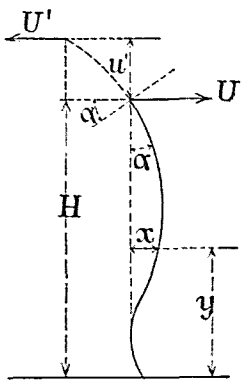


Рис. 691.

Разсмотримъ два случая: α) когда ферма неразрывно соединена съ верхнею частью опоры и β) когда ферма свободно опирается на опору.

α) Предполагая, что опора прочно закрѣплена внизу, въ первомъ случаѣ нейтральная ось опоры приметъ форму, показанную на рис. 691, при чемъ уголъ, составленный изогнутой осью съ вертикалью въ вершинѣ, равенъ углу, составляемому фермой съ горизонталью.

Для опредѣленія напряженія, проявляющагося въ грани опоры (состоящей изъ двухъ реберъ неразрывно между собою связанныхъ) примемъ, что этотъ изгибъ произведенъ двумя, неизвѣстными пока, горизонтальными силами U и U', приложенными къ вершинѣ опоры къ нейтральной оси и на предполагаемомъ продолженіи этой оси въ разстояніи u'.

Сила U представляетъ собою сопротивленіе, оказываемое фермою при стремленіи опоры отклоняться во внутрь. Мы здѣсь, по необходимости, должны предположить вспомогательную силу U' съ плечомъ u', которая замѣнитъ изгибающій моментъ, происходящій отъ неодинаковой нагрузки обоихъ реберъ. Если бы ребра не были неразрывно соединены съ фермой, то можно было бы прямо ввести выраженіе момента отъ нагрузки вверху, но въ виду неразрывнаго соединенія съ фермой это послѣднее вліяетъ неизвѣстнымъ намъ образомъ на распредѣленіе напряженій въ ребрахъ и поэтому удобнѣе этотъ моментъ замѣнить другимъ вспомогательнымъ моментомъ.

Если J'—моментъ инерціи грани опоры (предполагая, что моментъ инерціи величина постоянная по всей высотѣ), то для абсциссы y:

$$\left.\begin{aligned} EJ'\frac{d^2x}{dy^2} &= U(H-y) - U'(H+u'-y);\\ EJ'\frac{dx}{dy} &= U\left(Hy - \frac{y^2}{2}\right) - U'\left(Hy + u'y - \frac{y^2}{2}\right);\\ EJ'x &= U\left(\frac{Hy^2}{2} - \frac{y^3}{6}\right) - U'\left(\frac{Hy^2}{2} + \frac{u'y^2}{2} - \frac{y^3}{6}\right), \end{aligned}\right\} \quad . \quad . \quad (348)$$

такъ какъ произвольныя постоянныя $= 0$. Но при $y = H$, $x = 0$. Слѣдовательно:

$$0 = \frac{uH^3}{3} - U'H^3\left(\frac{1}{3} + \frac{u'}{2H}\right).$$

Затѣмъ при $y = H$, $\frac{dx}{dy} = -\alpha$. Слѣдовательно:

$$\left.\begin{aligned} -EJ'\alpha &= \frac{uH^2}{2} - U'H^2\left(\frac{1}{2} + \frac{u'}{H}\right), \\ \text{откуда:}\quad U' &= \frac{yEJ'\alpha}{u'H}\,;\quad U = \left(1 + \frac{3u'}{2H}\right).\ U'. \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots \quad (349)$$

Величину u' (плечо силы U') нечего опредѣлять, такъ какъ, по подставкѣ найденныхъ значеній U и U' въ вышенаписанныя три уравненія, она исключается. А именно получимъ:

$$\left.\begin{aligned} EJ'\,\frac{d^2x}{dy^2} &= \frac{2EJ'\alpha}{H^2}\,(H - 3y); \\ EJ'\,\frac{dx}{dy} &= \frac{\alpha y}{H^2}\,(2H - 3y); \\ EJ'\,x &= \frac{\alpha y^2}{H^2}\,(H - y). \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots \quad (350)$$

Первое изъ уравненій опредѣляетъ величину момента сопротивленія равнаго сгибающему моменту. Изъ этихъ же формулъ видимъ, что сгибающій моментъ—нуль при $y = \frac{H}{3}$.

При $y = \frac{2}{3}\ H$, $\frac{dx}{dy} = 0$ и соотвѣтствующее этому наибольшее отклоненіе $x = \frac{4}{27}\ H\alpha$.

Далѣе, моментъ инерціи грани опоры: $J' = \Omega\,\frac{b^2}{2}$, если b — ширина грани на разстояніи y отъ основанія, а Ω — площадь сѣченія каждаго ребра. Затѣмъ, если P и P' — усилія двухъ реберъ въ данномъ сѣченіи, то, разсматривая оба ребра, какъ бы мысленно выдѣленныя изъ твердаго тѣла, моментъ внутреннихъ силъ будетъ $(P - P')\ \frac{b}{2}$.

Слѣдовательно:

$$(P - P')\ \frac{b}{2} = \frac{2EJ'_1\alpha}{H^2}\,(H - 3y) = \frac{E\Omega b^2\alpha}{H^2}\,(H - 3y),$$

откуда:

$$P - P' = \frac{2E\Omega b\alpha}{H}\left(1 - \frac{3y}{H}\right) \quad \ldots\ldots \quad (351)$$

А такъ какъ сверхъ того извѣстны $P + P'$, такъ какъ, очевидно, сумма вертикальныхъ составляющихъ внутреннихъ силъ должна равняться вертикальнымъ составляющимъ внѣшнихъ силъ, то можемъ найти значенія P и P' для любого значенія y. Такъ, напримѣръ, для высокой опоры віадука Busseau $P + P' = 133$ тоннамъ, какъ сказано выше; $H = 31{,}5$ метр.; $\Omega = 38940$ кв. миллим. въ вершинѣ и $\Omega = 50930$ кв. мм. у основанія; $b = 2{,}00$ метра въ вершинѣ и $b = 3{,}40$ м. у основанія; α (фор. 347) для данной фермы: 0,0015.

	Minimum значеній $P-P'$. Ω и b соотвѣтствуютъ вершинѣ.			Maximum значеній $P-P'$. Ω и b соотвѣтствуютъ основанію.		
	$P-P'$	P'	P	$P-P'$	P'	P
	тонны.					
Въ вершинѣ	— 133,4	133,2	— 0,2	— 296,8	214,9	— 81,9
На $^2/_3$ высоты	— 66,7	99,8	33,1	— 148,4	140,7	— 7,7
По срединѣ	— 33,4	83,2	49,8	— 74,2	103,6	29,4
На $^1/_3$ высоты	0,0	66,5	66,5	0,0	66,5	66,5
У основанія.	66,7	33,1	99,8	148,4	— 7,7	140,7

Изъ этой таблицы видно, что при неодинаковой нагрузкѣ пролетовъ одно ребро подвержено сжатію въ 133,2 или 214,9 тонны, а другое — вытягиванію въ 0,2 или 81,9 тонны, между тѣмъ какъ при нагрузкѣ обоихъ смежныхъ пролетовъ каждое ребро было бы подвержено сжатію отъ груза $\frac{332+200+200}{8}=91{,}5$ тонны, гдѣ 332—собственный вѣсъ фермы; 200 тоннъ — подвижная нагрузка на каждомъ пути.

β) Разсмотримъ теперь второй случай, когда ферма не связана неразрывно съ вершиною опоры. Пусть b_m—ширина опоры по верху (т. е. по направленію параллельному оси моста), а b—ширина въ сѣченіи на разстояніи y отъ основаніи; $\Sigma P_m = P_m + P'_m$—сумма вертикальныхъ составляющихъ внѣшнихъ силъ. Въ данномъ случаѣ изогнутая нейтральная ось ие составляетъ у вершины съ вертикалью уголъ α, а нѣкоторый другой, неизвѣстный пока уголъ. Такъ какъ ферма не соединена неразрывно съ ребрами, то въ выраженіе сгибающаго момента можно прямо ввести вліяніе неодинаковой нагрузки обоихъ реберъ вверху. Что касается величинъ P_m и P'_m, т. е. нагрузокъ по верху каждаго изъ двухъ реберъ, то онѣ опредѣлятся въ зависимости отъ нагрузки пролетовъ и отъ того, будутъ ли фермы разрѣзныя или неразрѣзныя. Если, напримѣръ (рис. 692), одинъ пролетъ нагруженъ, а другой ненагруженъ и ферма разрѣзная, тогда легко опредѣлить величину каждаго изъ P_m, а затѣмъ и плечо a относительно нейтральной оси. Если, далѣе, U — неизвѣстиое сопротивленіе фермы прогибу опоры въ сторону нагруженнаго пролета, и если допустимъ приближенно, что моментъ инерціи величина постоянная, то:

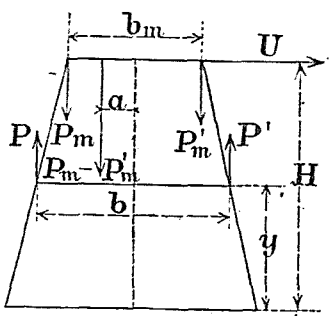


Рис. 692.

$$\left.\begin{aligned} EJ_1\frac{d^2x}{dy^2} &= U\ (H-y) - \Sigma P_m a;\\ EJ_1\frac{dx}{dy} &= U\left(Hy-\frac{y^2}{2}\right) - \Sigma P_m a y;\\ EJ_1\,x &= U\left(\frac{Hy^2}{2}-\frac{y^3}{6}\right) - \Sigma P_m\frac{ay^2}{2}. \end{aligned}\right\} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (352)$$

Такъ какъ при $y=H, x=0$ (рис. 693), то, найдя значеніе U и вставивъ это зна-

ченіе въ первое уравненіе и приравнявъ его моменту виутреннихъ силъ $\left(\frac{P-P'}{2}\right)^{*})\times b$, найдемъ значеніе $P-P'$, а такъ какъ $P+P'=\Sigma P_m$, то, слѣдовательно, будутъ найдены отдѣльно значенія P и P' для любого значенія y.

При неразрѣзныхъ фермахъ съ неодинаковой нагрузкой пролетовъ также можно приближенно опредѣлить, какая доля общей нагрузки ΣP_m передается на каждое изъ реберъ. Если $\frac{q}{p}>2$, гдѣ $q=p+k$, то, какъ извѣстно, изъ двухъ смежныхъ пролетовъ, изъ которыхъ одинъ нагруженъ подвижнымъ грузомъ, а другой не нагруженъ, неиагруженный пролетъ получаетъ обратный прогибъ **).

Въ этомъ случаѣ, еслибы ферма была неразрывно соединена съ опорой, то одно изъ реберъ было бы подвержеио вытягиванію, которое трудно было бы опредѣлить. Если же ферма не соединена съ опорой, тогда ребро, обращенное къ ненагруженному пролету, будетъ напряжено усиліемъ 0, а другое ребро приметъ на себя общую нагрузку $P_m+P'_m=\Sigma P_m$.

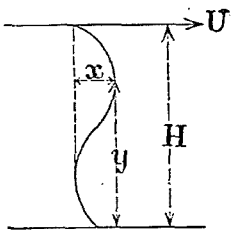


Рис. 693.

Если допустить, приблизительно, какъ и прежде, что при неразрѣзныхъ фермахъ давленіе на опоры передается, какъ и въ разрѣзныхъ, то для віадука Busseau:

$$\Sigma P_m=\frac{332+200}{4}=133 \text{ тонны},$$

гдѣ 332—вѣсъ пролетныхъ частей подъ два пути; 200—подвижная нагрузка на одинъ путь на длину пролета или, какъ въ данномъ случаѣ, доля передающейся иа опору подвижной нагрузки, покрывающей оба пути всего пролета, при загрузкѣ пролетовъ черезъ одинъ.

Для опредѣленія значенія $\frac{q}{p}=\frac{p+k}{p}$, замѣчаемъ, что для віадука Busseau, при загрузкѣ обоихъ путей пролета подвижнымъ грузомъ, что мы и разсматриваемъ: $pl=332$; $ql=332+400=732$.

Слѣдовательно, $\frac{q}{p}>2$. Поэтому $P_m=0$; $P'_m=\Sigma P_m=133$ тоннамъ. На этомъ основаніи группа формулъ (352) приметъ видъ:

$$\left.\begin{aligned} EJ_1\frac{d^2x}{dy^2}&=U(H-y)-\frac{1}{2}P'_m b_m;\\ EJ_1\frac{dx}{dy}&=U\left(Hy-\frac{y^2}{2}\right)-\frac{1}{2}P'_m b_m y;\\ EJ_1 x&=U\left(\frac{Hy^2}{2}-\frac{y^3}{6}\right)-\frac{1}{4}P'_m b_m y^2. \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots (353)$$

---

*) P и P' — искомыя усилія въ ребрахъ въ сѣченіи на разстояніи y — отъ основанія Если въ этомъ сѣченіи разстояніе между ребрами b, то моментъ инерціи: $J_1=\Omega\frac{b^2}{2}$.

**) Уравненіе момента въ любомъ сѣченіи ненагруженнаго пролета:

$$EJ\frac{d^2y}{dx^2}=\frac{pl}{2}x-\frac{px^2}{2}-\frac{(p+q)\,l^2}{24}.$$

Приравнивая вторую часть нулю, получимъ условіе для существованія точки перегиба въ упругой кривой линіи, откуда найдемъ:

$$x=\frac{l}{2}\left(1\pm\sqrt{\frac{1}{3}\left(2-\frac{q}{p}\right)}\right),$$

это выраженіе мнимое при $\frac{q}{p}>2$.

При $y = H$, $x = 0$, откуда $U = \frac{3}{4}\frac{b_m P'_m}{H}$. Присоединяя сюда равенство $(P - P')\frac{b}{2} = EJ_1 \frac{d^2x}{dy^2}$, найдемъ:

$$\left.\begin{aligned} P - P' &= \frac{1}{2} P'_m \frac{b_m}{b}\left(1 - 3\frac{y}{H}\right); \\ \frac{dx}{dy} &= \frac{P'_m b_m y}{4EJ_1}\left(1 - \frac{3}{2}\frac{y}{H}\right); \\ x &= \frac{P'_m b_m y^2}{EJ_1 8}\left(1 - \frac{y}{H}\right). \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots (354)$$

Зная $P - P'$ и $P + P'$, легко опредѣлить P и P'.

Двѣ первыя формулы показываютъ, что точка перегиба находится на $^1/_3$ высоты и что наибольшій выгибъ — на разстояніи $^2/_3$ отъ основанія. Полагая во второй формулѣ $y = H$, а въ третьей $\frac{y}{H} = {}^2/_3$, найдемъ значеніе *tang.* угла наклоненія оси опоры въ вершинѣ:

$$\alpha' = -\frac{P'_m b_m H}{8EJ_1} = -\frac{P'_m b_m H}{4E\Omega b^2} \quad \ldots\ldots\ldots (355)$$

и наибольшую стрѣлку выгиба:

$$x' = \frac{P'_m b_m H^2}{24EJ_1} = \frac{P'_m b_m H^2}{12E\Omega b^2}, \quad \ldots\ldots\ldots (356)$$

если приближенно допустимъ, что ребра вертикальны и моментъ инерціи величина постоянная. Вставляя вмѣсто Ω — значенія въ вершинѣ опоры и близъ основанія, найдемъ предѣльныя наибольшія и наименьшія значенія для α' и x'.

Такъ напр., пользуясь формулами (354), (355) и (356) Nördling вычислилъ для опоръ віадука Busseau значенія $P - P'$, а затѣмъ P и P' и кромѣ того значенія α' и x'. Вмѣсто того, чтобы вычислять $P - P'$ по первой формулѣ группы (354), Nördling находитъ два предѣльныхъ значенія $P - P'$, предполагая что ребра опоры вертикальны и что въ одиомъ случаѣ сѣченія ихъ и взаимное между ними разстояніе такое же, какъ въ вершинѣ опоры, а въ другомъ случаѣ — какъ въ основаніи опоры. Для сего необходимо выразить первую изъ формулъ (354) въ функціи момента инерціи, т. е. въ функціи сѣченія реберъ и взаимнаго между ними разстоянія. Изъ (355) имѣемъ:

$$\frac{P'_m b_m}{2b} = -\frac{2\alpha' E\Omega b}{H}.$$

Слѣдовательно, первая изъ формулъ (354) перепишется такъ:

$$P - P' = -\frac{2\alpha' E\Omega b}{H}\left(1 - 3\frac{y}{H}\right).$$

Для высокой опоры віадука Busseau *):

$P'_m = 133$ тонн.; $H = 31{,}5$ мм.; Ω въ вершинѣ — 38910 кв. мм.

Ω въ основаніи — 50930 кв. мм.; b_m въ вершинѣ — 2 м.; въ основаніи b — 3,40 м. Для чугуна $E = 9000\ \frac{\text{кгр.}}{\text{мм.}^2}$. Слѣдовательно, на основаніи (355) полагая $b =$

*) Nördling. Piles en charpente metallique An. des. p. et ch. 1864, p. 41.

$= b_m = 2$ м. и $\Omega = 38910$ кв. мм.

$$\alpha' = -\frac{P'_m b_m H}{4E\Omega b^2} = -\frac{133000 \times 2 \times 31{,}5}{4 \times 9000 \times 38910 \times 2^2} = -0{,}0015;\ x' = 0{,}007 \text{ м.}$$

Слѣдовательно:

$$P - P' = \frac{2 \times 0{,}0015 \times 9000 \times 38910 \times 2}{31{,}5}\left(1 - 3\frac{y}{H}\right) =$$

$$= 66{,}703\left(1 - 3\frac{y}{H}\right) \ldots\ldots\ldots\ldots (354')$$

При $\Omega = 50930$, $b_m = 2{,}00$ м.; $b = 3{,}4$ м.,

$$\alpha' = -\frac{133000 \times 2 \times 31{,}5}{4 \times 9000 \times 50930 \times 3{,}4 \times 3{,}4} = -0{,}0004 \text{ и } x' = 0{,}0018 \text{ м.}$$

Слѣдовательно:

$$P - P' = \frac{2 \times 0{,}0004 \times 9000 \times 50930 \times 3{,}4}{31{,}5}\left(1 - 3\frac{y}{H}\right) =$$

$$= 39{,}621\left(1 - 3\frac{y}{H}\right) \ldots\ldots\ldots\ldots (354'')$$

Вычисляя по этимъ формуламъ $P - P'$, получимъ:

	Maximum значеній $P-P'$. Ω и b соотвѣтствуютъ вершинѣ.			Minimum значеній $P-P'$. Ω и b соотвѣтствуютъ основанію.		
	$P-P'$	P'	P	$P-P'$	P'	P
	тонны.			тонны.		
Въ вершинѣ	— 133,0	133,0	0,0	— 79,2	106,1	26,9*)
На $^2/_3$ высоты	— 66,5	99,7	33,3	— 39,6	86.3	46,7
По серединѣ	— 33,3	83,1	49,9	— 19,8	76,4	56,6
На $^1/_3$ высоты	0,0	66,5	66,5	0	66,5	66,5
Въ основаніи	66,5	33,3	99,7	39,6	46,7	86,3

При minimum P въ вершинѣ не равно нулю, согласно предположенію, но это противорѣчіе Nördling объясняетъ тѣмъ, что, полагая ширину опоры вверху равною ширинѣ въ основаніи, нагрузка P'_m не приходится уже надъ крайнимъ ребромъ, а между двумя ребрами.

Сравнивая эти значенія P и P' съ тѣми, которыя были вычислены въ предположеніи, что ферма неразрывно связана съ вершиною опоры, мы замѣчаемъ, что разность между P и P' значительно менѣе. Но во всякомъ сличаѣ лучшимъ рѣшеніемъ будетъ помѣстить общую балансирную подушку на серединѣ оноры, (рис. 627), между ребрами, причемъ различіе нагрузокъ обоихъ пролетовъ не имѣетъ уже никакого значенія.

Вліяніе температуры. Если U — горизонтальная сила, отклоняющая вершину опоры вслѣдствіе удлиненія фермы отъ вліянія температуры; J_1—постоян-

*) Въ статьѣ Nördling'a, An. des ponts et chans. 1864, стр. 40 для minimum даны почему то другія значенія. Такъ напр., въ первой строкѣ $P - P' = -95{,}0$; $P' = 114{,}0$; $P = 19{,}0$ и т. д.

ный моментъ инерціи грани опоры, состоящей изъ двухъ реберъ; α'—уголъ наклоненія капители съ горизонтомъ; x'—половина наибольшей амплитуды измѣненія длины фермы, то:

$$EJ_1 \frac{d^2x}{dy^2} = U\,(H-y);\quad EJ_1 \frac{dx}{dy} = U\left(Hy - \frac{y^2}{2}\right);\quad EJ_1 x = U\left(\frac{Hy^2}{2} - \frac{y^3}{6}\right).$$

При $y = H$, $x = x'$; слѣдовательно:

$$U = \frac{3EJ_1 x'}{H^3}, \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (357)$$

т. е., чѣмъ ниже опора, тѣмъ чувствительнѣе вліяніе температуры.

Чтобы яснѣе впдѣть вліяніе температуры, мы здѣсь предположили, что ие имѣется вертикальной нагрузки и потому изгибъ нейтральной оси—безъ точекъ перегиба (рис. 694). Величину x' легко опредѣлить; если ферма на средней опорѣ закрѣплена неподвижно, то величина x' для каждой опоры найдется умноженіемъ коэффиціента расширенія желѣза на разстояніе разсматриваемой опоры отъ средней опоры и на разность температуры. Такимъ образомъ:

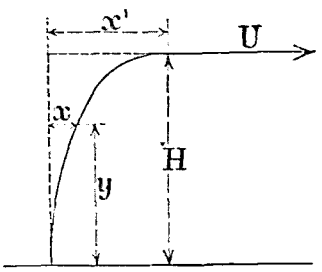


Рис. 694.

$$EJ_1 \frac{d^2x}{dy^2} = \frac{3EJ_1 x'}{H^3} \times (H-y) = \frac{3E\Omega b^2 x'}{2H^3}(H-y).$$

Но если P и P' усилія въ 2-хъ ребрахъ, на разстояніи y отъ основанія, то, разсматривая, оба ребра какъ бы мысленно выдѣленными изъ твердаго тѣла, найдемъ моментъ внутреннихъ силъ относительно нейтральнаго волокна: $(P - P') \cdot \frac{b}{2}$. Слѣдовательно:

$$(P-P') \cdot \frac{b}{2} = EJ_1 \frac{d^2x}{dy^2} = \frac{3E\Omega b^2 x'}{2H^3} \cdot (H-y),$$

откуда:

$$P - P' = \frac{3E\Omega bx'}{H^3} \cdot (H-y) = \frac{3E\Omega bx'}{H^2} \cdot \left(1 - \frac{y}{H}\right) \quad \ldots\ldots (358)$$

Изъ уравненія $EJ_1 \frac{dx}{dy} = U\left(Hy - \frac{y^2}{2}\right)$, по вставкѣ вмѣсто U его значенія и полагая $y = H$, получимъ: $\alpha' = \frac{3}{2} \cdot \frac{x'}{H}$. Такимъ образомъ опредѣляются всѣ необходимыя величины.

Для высокой опоры віадука Busseau, ие предполагая подвижной нагрузки $P + P' = \frac{332}{4} = 83$ тонн., x'—при разстояніи 100 метр. отъ неподвижной опоры и при принятой разности температуръ, составляетъ 0,03 метра. Тогда: $\alpha' = \frac{3 \times 0{,}03}{2 \times 31{,}5} = 0{,}0014$.

	Minimum значеній $P-P'$. Ω и b соотвѣтствуютъ вершинѣ.			Maximum значеній $P-P'$. Ω и b соотвѣтствуютъ основанію.		
	$P-P'$	P'	P	$P-P'$	P'	P
	тонны.			тонны.		
Въ вершинѣ.	0,0	41,5	41,5	0,0	41.5	41,5
На $^2/_3$ высоты	10,8	36,1	46,9	23,6	29,7	53,3
По серединѣ.	16,0	33,5	49,5	35,4	23,8	59,2
На $^1/_3$ высоты	21,4	30,8	52,2	47,2	17,9	65,1
У основанія.	32,0	25,5	57,5	70,8	6,1	76,9

Изъ этой таблицы видно, какъ велики напряженія P и P', если не приимать даже въ расчетъ вліянія подвижной нагрузки, а, слѣдовательно, очевидна необходимость помѣщенія катковъ, такъ какъ безъ нихъ треніе скольженія настолько велико, что отклоненіе вершины опоры почти что равняется полуамплитудѣ x'. При треніи каченія, при которомъ силу тренія можно принять равной 3,5 килограм. на каждую тонну, значеніе силы U составляетъ лишь $83 \times 3{,}5 = 290$ килогр. (что для даннаго случая составить $^1/_{50}$ отъ величины $U = \frac{3EJ_1x'}{H^3}$).

Поэтому Липпольдъ совѣтуетъ при устройствѣ металлическаго віадука съ разрѣзными фермами располагать постоянныя опорныя подушки только на устояхъ и снабжать катками и балансирами оба конца фермъ промежуточныхъ пролетовъ, что едвали осуществимо, имѣя въ виду тормаженіе и проч.

Во Фрейбургскомъ віадукѣ съ неразрѣзными фермами (фиг. 325, табл. 45) опорными подушками служатъ деревянные брусья; при измѣненіи температуры ферма свободно перемѣщается по деревянной подушкѣ; при неодинаковой же нагрузкѣ смежныхъ пролетовъ получается значительная разность въ напряженіяхъ реберъ. Для избѣжанія этого послѣдняго неудобства Nördling помѣщаетъ въ неразрѣзныхъ фермахъ одну общую балансирную опору по серединѣ между двумя ребрами, такъ что, какова бы ни была нагрузка на пролетахъ, 4 ребра всегда одинаково напряжены. Въ устроеныхъ имъ віадукахъ съ неразрѣзными фермами черезъ Busseau и la Cère на всѣхъ быкахъ опорныя подушки снабжены балансирами. Для уничтоженія же вреднаго вліянія на опоры измѣненія длины фермы отъ колебаній температуры одинъ только балансиръ средняго быка не имѣетъ катковъ; на всѣхъ остальныхъ быкахъ и на устояхъ балансиры снабжены катками *). Это послѣднее расположеніе имѣетъ, впрочемъ, другое неудобство: при давленіи вѣтра вдоль оси моста, все давленіе, при незначительности тренія катковъ, передается на средній быкъ **).

Опредѣленіе усилій въ элементахъ призматической опоры, разсматривая послѣднюю, какъ пространственную ферму.

а) Выводъ формулъ для выраженія напряженій въ ребрахъ и въ сквозныхъ стѣнкахъ. (По Résal'ю).

Предполагаемъ, что опора имѣетъ двѣ плоскости симметріи—продольную и поперечную; пересѣченіе этихъ плоскостей опредѣляетъ положеніе нейтральной оси.

Если въ какомъ либо горизонтальномъ сѣченіи, отстоящемъ на разстояніи x отъ вершины опоры, сѣченіе ребра ω, уголъ наклоненія къ вертикали i, разстояніе между осями реберъ въ продольномъ направленіи: $l = 2d$, а въ поперечномъ: $l' = 2d'$; σ — площадь сѣченія діагоналей горизонтальной плоскостью, при чемъ діагонали составляютъ углы α и α' съ продольной и поперечной плоскостями симметріи,—то приведенная площадь всѣхъ реберъ: $\Omega = \Sigma\omega \cos i$, приведенные продольные и поперечные моменты инерціи: $J = \Sigma\omega d^2 \cos i$ и $J' = \Sigma\omega d'^2 \cos i$; сѣченіе сквозной стѣнки въ продольномъ и поперечномъ направленіи: $A = \Sigma\sigma \sin\alpha$ и $A' = \Sigma\sigma \sin\alpha'$.

Если, далѣе, F — сжимающая сила, X и X' моменты въ продольномъ и поперечномъ направленіи, то напряженіе въ ребрѣ:

$$R = \frac{F}{\Omega} \pm \frac{Xd}{J} \pm \frac{X'd'}{J'} \text{ ***)} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (359)$$

*) Nördling. Piles en charpente métallique. An. des ponts et chaus. 1864.

**) О вліяніи вѣтра на фермы, опирающіяся на плоскія качающіяся опоры, см. статью Mantel'я Centralblatt der Bauverwaltungen. 1900.

***) Résal. Ponts métalliques.

Для наиболѣе напряженнаго ребра на сжатіе:

$$R = \frac{F}{\omega} + \frac{Xd}{J} + \frac{X'd'}{J'} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (360)$$

Если V и V' — полныя перерѣзывающія усилія въ продольномъ и поперечномъ направленіяхъ, то приведенныя перерѣзывающія усилія, т. е. воспринимаемыя сквознымъ заполненіемъ:

$$W = V - \frac{X}{l} \cdot \frac{dl}{dx} = V - \frac{X}{l} \cdot tg\,\beta; \quad W' = V' - \frac{X'}{l'} tg\,\beta' \quad , \quad . \quad (361)$$

такъ какъ $\frac{X}{l}$ и $\frac{X'}{l'}$ — вертикальныя составляющія усилій въ ребрахъ, вызванныхъ моментомъ; β и β' — углы, составляемые съ вертикалью — проекціями реберъ на продольную и поперечную плоскость симметріи. Приблизительно напряженіе матеріала въ сквозной рѣшеткѣ:

$$R = \sqrt{\frac{W^2}{A^2} + \frac{W'^2}{A'^2}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (362)$$

б) Аналитическія выраженія величинъ: F, X, X', V и V' для нѣсколькихъ частныхъ случаевъ.

а) Вертикальная нагрузка Q расположена несимметрично и вызываетъ продольные и поперечные моменты: μ и μ'. Если q — собственный вѣсъ, то, обозначая сжатіе знакомъ (—):

$$F = -Q - \int_0^x q dx; \quad X = \mu; \quad X' = \mu'; \quad V = V' = 0. \quad . \quad . \quad . \quad (363)$$

β) Вѣтеръ дѣйствуетъ подъ угломъ. Пусть полное давленіе вѣтра на ферму—P, а на погонную единицу высоты опоры—p. Разлагая эти полныя усилія вѣтра на вертикальныя составляющія: T и t и на двѣ горизонтальныя составляющія: S и S', s и s', а также разлагая опрокидывающій моментъ ρ, вызванный перенесеніемъ силы T въ вершину опоры, на два момента по плоскостямъ симметріи, т. е. на v и v', — будемъ имѣть:

$$\left.\begin{aligned} F = T + \int_0^x t dx; \quad V = S + \int_0^x s dx; \quad V' = S' + \int_0^x s' dx; \\ X = v + Sx + x\int_0^x s dx - \int_0^x sx dx; \quad X' = v' + S'x + x\int_0^x s' dx - \int_0^x s' x dx; \end{aligned}\right\} \quad (364)$$

($x\int_0^x s dx$—есть моментъ давленія вѣтра на опору, предполагая, что равнодѣйствующая перенесена въ вершину опоры, а — $\int_0^x x s dx$ — моментъ добавочной пары, вслѣдствіе вышеуказаннаго перенесенія, такъ что $x\int_0^x s dx - \int_0^x x s dx$ — есть моментъ давленія вѣтра относительно сѣченія x).

Если давленіе вѣтра направлено горизонтально, то T, t, S, s и V равны нулю и

$$\left.\begin{aligned} F = 0, \quad V = 0; \quad V' = S' + \int_0^x s' dx; \\ X = 0, \quad X' = v' + S'x + x\int_0^x s' dx - \int_0^x s' x dx. \end{aligned}\right\} \quad . \quad . \quad . \quad (365)$$

γ) Вертикальная нагрузка и горизонтальное давленіе вѣтра:

$$\left.\begin{aligned} F &= -Q - \int_0^x q\,dx;\quad X = \mu;\quad V = 0;\\ X' &= \mu' + v' + S'x + x\int_0^x s'dx - \int_0^x xs'dx,\quad V' = S' + \int_0^x s'dx. \end{aligned}\right\} \quad (366)$$

Если приблизительно q и s' величины постоянныя, то:

$$F = -Q - qx;\quad V' = S' + s'x;\quad X' = \mu' + v' + S'x + \frac{s'x^2}{2};\ X = \mu.$$

в) Деформація. Если полная высота опоры H, то для нейтральной оси деформація отъ сжатія:

$$\delta x = -\int_x^H \frac{F}{E\Omega}\,dx \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (367)$$

Затѣмъ по интегрированіи:

$$\frac{EJd^2y}{\partial x^2} = X \quad \text{и} \quad \frac{EJ'd^2y}{\partial x^2} = X'$$

имѣемъ:

$$\left.\begin{aligned} \frac{dy}{\partial x} &= -\int_x^H \frac{Xdx}{EJ};\ y = -x\int_x^H \frac{Xdx}{EJ} + \int_x^H \frac{xXdx}{EJ}\\ \frac{dy'}{\partial x} &= -\int_x^H \frac{X'dx}{EJ'};\ y' = -x\int_x^H \frac{X'dx}{EJ'} + \int_x^H \frac{xX'dx}{EJ'} \end{aligned}\right\} \quad . \quad . \quad (367')$$

Для деформаціи въ вершинѣ опоры получаемъ слѣдующія выраженія, полагая въ формулахъ (367) и (367′) $x = 0$:

$$\left.\begin{aligned} u &= -\int_0^H \frac{F}{E\omega}\,dx;\\ \left(\frac{dy}{dx}\right)_{x=0} = 0 &= -\int_0^H \frac{Xdx}{EJ};\ (y)_{x=0} = f + \int_0^H \frac{X\,xdx}{EJ};\\ \left(\frac{dy}{dx}\right)_{x=0} = 0' &= -\int_0^H \frac{X'dx}{EJ'};\ (y')_{x=0} = f' = \int_0^H \frac{X'\,xdx}{EJ'}. \end{aligned}\right\} \quad . \quad . \quad (368)$$

---

*) $\frac{dy}{\partial x} = \int_0^x \frac{Xdx}{EJ} + C$. При $x=H$, $\frac{dy}{\partial x} = 0$. Слѣд. $0 = \int_0^H \frac{Xdx}{EJ} + C$; $\frac{dy}{\partial x} = \int_0^x \frac{Xdx}{EJ} - \int_0^H \frac{Xdx}{EJ} = -\int_x^H \frac{Xdx}{EJ}$.

**) $y = -x\int_x^H \frac{Xdx}{EJ} - \int_0^x \frac{Xxdx}{EJ} + C'$. При $x=H$, $y=0$. Слѣд. $0 = H\int_H^H \frac{Xdx}{EJ} - \int_0^H \frac{Xxdx}{EJ} + C'$; $C' = \int_0^H \frac{Xxdx}{EJ}$.

$$y = -x\int_x^H \frac{Xdx}{EJ} - \int_0^x \frac{Xxdx}{EJ} + \int_0^H \frac{Xxdx}{EJ} = -x\int_x^B \frac{Xdx}{EJ} + \int_x^H \frac{Xxdx}{EJ}.$$

г) Рацiональное расположенiе реберъ въ планѣ. Если въ горизонтальномо сѣченiи провести двѣ оси симметрiи и кордпнаты центра тяжести какого либъ ребра обозначить чрезъ: d и d', то наибольшее напряженiе матеріала въ данномъ ребрѣ:

$$R = \frac{F}{\Omega} + \frac{dX}{J} + \frac{d'X'}{J'}.$$

Для другого какого либо ребра, расположеинаго въ квадраитѣ между двумя осями п въ томъ же горизоитальпомъ сѣченiи:

$$R_0 = \frac{F}{\Omega} + \frac{d_0 X}{J} + \frac{d'_0 X'}{J'}$$

или

$$d_0' = -\frac{X}{J}\cdot\frac{J'}{X'}\cdot d_0 + \left(R - \frac{F}{\Omega}\right)\frac{J'}{X'},$$

что при перемѣнныхъ: d_0 и d_0' есть уравиеніе прямой линіи. Слѣдовательно, всѣ ребра должны быть расположены на прямой линіи, наклоненной къ продольной осн симметрiи подъ угломъ, *tang* котораго: $-\frac{X}{J}\times\frac{J'}{X'}$. А такъ какъ подобную же прямую можно провести въ остальныхъ трехъ квадраптахъ плоскости осей координатъ, то для того, чтобы веѣ ребра въ данномъ горизоптальномъ сѣченiи былп одинаково напряжены, центры тяжести реберъ должны быть расположены на сторонахъ ромба, вершины котораго расположены на осяхъ симметрiи.

Еслп задаться условіемъ, чтобы и наибольшее напряженiе па вытягиваніе $\left(\text{еслп } \frac{F}{\Omega} < \frac{dX}{J} + \frac{d'X'}{J'}\right)$ было также одипаковымъ для всѣхъ реберъ, то изъ

$$R' = \frac{F}{\Omega} - \frac{dX}{J} - \frac{d'X'}{J} \quad \ldots\ldots\ldots (369)$$

слѣдуетъ, что ребра должны быть также расположены на сторонахъ ромба.

Если имѣть въ виду условіе, чтобы всѣ ребра одинаково работали на сжатіе и на вытягиваніе при R и R' съ различными знаками $\left(\text{если } \frac{F}{\Omega} < \frac{dX}{J} + \frac{d'X'}{J'}\right)$ или одинаковыми $\left(\text{если } \frac{F}{\Omega} > \frac{dX}{J} + \frac{d'X'}{J'}\right)$, то очевидно ребра должны быть расположены въ точкахъ пересѣченiя сторонъ двухъ ромбовъ, удовлетворяющихъ формуламъ (360) и (369), т. е. въ каждомъ квадрантѣ будетъ по одной точкѣ; другими словами, заданному условно можно удовлетворить, проектируя опору только изъ четырехъ реберъ, расположениыхъ въ вершинѣ прямоугольника, вписаниаго въ двухъ ромбахъ (360) и (369). Если l и l' — длина (продольное разстояніе между ребрами) и ширина (поперечное разстояніе) искомаго четыреугольника, то:

$$J = \frac{\Omega l^2}{4};\quad J' = \frac{\Omega l'^2}{4};\quad d = \frac{l}{2} \text{ и } d' = \frac{l'}{2}.$$

Формулы (360) и (369) примутъ видъ:

$$\left.\begin{aligned} R &= \frac{F}{\Omega} + \frac{2X}{\Omega l} + \frac{2X'}{\Omega l'} \\ R' &= \frac{F}{\Omega} - \frac{2X}{\Omega l} - \frac{2X'}{\Omega l'} \end{aligned}\right\}, \quad \ldots\ldots\ldots (370)$$

откуда:

$$\Omega = \frac{2F}{R + R'}, \quad \ldots\ldots\ldots (371)$$

т. е. приведенная площадь реберъ опоры не зависитъ ни отъ длинъ l и l', ни отъ моментовъ X и X'. Кромѣ того имѣемъ:

$$\frac{X}{l}+\frac{X'}{l'}=\frac{F}{2}\cdot\frac{R-R'}{R+R'}, \quad \ldots\ldots \quad (372)$$

т. е. вершина четыреугольника вписана внутри контура, образуемаго четырьмя вѣтвями гиперболы, ассимптоты которыхъ параллельны осямъ симметріи и отстоятъ отъ нихъ на разстояніяхъ:

$$\pm\frac{X}{F}\cdot\frac{R+R'}{R-R'}$$

и

$$\pm\frac{X'}{F}\cdot\frac{R+R'}{R-R'}.$$

При $l'=\infty$, $$l=\frac{2X}{F}\cdot\frac{R+R'}{R-R'}.$$

При $l=\infty$, $$l'=\frac{2X'}{F}\cdot\frac{R+R'}{R-R'}.$$

Условіе *minimum*'а длины периметра $2l+2l'$ будетъ удовлетворено по Résal'ю при:

$$l=\frac{4X}{F}\cdot\frac{R+R'}{R-R'} \quad \text{и} \quad l'=\frac{4X'}{F}\cdot\frac{R+R'}{R-R'}. \quad \ldots \quad (373)$$

[Повидимому должно быть:

$$l=\frac{2}{F}\cdot\frac{R+R'}{R-R'}(X+\sqrt{XX'}),$$

$$l'=\frac{2}{F}\cdot\frac{R+R'}{R-R'}(X'+\sqrt{XX'})\Big].$$

При $R'=0$, (370), (371) и (372) примутъ видъ:

$$\left.\begin{aligned} R&=\frac{F}{\Omega}+\frac{2X}{\Omega l}+\frac{2X'}{\Omega l'}\\ 0&=\frac{F}{\Omega}-\frac{2X}{\Omega l}-\frac{2X'}{\Omega l'}\\ \Omega&=\frac{2F}{R};\ \frac{X}{l}+\frac{X'}{l'}=\frac{F}{2}\end{aligned}\right\}, \quad \ldots\ldots \quad (374)$$

т. е. нрнведенная площадь вдвое менѣе той, которая соотвѣтствовала бы случаю, что опора подвергается нормальному равномѣрному сжатію F. Затѣмъ l измѣняется въ предѣлахъ отъ $\frac{2}{F}$ до ∞, и l' — въ предѣлахъ отъ $\frac{2X'}{F}$ до ∞. Наивыгоднѣйшая длина:

$$l=\frac{4X}{F} \quad \text{и} \quad l'=\frac{4X'}{F}.$$

Если $X=0$ (качающіяся опоры), то $l=0$, $l'=\frac{2X'}{F}\cdot\frac{R+R'}{R-R'}$; если при этомъ $R'=0$, то $l'=\frac{2X'}{F}$.

д) Опоры равнаго сопротивленія. Въ каждомъ сѣченіи должны быть удовлетворены условія (371) и (372). Такъ какъ имѣется только одно уравненіе, связы-

вающее величины l и l', то для избѣжанія неопредѣленности достаточно ввести условіе: $\frac{l}{l'} = K = const.$ Тогда:

$$l = \frac{2(R + R')}{R - R'} \cdot \frac{X + KX'}{F};$$

$$l' = \frac{2(R + R')}{R - R'} \cdot \frac{X' + KX}{F}.$$

e) Опоры безъ сквозного заполненія. Если раскосы въ заполненіи не должны работать, то на основаніи (361), должно быть: $W = 0$ и $W' = 0$. Для сего необходимо, чтобы длины l и l' измѣнялись пропорціонально X и X'. Дѣйствительно, если $l = KX$ и $l' = KX'$, то:

$$W = V - \frac{X\,dl}{l\,dx} = V - \frac{1}{K} \cdot VK = 0$$

и

$$W' = V' - \frac{1}{K} \cdot V'K = 0,$$

такъ какъ:

$$\frac{dl}{dx} = K\frac{dX}{dx} = KV,$$

въ виду того, что производная момента есть перерѣзывающее усиліе. При такихъ условіяхъ достаточно ограничиться одпѣми горизонтальными распорками (башня Эйфеля). Такъ какъ X и X'—вообще функціи второй или третьей степени отъ x, то кривая, по которой должны быть расположены ребра — также парабола второй или третьей степени.

Опредѣленіе площади опоры, подвергающейся дѣйствію вѣтра. Что касается опредѣленія величины поверхности сквозной фермы, или опоры, подвергающейся дѣйствію вѣтра, то можно пользоваться формулой, рекомендованной Швейцарскимъ правительственнымъ постановленіемъ и приведенной на стр. 439. Nördling полагалъ въ своихъ расчетахъ одну ферму настолько передвинутой относительно другой, чтобы получилось наименьшее взаимное перекрытіе. Этотъ случай дѣйствительно бываетъ при направленіи вѣтра весьма близкомъ къ нормальному.

Такъ напримѣръ, для высокой опоры віадука Busseau:

	Давленіе вѣтра на кв. метръ.	Давленіе вѣтра на опору.	Плечо момента относительно вершины цоколя.	Моментъ.
	килограм.	тонны.		
Ферма $50{,}00 \times 3{,}78 = 189$ *) кв. метр.	—	—	36,6	
Опора $33{,}90 \times 2{,}74 = 92$ „ „	—	—	17,5	
Всего 281 кв. метр.	275	77	30,3	2.333
Поѣздъ $50{,}00 \times 2{,}00 = 100$ кв. метр.	—	—	40,9	
Итого 381 кв. метр.	170	65	33,1	2.152

*) Въ виду того, что опора состоитъ изъ 8 реберъ съ діагональными связями, такъ что при косомъ направленіи вѣтра получается почти что сплошная поверхность, принята полная площадь боковой поверхности опоры. Въ Варгольскомъ и Камышловскомъ віадукахъ, состоящихъ изъ 4 реберъ, принято всего $^1/_3$ поверхности.

Кромѣ направленія вѣтра, перпендикулярнаго къ фермѣ, слѣдуетъ еще взять въ расчетъ направленіе вѣтра по оси моста.

Формулы для опредѣленія толщины стѣнокъ шахтовыхъ трубъ и шлюзовъ кессона. При опредѣленіи толщины стѣнокъ шахтовой трубы, толщины стѣнокъ и потолка шлюзной камеры можно пользоваться слѣдующими формулами *).

1) Толщина h стѣнки открытаго съ обоихъ концовъ кругового цилиндра съ радіусомъ r, подверженнаго наружному или внутреннему нормальному давленію p на квадратную единицу, опредѣлится изъ

$$\frac{h}{r} = \frac{p}{R}, \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \quad (375)$$

гдѣ R коэффиціентъ допускаемаго напряженія, принимаемый равнымъ отъ 12 до 14 килогр. на кв. мм.

2) Если цилиндръ съ обоихъ концовъ закрытъ, то

$$\frac{h}{r} = 1{,}8\,\frac{p}{R} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \quad (376)$$

Допуская $R = 650$ килогр. на кв. сантим.; $p = n \times 1{,}0333$ килогр., гдѣ 1,0333— давленіе одной атмосферы на кв. сантим., n—число атмосферъ, то

$$\frac{h}{2r} = \frac{h}{d} = 0{,}0014n,$$

или, какъ Grashof принимаетъ,

$$\frac{h}{d} = 0{,}0012n \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad (377)$$

При вѣроятномъ выпучиваніи плоскихъ днищъ напряженіе стѣнокъ цилиндра увеличится, и тогда необходимо принять $\frac{h}{d} = 0{,}0012n + 0{,}002$ и во всякомъ случаѣ не менѣе $\frac{h}{d} = 0{,}004$.

3) Для шара

$$\frac{h}{r} = \frac{1}{3}\,\frac{p}{R} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad (378)$$

4) Толщина плоскаго круга, подпертаго по окружности и подверженнаго равномѣрной нагрузкѣ p на кв. единицу, предполагая притомъ, что радіальнаго натяженія не имѣется, опредѣлится изъ

$$h = r\sqrt{\frac{5}{6}\,\frac{p}{R}} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad (379)$$

стрѣла прогиба:

$$f = \frac{2}{3}\,\frac{pr^4}{Eh^3} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad (380)$$

5) Если плоскій кругъ закрѣпленъ по окружности, то при тѣхъ же условіяхъ

$$h = r\sqrt{\frac{2}{3}\,\frac{p}{R}} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad (381)$$

$$f = \frac{1}{6}\,\frac{pr^4}{Eh^3} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad (382)$$

*) Grashof. Theorie der Elasticität und Festigkeit, 1878. Стр. 310—369.

Предполагая, что кромѣ равномѣрнаго давленія p на кв. единицу поверхности круга существуетъ еще радіальное натяженіе p_1 на кв. единицу боковой поверхности днища (по толщинѣ его), то:

$$R = \frac{2}{3}\left(p_1 + \frac{r^2}{h^2}p\right) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (383)$$

Въ такихъ условіяхъ находится, напримѣръ, днище закрытаго съ обоихъ концовъ цилиндра, подверженнаго внутреннему давленію.

Если длина цилиндра $2l$, то при внутреннемъ давленіи p на стѣнки и днища цилиндра: $p_1 = \frac{pl}{h}$. Слѣдовательно:

$$R = \frac{2}{3}p\left(\frac{l}{h} + \frac{r^2}{h^2}\right) = \frac{2}{3}p\frac{r}{h}\left(\frac{l}{r} + \frac{r}{h}\right) \quad \ldots\ldots\ldots (384)$$

Для того, чтобы матеріалъ въ днищѣ и въ стѣнкѣ цилиндра былъ одинаково напряженъ, необходимо, чтобы на основаніи (376):

$$\frac{2}{3}p\frac{r}{h}\left(\frac{l}{r} + \frac{r}{h}\right) = 1{,}8p \cdot \frac{r}{h'},$$

называя чрезъ h' толщину стѣнки, или

$$\frac{r}{h}\left(\frac{l}{r} + \frac{r}{h}\right) = 2{,}7\frac{r}{h'} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (385)$$

Пренебрегая $\frac{l}{r}$ въ сравненіи съ $\frac{r}{h}$, получимъ:

$$\frac{r}{h^2} = \frac{2{,}7}{h'}, \text{ или } \frac{h}{h'} = \sqrt{\frac{r}{2{,}7h'}} \quad \ldots\ldots\ldots (386)$$

Но, какъ выше указано, $\frac{h'}{2r} = 0{,}0012n + 0{,}002$. Слѣдовательно,

$$\frac{h}{h'} = \frac{1}{\sqrt{2{,}7\,(0{,}0024n + 0{,}004)}},$$

такъ что:

при	$n = 2$,	4,	6,	8,	10	атмосф.
получаемъ	$\frac{h}{h'} = 6{,}48$	5,22	4,48	4,00	3,64	

Въ виду того, что плоскія днища требуютъ значительной толщины, ихъ слѣдуетъ или замѣнять выпуклымъ днищемъ, хотя трудно опредѣлить, насколько при этомъ уменьшится напряженіе, или, оставляя его плоскимъ, принять мѣры къ уменьшенію напряженія, стягивая днища болтами, или подраздѣляя его ребрами на нѣсколько отдѣльныхъ меньшихъ участковъ.

6) Если плоскій свободно лежащій кругъ радіуса r подвергнутъ дѣйствію сосредоточеннаго груза P, занимающаго по срединѣ площадь радіуса r_0, то толщина круга опредѣлится изъ

$$R = \left(\frac{4}{3}\,log.\,nat.\,\frac{r}{r_0} + 1\right)\frac{P}{\pi h^2} \quad \ldots\ldots\ldots (387)$$

стрѣла прогиба:

$$f = \frac{5P \cdot r^2}{3\pi E \cdot h^3} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (388)$$

Если кругъ задѣланъ по окружности:

$$R = \frac{4}{3}\ log.\ nat.\ \frac{r}{r_0}\ \frac{P}{\pi h^2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (389)$$

$$f = \frac{2Pr^3}{3\pi E . h^3} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (390)$$

7) Для плоскаго круга, задѣланнаго по окружности, подвергнутаго дѣйствію равномѣрной нагрузки p, и подпертаго въ центрѣ по круглой площадкѣ радіуса r_0:

$$R = \frac{1}{3}\left[log.\ nat.\ \frac{r}{r_0} + \left(\frac{r_0}{r}\right)^2 - 1 \right] . \frac{r^2}{h^2} p \quad \ldots\ldots (391)$$

Сравнивая это напряженіе съ тѣмъ, которое имѣетъ мѣсто, когда нѣтъ опоры въ центрѣ, т. е. съ

$$R = \frac{2}{3}\ \frac{r^2}{h^2}\ p, \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (392)$$

мы замѣчаемъ, что (391) будетъ до тѣхъ поръ менѣе (392), пока

$$log.\ nat.\ \frac{r}{r_0} + \left(\frac{r_0}{r}\right)^2 - 1 < 2, \text{ или } \frac{r}{r_0} < 20.$$

Если, напримѣръ:

$$log.\ nat.\ \frac{r}{r_0} + \left(\frac{r_0}{r}\right)^2 - 1 = 1, \text{ или } \frac{r}{r_0} = 7{,}25,$$

то (391) менѣе (392) въ два раза. Если же $\frac{r}{r_0}$ много менѣе 20, напр. $< 7{,}25$, то можетъ получиться увеличеніе напряженія. Въ этомъ случаѣ

$$log.\ nat.\ \frac{r}{r_0} + \left(\frac{r_0}{r}\right)^2 - 1 < 1,$$

тогда присутствіе центральной опоры не только не уменьшитъ, но еще увеличитъ напряженіе сравнительно съ случаемъ, еслибы этой опоры вовсе не существовало. Слѣдовательно, наименьшій возможный радіусъ центральной опоры $r_0 = \frac{1}{20} r$.

8) Если днище закрѣплено въ центрѣ на площадкѣ радіуса r_0, то при тѣхъ же условіяхъ:

$$R = \frac{2}{3}\ p\ \frac{r^2}{h^2}\left[\frac{0{,}06r}{r_0} + 0{,}725 - 1{,}9\ \frac{r_0}{r} + 1{,}12\left(\frac{r_0}{r}\right)^2\right] \quad \ldots\ldots (393)$$

Множитель передъ скобками выражаетъ напряженіе, если днище закрѣплено только по окружности; а коэффиціентъ въ скобкахъ показываетъ, во сколько разъ уменьшится предъидущее напряженіе, если днище будетъ закрѣплено сверхъ того по серединѣ; такъ напримѣръ, при $\frac{r_0}{r} = 0{,}1$, $0{,}2$, $0{,}3$

это отношеніе: $1{,}146$ $0{,}69$ $0{,}46$.

Слѣдовательно, если отношеніе радіусовъ 0,1, то напряженіе не только не уменьшится, но увеличится. Крайнее значеніе для $r_0 = \frac{1}{8} r$. Это замѣчаніе относится не только къ закрѣпленію днища въ центрѣ, но и къ закрѣпленію въ другихъ частяхъ; необходимая площадь закрѣпленія радіуса r_0 достигается употребленіемъ шайбъ соотвѣтственнаго діаметра.

9) Если плоское днище, закрѣпленное по концамъ, имѣетъ по серединѣ круговое отверстіе радіуса r_0, причемъ края кругового отверстія не неподвижны, то

$$R = \frac{2}{3} p \frac{r^2}{h^2}\left[1 - 2\left(\frac{r_0}{r}\right)^2 - \alpha\right], \text{ гдѣ } \alpha = \frac{1 - \left(4\, log.\, nat.\, \frac{r}{r_0} + 1\right)\left(\frac{r_0}{r}\right)^2}{\left(\frac{r}{r_0}\right)^2 - 1} \quad \ldots (394)$$

При:

$$\frac{r_0}{r} = 0{,}1 \quad , \; 0{,}2 \quad , \; 0{,}4$$

$$1 - 2\left(\frac{r_0}{r}\right)^2 - \alpha = 0{,}971, \; 0{,}890, \; 0{,}631.$$

Если же края отверстія неподвижны, то примѣняются формулы (393).

10) Толщина плоскаго квадратнаго листа, задѣланнаго по угламъ и подверженнаго дѣйствію равномѣрнаго давленія p на кв. единицу, найдется изъ

$$R = \frac{8}{9} p \cdot \frac{a^2}{h^2}, \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (395)$$

гдѣ a — сторона квадрата; стрѣла прогиба:

$$f = \frac{4}{9} p \frac{a^4}{Eh^3} \text{ *)} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (396)$$

Діаметръ площади закрѣпленія по угламъ долженъ быть во всякомъ случаѣ $> 3h$.

11) Для прямоугольнаго листа $2a \times 2b$, задѣлаппаго по краямъ и подверженнаго дѣйствію равномѣрнаго давленія p на кв. единицу:

для напряженія по направл. стороны $2a$: $R = \dfrac{2b^4 \cdot a^2}{(a^4 + b^4)h^2} \cdot p$

» » » » » $2b$: $R = \dfrac{2a^4 \cdot b^2 \cdot p}{(a^4 + b^4)h^2}$,

$$f = \frac{1}{2} \frac{pa^4 b^4}{Eh^3(a^4 + b^4)} \quad \ldots (397)$$

для квадрата:

$$R = \frac{a^2}{h^2} \cdot p \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (398)$$

$$f = \frac{1}{4} \frac{pa^4}{Eh^3} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (399)$$

Если кромѣ того дѣйствуютъ продольныя натяженія на кв. единицу p_1 и p_2 по направленію сторонъ $2a$ и $2b$, то къ первой формулѣ слѣдуетъ прибавить $p_1 - \frac{1}{3} p_2$, а ко второй $p_2 - \frac{1}{3} p_1$.

12) Въ параллелопипедѣ $2a \times 2b \times 2c$ съ внутреннимъ давленіемъ p на кв. единицу каждой стороны проявятся сверхъ того продольныя натяженія. Такъ, напримѣръ, въ сторонѣ $2a \times 2b$:

а) по направленію стороны $2a$: $p_1 = \dfrac{(2b \times 2c)p}{4(b + c)h} = \dfrac{bcp}{(b + c)h}$.

*) Въ кругломъ листѣ съ радіусомъ: $r = a\sqrt{2}$ напряженіе и прогибъ составляютъ $^3/_2$ отъ вышеприведенныхъ. Формулы (395) и (396) получены изъ выраженій:

$$R = \frac{m^2 - 1}{m^2} \cdot \frac{a^2}{h^2} p \quad \text{и} \quad f = \frac{1}{2} \cdot \frac{m^2 - 1}{m^2} \cdot \frac{pa^4}{Eh^3},$$

положивъ въ нихъ $m = 3$.

б) по направленію стороны $2b$: $p_2 = \frac{acp}{(a+c)h}$

Если $a > b$, то $p_2 > p_1$ и, на основаніи предъидущаго пункта,

$$R = \frac{2a^4b^2p}{(a^4+b^4)h^2} + \left[\frac{a}{a+c} - \frac{1}{3}\frac{b}{(b+c)}\right]\frac{c}{h}\cdot p. \quad \ldots\ldots (400)$$

Переставляя буквы a, b, c, можемъ опредѣлить наибольшее напряженіе для каждой стороны. Для куба:

$$R = \left(\frac{1}{3} + \frac{a}{h}\right)\frac{a}{h}p \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (401)$$

или приблизительно:

$$R = \frac{a^2}{h^2}p.$$

Для шара того же объема (т. е. при $\frac{4}{3}\pi r^3 = 8a^3$) наибольшее напряженіе (см. форм. 378):

$$R = \frac{1}{3}\frac{r}{h}p = \frac{1}{3}\sqrt[3]{\frac{6}{\pi}}\frac{a}{h}p, \quad \ldots\ldots\ldots (402)$$

т. е. это напряженіе было бы менѣе предъидущаго въ отношеніи

$$\frac{1}{3}\sqrt[3]{\frac{6}{\pi}}\cdot\frac{h}{a} = 0{,}414\,\frac{h}{a}.$$

Опредѣленія размѣровъ составныхъ частей камеры кессона. Обыкновенно расчету подвергаются лишь потолочныя поперечныя и продольныя балки, а также кронштейны. Опредѣлить расчетомъ размѣры обшивки довольно затруднительно, — обыкновенно довольствуются практическими указаніями, причемъ толщина потолка, обшивки камеры и стѣнки консолей въ $^3/_8{}''$ оказывается вполнѣ достаточной. За свободную длину поперечной балки слѣдуетъ считать всю ея длину, т. е. полную ширину кессона, не уменьшая таковую кронштейнами, такъ какъ эти послѣдніе начинаютъ оказывать вліяніе въ смыслѣ уменьшенія пролета лишь послѣ того, какъ кессонъ встанетъ на дно рѣки. За нагрузку считаютъ всю высоту каменнаго столба, приходящагося надъ каждой поперечной и продольной балкой, уменьшая таковую на вѣсъ вытѣсненной воды; нѣкоторыми инженерами, какъ напр., Dirgel'емъ и Бреннеке, предложены иныя системы нагрузки потолочныхъ балокъ (см. ниже). Допускаемое напряженіе матеріала составляетъ отъ 12 до 14 килогр. на кв. миллим. Въ звеньяхъ подвѣсныхъ цѣпей напряженіе матеріала не должно превышать 9—10 килогр. на кв. миллим.

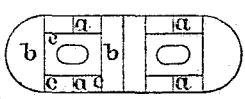


Рис. 695.

Поперечныя балки (a) (рис. 695), находящіяся противъ шахтовыхъ трубъ, передаютъ часть своей нагрузки помощью ригелей (c) смежнымъ поперечнымъ балкамъ (b), что и слѣдуетъ брать въ разсчетъ при опредѣленіи размѣровъ.

Исходя изъ предположенія, что на поперечную балку потолка кессона дѣйствуетъ вѣсъ полнаго столба каменной кладки, уменьшенный на вѣсъ вытѣсненнаго объема воды,—пришлось бы, особенно при большихъ глубинахъ опусканія кессона, придавать потолочнымъ балкамъ нѣсколько преувеличенные размѣры; въ то же время, какъ не трудно видѣть, *) подобное предположеніе было бы вполнѣ согласно съ дѣйстви-

*) См. A. Durel. Fondations a l'air comprimé (Génie Civil, 1883, t. IV, №№ 4 et 5).

тельностью, еслибы потолокъ кессона былъ абсолютно жесткій, т. о. оставался бы плоскимъ при всякой величинѣ нагрузки на него, чего, очевидно, нельзя допустить. Разсматривая же потолокъ, какъ упругое тѣло, и имѣя въ виду, что отвердѣвшая каменная кладка, какъ твердое тѣло, подпертое по всей своей окружности, передаетъ, разгружая потолокъ, часть своего собственнаго вѣса непосредственно на кладку, заполняющую пространства между кронштейнами,—приходимъ къ выводу, что, начиная съ извѣстнаго момента, дальнѣйшее увеличеніе высоты кладки подъ потолкомъ не увеличиваетъ нагрузки на послѣдній. На этомъ основаніи построено нѣсколько гипотезъ распредѣленія нагрузки на потолочныя балки кессона.

Такъ напр., при проектированіи кессона для опоръ моста черезъ р. Жиздру на одной изъ вѣтвей О-ва Рязанско-Уральской ж. д. было принято, что потолокъ нагруженъ равномѣрною нагрузкою отъ вѣса находящейся надъ нимъ кладки до тѣхъ поръ, пока нижніе слои ея не успѣютъ окрѣпнуть. Такимъ образомъ, если успѣхъ суточнаго опусканія кессона около 0,30 саж. и продолжительность отвердѣванія кладки 14 сутокъ, то максимальная, согласно этому предположенію, высота кладки, непосредственно дѣйствующей на поперечныя и продольныя балки, составляетъ около 4 саж., въ виду чего упомянутыя балки пазваннаго кессона и были расчитаны на нагрузку отъ вѣса приходившагося надъ ними каменнаго столба высотою 4 саж., предполагая, что сжатаго воздуха въ камерѣ не имѣется.

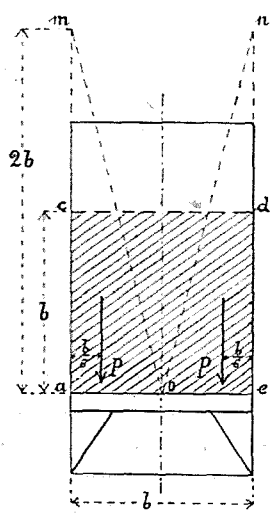


Рис. 696.

Инженеръ *Дюрель* полагаетъ, что потолокъ кессона подвергается нагрузкѣ отъ вѣса находящагося надъ нимъ каменнаго массива, высота коего, считая отъ верхняго пояса поперечныхъ балокъ, равна ширинѣ кессона (рис. 696); при этомъ, однако, Дюрель нагрузку эту считаетъ неравномѣрно распредѣленною по длинѣ поперечной балки, замѣняя прямоугольникъ нагрузки *acde* двумя въ суммѣ ему эквивалентными Δ-ами *amo* и *one*. Такимъ образомъ, если l—разстояніе между поперечными балками, b—ширина кессона, γ—вѣсъ кубической единицы кладки, то давленіе отъ этой кладки на поперечную балку передается въ видѣ двухъ сосредоточенныхъ грузовъ $P = \frac{\gamma l b^2}{2}$; точка приложенія груза P, очевидно, находится на разстояніи $e = \frac{b}{6}$ отъ стѣнки камеры. Согласно тому же предположенію Дюреля, вѣсъ верхнихъ слоевъ каменной кладки, начиная съ высоты $h > b$, передается черезъ посредство нижняго массива непосредственно на кладку, заполняющую пространства между кронштейнами.

Инженеръ *Бреннеке* *) рекомендуетъ примѣнять гипотезу Дюреля только въ тѣхъ случаяхъ, когда кладка надъ потолкомъ кессона состоитъ лишь изъ бетона и при этомъ принимать въ расчетъ потерю вѣса кладки въ водѣ. Во всѣхъ остальныхъ случаяхъ Бреннеке принимаетъ нѣсколько иную систему нагрузки, а именно: если кладка надъ потолкомъ кирпичная, то непосредственно на поперечную балку дѣйствуетъ лишь вѣсъ треугольной призмы, поперечное сѣченіе коей есть равнобедренный прямоугольникъ Δ-къ *acd* съ гипотенузою $ad = b - 2\delta$; вѣсъ остальной

*) L. Brennecke. Der Grundbau. Изд. 1887 г. Стр. 203—210.

ной части кладки передается, на подобіе свода, на кронштейны и на кладку, заключенную между ними (рис. 697). Если же кладка надъ потолкомъ бутовая, то поперечное сѣченіе части кладки, непосредственно дѣйствующей на поперечную балку, представляетъ собою, по Бреннеке, полукругъ съ діаметромъ $mn = b - 2\delta$ (рис. 698). Ширину кольцеобразной площадки, на которую передается вѣсъ вышележащей кладки, Бреннеке въ обоихъ случаяхъ принимаетъ равною $\delta = 1$ метр. Примѣняя гипотезу Бреннеке, слѣдуетъ, по его указанію, принимать дѣйствительный вѣсъ кладки на воздухѣ, и не брать въ расчетъ ни потерю вѣса въ водѣ, ни давленіе сжатаго воздуха, нагнетаемаго въ камеру.

Приведемъ, по Бреннеке, выводъ формулъ, служащихъ для опредѣленія размѣровъ поперечныхъ и продольныхъ балокъ, а также кронштейна кессона, примѣнительно къ системѣ нагрузки,

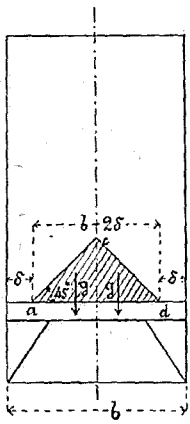


Рис. 697.

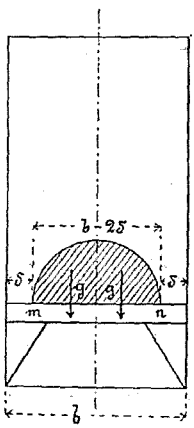


Рис. 698.

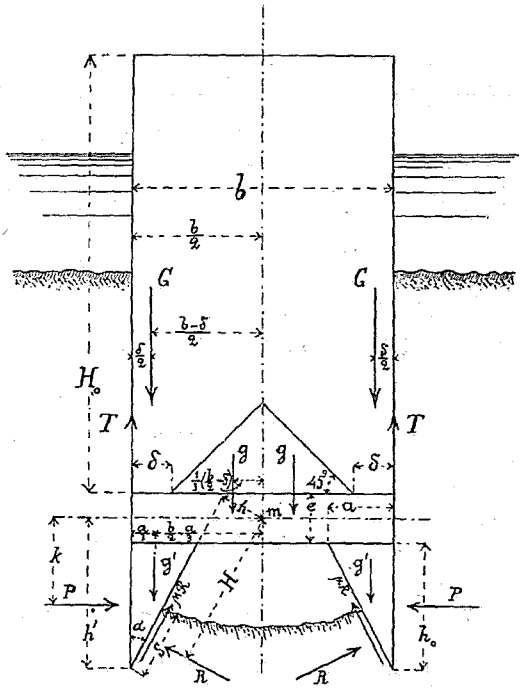


Рис. 699.

указанной на рис. 697 *). Для расчета выдѣлимъ двумя вертикальными плоскостями часть кладки шириною равною разстоянію между двумя смежными поперечными балками.

Пусть (рис. 699) g—вѣсъ половины треугольной призмы, непосредственно дѣйствующей на поперечную балку, приложенный на разстояніи $\frac{1}{3}\left(\frac{b}{2} - \delta\right)$ отъ продольной оси кессона; G—вѣсъ половины остальной части кладки, приложенный на разстояніи $\frac{b-\delta}{2}$ отъ той же оси; g'—вѣсъ треугольной призмы кладки, заключенной между кронштейнами,—приложенный на разстояніи $\frac{a}{3}$ отъ стѣнки кессона; g''—вѣсъ половины кладки, заполняющей пространство между поперечными балками, T—сила тренія наружной поверхности кессона о грунтъ, приходящаяся съ каждой стороны на выдѣленный элементъ кессона; P—горизонтальное давленіе грунта извнѣ кессона на часть камеры ниже потолка, приложенное на разстояніи k отъ нейтральной оси поперечной балки; R—давленіе грунта на наклонную кладку

*) См. также Оборникъ пояснительныхъ записокъ къ проектамъ по сооруженію новыхъ линій О-ва Рязанско-Уральской ж. д. Томъ III.

между консолями; μR—сила трепія, вызванная этимъ давленіемъ; a—ширина кронштейна по верху; h_0—высота кронштейна; b—ширина кессона; l—разстояніе между поперечными балками; e—высота поперечной балки; δ—ширина площадки, на которую передается вѣсъ верхнихъ слоевъ кладки; H_0—высота кладки отъ потолка до обрѣза фундамента, γ—вѣсъ кубической единицы кладки. Собственнымъ вѣсомъ кессона пренебрегаемъ, какъ незначительною величиною по сравненію съ грузами.

Возьмемъ самый невыгодный для прочности кессона моментъ, именно моментъ внезапнаго опусканія при быстромъ выпускѣ сжатаго воздуха изъ рабочей камеры. При такихъ условіяхъ могутъ быть *два случая*: первый—при очень плотныхъ и вязкихъ грунтахъ, когда кессонъ не опускается послѣ выпуска сжатаго воздуха, даже если грунтъ выбранъ изъ подъ ножа; второй—при песчанистыхъ грунтахъ, когда послѣ выпуска сжатаго воздуха кессонъ врѣзается въ грунтъ, при чемъ изъ подъ ножа въ камеру поступаетъ большое количество песку.

Въ *первомъ* случаѣ имѣемъ:

$$T - g - G - g' - g'' = 0 \quad \text{и} \quad R = 0. \quad . \quad . \quad . \quad (404)$$

Разсматривая лѣвую отсѣченную часть поперечной балки, находимъ моментъ относительно точки m нейтральной оси опаснаго сѣченія балки (по серединѣ пролета):

$$M' = T \times \frac{b}{2} - \frac{g}{3}\left(\frac{b}{2} - \delta\right) - G\left(\frac{b-\delta}{2}\right) - g'\left(\frac{b}{2} - \frac{a}{3}\right) - g'' \times \frac{b}{4} - P \times k. \quad (405)$$

Здѣсь:

$$g = \gamma \cdot \left(\frac{b}{2} - \delta\right)^2 \cdot \frac{l}{2}; \; G = \gamma \cdot \frac{b}{2} \cdot H_0 l - g; \; g' = \gamma \cdot \frac{ah_0}{2} \cdot l; \; g'' = \gamma \cdot \frac{eb}{2} \cdot l;$$

$$T = g + G + g' + g''.$$

Въ самомъ неблагопріятномъ случаѣ можно положить: $P = 0$; это будетъ тогда, когда грунтъ выбранъ за предѣлы ножа и промежутокъ между ножемъ и грунтомъ не заполненъ. Въ такомъ случаѣ:

$$M'' = T \times \frac{b}{2} - \frac{g}{3}\left(\frac{b}{2} - \delta\right) - G\left(\frac{b-\delta}{2}\right) - g'\left(\frac{b}{2} - \frac{a}{3}\right) - g'' \times \frac{b}{4}. \quad . \quad . \quad (406)$$

Во *второмъ* случаѣ имѣемъ:

$$T - g - G - g' - g'' + R \sin\alpha + \mu R \cos\alpha = 0, \quad . \quad . \quad (407)$$

если α—уголъ, составленный ребромъ консоли съ вертикалью, и μ—коэффиціентъ трепія грунта о наклонную кладку между консолями; можно положить $\mu = 0{,}5$.

Моментъ въ опасномъ сѣченіи балки находимъ равнымъ:

$$M''' = T \times \frac{b}{2} - \frac{g}{3}\left(\frac{b}{2} - \delta\right) - G\left(\frac{b-\delta}{2}\right) - g'\left(\frac{b}{2} - \frac{a}{3}\right) - g'' \times \frac{b}{4} - Pk +$$

$$+ RH + \mu Rh, \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (408)$$

если H и h—плечи силъ R и μR относительно центра сѣченія балки по серединѣ ея длины. Въ формулѣ (408) силы g, G, g' и g'' имѣютъ прежнія значенія.

P — опредѣляется по фермулѣ 173 (см. стр. 663).

Значеніе R найдется изъ (407), коль скоро будетъ извѣстно T. Эта величина можетъ быть опредѣлена двояко. Если Q—горизонтальное давленіе земли на выдѣленную часть кессона по всей его высотѣ при глубинѣ Z погруженія кессона въ грунтъ, μ_0 — коэффиціентъ тренія грунта о желѣзную обшивку кессона ($\mu_0 = 0{,}17 — 0{,}40$), Δ—вѣсъ кубической единицы грунта, то

$$T = \mu_0 Q = \mu_0 \cdot \frac{\Delta Z^2}{2} tg^2 \left(45° — \frac{\varphi}{2}\right) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (409)$$

гдѣ φ — уголъ естественнаго откоса грунта (см. различныя выраженія Q на стр. 192 и 195).

Кромѣ того, значеніе T можно опредѣлить еще слѣдующимъ путемъ. Если до выпуска сжатаго воздуха изъ камеры кессонъ удерживался въ равновѣсіи, хотя грунтъ изъ подъ ножа былъ выбранъ, то, слѣдовательно, существовало равновѣсіе между силою тренія T и давленіемъ сжатаго воздуха на потолокъ—съ одной стороны, и грузами g, G, g' и g'' — съ другой, т. е.

$$T + pl \cdot \frac{b}{2} = g + G + g' + g'' \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (410)$$

Опредѣливъ T по формуламъ (409) или (410), находимъ R изъ уравн. (407):

$$R = \frac{g + G + g' + g'' — T}{\sin\alpha + \mu \cos\alpha}.$$

Остается еще опредѣлить значенія плечъ k, H и h.

Полагая, что сила P приложена по серединѣ высоты камеры (см. форм. 165), находимъ:

$$k = \frac{e + h_0}{2}.$$

Далѣе, полагая $h_0 + \frac{e}{2} = h'$, находимъ:

$$\frac{h}{\cos\alpha} + h' tg\,\alpha = \frac{b}{2},$$

откуда:

$$h = \frac{b}{2} \cos\alpha — h' \sin\alpha.$$

Наконецъ, для опредѣленія H имѣемъ:

$$H = \frac{h'}{\cos\alpha} + h\, tg\,\alpha — \frac{S}{2}.$$

Въ этой формулѣ длина части наклоннаго ребра консоли, погруженной въ грунтъ, $S = \frac{d}{\cos\alpha}$, гдѣ d—высота слоя земли, вступившаго въ камеру (около 0,50 с.); предполагается, что сила R приложена по серединѣ длины S.

Подставивъ всѣ только что выведенныя значенія буквъ въ формулу (408), можемъ вычислить моментъ M'''.

Если площадь сѣченія поперечной балки есть Ω, и моментъ сопротивленія его— W, то прочность поперечной балки должна быть повѣрена по формуламъ:

$$R_1 = \frac{M''}{W} \text{ и } R_2 = \frac{M'''}{W} \pm \frac{D}{\Omega},$$

гдѣ сжимающая сила $D = P + \mu R \sin\alpha — R \cos\alpha$.

Переходимъ теперь къ повѣркѣ прочности кронштейна въ обоихъ разсматриваемыхъ случаяхъ.

Въ *первомъ* случаѣ, если ножъ кессона подрыть и опъ не опирается на грунтъ, то, разсматривая кропштейнъ, какъ балку, закрѣплеиную однимъ концомъ, и составивъ моментъ относптельно середины ширины кронштейна по-верху, имѣемъ:

$$M_1 = -\frac{Ph_0}{2} + \mu_0 P \cdot \frac{a}{2} - g'\left(\frac{a}{2} - \frac{a}{3}\right) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (411)$$

Во *второмъ* случаѣ:

$$M_2 = -\frac{Ph_0}{2} + \mu_0 P \cdot \frac{a}{2} - g'\left(\frac{a}{2} - \frac{a}{3}\right) + R\left(\frac{h_0}{\cos\alpha} - \frac{a}{2}\sin\alpha - \frac{S}{2}\right) -$$

$$- \mu R \cdot \frac{a}{2}\cos\alpha \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (412)$$

Прочность склепки кронштейна съ поперечною балкою повѣряютъ па срѣзываніе заклепокъ въ плоскости прикрѣпленія и на отрываніе кроиштейна, предположивъ вращепіе спачала около внутреипяго, а затѣмъ около наружнаго ребра.

Срѣзываніе заклепокъ повѣряется въ *первомъ* случаѣ относительно силы P, а во *второмъ* относительно силы $D = P + \mu R \sin\alpha - R\cos\alpha$.

Разсматривая отрываніе кроннтейна при вращеніи его около внутренняго ребра, имѣемъ моментъ внѣшнихъ силъ относительно этого ребра (*первый* случай, т. е. $R = 0$):

$$\mathfrak{M}_1 = -\frac{Ph_0}{2} + \mu_0 Pa - g' \cdot \frac{2}{3}a \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (413)$$

Разсматривая затѣмъ отрываніе кронштейна при вращеніи его около наружнаго ребра, находимъ моментъ внѣшнихъ силъ относительно этого ребра (*второй* случай, т. е. $R > 0$, при чемъ допустимъ, что $P = 0$):

$$\mathfrak{M}_2 = R\left(h_0\cos\alpha - \frac{S}{2}\right) - \mu Ra\cos\alpha + g' \cdot \frac{a}{3} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (414)$$

Обозначимъ наибольшій изъ моментовъ $\mathfrak{M}_1$ и $\mathfrak{M}_2$ черезъ $\mathfrak{M}$.

Если разстояніе между заклепками—c и усиліе заклепки, ближайшей къ ребру, относительно котораго происходитъ вращеніе, есть q, то если предположить, что усилія, претерпѣваемыя заклепками, пропорціоиальны разстояніямъ отъ ребра вращенія, — сумму моментовъ усилій въ этихъ заклепкахъ, при расположеніи ихъ въ два ряда, находимъ равною:

$$\Sigma M = 2\,(q \cdot c + 2q \cdot 2c + 3q \cdot 3c + \ldots + mq \cdot mc) =$$

$$= 2qc\,(1 + 2^2 + 3^2 + \ldots + m^2) = 2qc \cdot \frac{m\,(m+1)\,(2m+1)}{1 \cdot 2 \cdot 3},$$

если m—число рядовъ заклепокъ по ширинѣ консоли.

Приравнивая моментъ $\mathfrak{M}$ моменту ΣM, получимъ уравиеніе $\mathfrak{M} = \Sigma M$, изъ котораго при данныхъ c и m найдемъ q, а затѣмъ и $m \cdot q$, т. е. натяженіе клепки, наиболѣе удаленной отъ ребра вращенія.

Остается еще провѣрить прочность прикрѣпленія поперечной балки съ кронштейномъ къ стѣпкѣ камеры. Самый невыгодный случай распредѣленія силъ для

прочности указаннаго соединенія будетъ при $R = 0$ (*первый* случай опусканія кессопа). Тогда изъ уравненія (404) имѣемъ $T = g + G + g' + g''$, и.если прочное сопротивленіе заклепки при одиночномъ перерѣзываніи есть R, то число заклепокъ, коими необходимо приклепать поперечную балку вмѣстѣ съ кронштейномъ къ стѣнкѣ камеры, должно быть не меньше:

$$n = \frac{T}{R}.$$

Въ заключеніе приведемъ основаніе расчета, примѣненнаго при проектированіи деревяннаго кессона на Средне-Сибирской ж. д. (фиг. 308, табл. 43).

Пока кладка выводится между обоими рядами потолочныхъ балокъ, расположенныхъ на взаимномъ разстояніи по высотѣ въ $h = 0{,}50$ саж. и связанныхъ болтами, то, очевидно, весь грузъ кладки принимается обоими рядами, работающими при этомъ, какъ двѣ независимыя балки. Такимъ образомъ, если изгибающій моментъ отъ вѣса бетонной кладки по серединѣ пролета есть M_1, размѣры поперечнаго сѣченія балокъ—a и b, то напряженіе въ каждой балкѣ равно:

$$R_1 = \frac{1}{2} \cdot \frac{6M_1}{ab^2}.$$

Болты, связывающіе верхнія и нижнія балки между собою, расчитываются на максимальную нагрузку, которую можетъ выдержать верхняя балка.

Послѣ того, какъ бетонная кладка, заполняющая пространство между обоими рядами балокъ, окрѣпла, оба ряда разематривались уже, какъ составная балка, при чемъ бетонъ игралъ роль шпонокъ. Слѣдовательно, если наибольшій изгибающій моментъ отъ собственнаго вѣса потолка и кладки надъ потолкомъ есть M_2, то наибольшее растягивающее (или сжимающее) усиліе въ нижней (или верхней) балкѣ равно:

$$U = \frac{M_2}{h} \text{ и наибольшее напряженіе: } R_2 = \frac{U}{ab}.$$

При этомъ система нагрузки на потолокъ принималась по Бреннеке.

Усиліе въ укосинѣ можно найти, приравнявъ выраженію (414) моментъ этого усилія относительно наружнаго ребра кронштейна.

Прибавленіе къ стр. 156.

Приводимъ еще слѣдующія данныя объ интенсивности и продолжительности ливней въ Россіи. По Воейкову [Ливни и большіе дожди, Метеорологическій Вѣстникъ № 2—3 1899 г.] изъ десятилѣтнихъ наблюденій (1886 — 1895) на юго-западѣ Россіи выяснилось, что ливни, давшіе по меньшей мѣрѣ 1 мм. въ минуту, были продолжительностью отъ 20 мин. до 1 ч. 30 м.

ТАБЛИЦА I.

Ливни на юго-западѣ Россіи за 1886—1895 г.г., въ которые выпало по меньшей мѣрѣ 1 мм. въ 1 минуту.

(По трудамъ сѣти юго-западной Россіи).

Продолжит.		Общее количество.	Количество.	Продолжит.		Общее количество.	Количество.	Продолжит.		Общее количество.	Количество.
Часы.	Мин.		Въ 1 минуту.	Часы.	Мин.		Въ 1 минуту.	Часы.	Мин.		Въ 1 минуту.
		мм.	мм.			мм.	мм.			мм.	мм.
—	8	20,0	2,5	—	20	22,0	1,1	—	33	32,3	1,0
—	10	23,8	2,4	—	20	22,0	1,1	—	35	41,2	1,2
—	10	56,5	5,7	—	20	22,0	1,1	—	35	34,0	1,0
—	11	21,9	2,0	—	20	20,0	1,0	—	35	46,5	1,3
—	15	27,2	1,8	—	23	31,7	1,4	—	40	42,2	1,1
—	15	28,6	1,9	—	23	40,0	1,7	—	40	37,3	1,2
—	15	25,0	1,7	—	25	25,5	1,0	—	45	67,8	1,5
—	15	41,0	2,9	—	25	24,4	1,0	—	45	48,0	1,1
—	15	21,5	1,4	—	25	25,3	1,0	—	45	69,0	1,5
—	18	22,5	1,3	—	25	25,6	1,0	—	50	55,4	1,1
—	20	20,0	1,0	—	29	36,7	1,3	—	50	50,0	1,0
—	20	20,2	1,0	—	30	37,0	1,2	—	50	63,5	1,3
—	20	22,5	1,1	—	30	34,0	1,1	1	—	77,0	1,3
—	20	24,0	1,2	—	30	42,7	1,4	1	15	73,6	1,0
—	20	38,1	1,9	—	30	31,4	1,0	1	30	67,8	1,0
—	20	20,2	1,0	—	30	31,5	1,1				

Если же сгруппировать всѣ наблюдавшіеся за этотъ промежутокъ времени ливни (болѣе 260 случаевъ) и расположить ихъ въ восходящемъ порядкѣ относительно продолжительности, то получится такая зависимость:

ТАБЛИЦА II.

Продолжительность ливня.	Количество осадковъ въ 1 минуту. Среднее.	Наибольшее.	Продолжительность ливня.	Количество осадковъ въ 1 минуту. Среднее.	Наибольшее.
	мм.	мм.		мм.	мм.
Менѣе 15 минутъ	3,15	5,7	Отъ 1 часа до $1^1/_2$ час. . .	0,57	1,3
Отъ 15 до 30 минутъ . . .	1,32	2,9	„ $1^1/_2$ „ „ 2 „ . .	0,40	1,0
„ 30 „ 45 „ . . .	0,91	1,4	„ 2 „ „ 3 „ . .	0,36	0,6
„ 45 „ 1 часа	0,88	1,5	„ 3 „ „ 4 „ . .	0,25	0,5

Таблицы показываютъ:

1) что съ измѣненіемъ продолжительности ливня отъ 15 м. до 3—4 час. среднее количество дождя, выпавшее въ 1 м., измѣняется отъ 3,15 мм. до 0,25 мм., а наибольшее отъ 5,7 мм. до 0,5 мм.;

2) что бывали случаи, когда ливни съ интенсивностью въ 1 мм. продолжались $1^1/_2$—2 часа, хотя въ среднемъ такой интенсивности соотвѣтствуетъ продолжительность ливня въ 45 мин.

Ливень, давшій 5,7 мм. въ 1 минуту, выпалъ въ апрѣлѣ въ Полтавской губерніи. Число случаевъ ливней, давшихъ болѣе 2 мм. въ минуту, было всего пять за 10 лѣтъ наблюденій.

Въ Пруссіи, находящейся въ одинаковыхъ метеорологическихъ и топографическихъ условіяхъ съ средней полосой Россіи, особенно съ западными губерніями, въ 1891, 1892, 1893 и 1894 годахъ, при числѣ метеорологическихъ станцій около 2.000, получились слѣдующія данныя, показывающія зависимость между продолжительностью ливня и наибольшими осадками въ мм. въ 1 минуту.

ТАБЛИЦА III.

	1891 г.	1892 г.	1893 г.	1894 г.	Средняя величина.
1— 5 минутъ	3,90	1,32	1,40	2,60	2,30
6—15 „	2,13	1,37	2,36	2,09	2,01
16—30 „	2,09	1,00	1,27	1,98	1,57
31—45 „	1,07	0,90	0,82	1,09	0,96
46—60 „	1,06	0,73	0,69	0,96	0,80
1—2 часа	0,55	0,91	0,80	0,80	0,76
2—3 „	0,52	0,46	0,40	0,53	0,58
3—4 „	0,29	0,25	0,30	0,37	0,30

Результаты получились почти тѣ же, что и для юго-западной Россіи.

Сопоставивъ по три ливня наибольшей силы по даннымъ метеорологическихъ сѣтей Соединенныхъ Штатовъ, юго-западной Россіи и Пруссіи, г. Воейковъ нашелъ, что:

		Наибольшее количество осадковъ въ мм. въ 1 минуту.		
Въ Соединенныхъ Штатахъ	(7 лѣтъ)	3,3	3,1	2,8
На юго-западѣ Россіи	(10 »)	5,7	2,9	2,5
» Прусской сѣти	(4 года)	3,9	2,6	2,4

т. е., что вторые и третьи по силѣ ливни во всѣхъ трехъ странахъ довольно близки между собою.

Въ заключеніи г. Воейковъ приходитъ къ тому выводу, что *на юго-западѣ Россіи, въ восточной части Соединенныхъ Штатовъ, въ сѣверной и средней Германіи несомнѣнно, хотя и рѣдко, бываютъ ливни, дающіе въ промежутки 5 минутъ и болѣе около 3 мм. въ минуту.*

Относительно болѣе сѣверной полосы Россіи пока нѣтъ достаточнаго количества данныхъ, но, по мнѣнію г. Воейкова, и здѣсь, за исключеніемъ крайняго Сѣвера, вездѣ возможны такіе же ливни, какъ въ юго-западной части Россіи. Такъ, за промежутокъ 14 лѣтъ (1878—1891) въ Павловскѣ около Петербурга было 3 случая осадковъ болѣе 1 мм. въ 1 минуту; самый обильный изъ нихъ далъ 2,15 мм.

Приводимъ еще слѣдующія данныя (Handbuch der Ingenieurwissenchaften) относительно продолжительности и интенсивности ливня.

	Годы.	Продолжительность ливня. час.	мин.	Количество выпавшаго дождя въ мм. Всего.	Въ часъ.	Въ 1 минуту.
1. Аннабергъ въ Саксоніи	1867	—	15	24	96	1,6
2. Берлинъ	1861	1	—	43	43	0,7
3. „	1883	—	15	17	68	1,13
4. „	1887	11	50	59	5	0,08
5. Бернъ	1877	—	45	66	88	1,49
6. Дрезденъ	1874	1	30	75	50	0,83
7. Флиисбергъ	1888	18	—	215	119	1,98
8. Женева	1827	3	—	162	54	0,90
9. Кеннгсбергъ	1864	—	45	55	69	1,15
10. Лондонъ	1846	1	—	100	100	1,7
11. Марсель	1872	2	—	240	120	2,0
12. Мюнхенъ	1873	—	30	51	102	1,7
13. Парижъ	1867	—	20	41	123	2,0
14. Познань	1863	—	20	24	72	1,2
15. Вермсдорфъ (Саксонія)	1867	—	15	31	126	2,1
16. Цюрихъ	1876	—	10	21	127	2,1

Эта таблица также указываетъ, что при продолжительности ливня около 15—20 м. интенсивность можетъ доходить до 2 мм. въ 1 минуту. Исключеніе составляетъ Флиисбергъ, гдѣ при продолжительности ливня въ 18 часовъ интенсивность его была также почти 2 мм. въ 1 минуту.

Такимъ образомъ, при расчетѣ отверстій слѣдуетъ имѣть въ виду указанную въ таблицѣ II *зависимость между продолжительностью и наибольшей интенсивностью ливня.*

Прибавленіе къ стр. 158.

Вмѣсто формулы: $Q = 1{,}875 \cdot F \cdot L$,

предлагается (проектъ) пользоваться формулой:

$$Q = 1{,}875 \cdot F \cdot L \cdot \beta,$$

гдѣ L и β—коэффиціенты, зависящіе отъ длины и средняго уклона бассейна.

При длинѣ бассейна въ верстахъ.	L.	При уклонѣ бассейна.	β.
1 вер. и менѣе.	$^7/_8$	0,004 и менѣе.	$^1/_2$
3,5	$^1/_2$	0,007	1
7	$^1/_4$	0,01	1,25
10,5	$^3/_{16}$	0,05 и болѣе.	1,50
14	$^1/_8$		
17,5 и болѣе.	$^1/_{16}$		

Для промежуточныхъ длинъ бассейновъ и уклоновъ—значенія коэффиціентовъ опредѣляются по интерполяціи.

Средній уклонъ бассейна опредѣляется по формулѣ $i = \frac{\Sigma i_1 l_1}{\Sigma l_1}$, гдѣ i_1 и l_1 уклоны и длины дна тальвега на разныхъ участкахъ отъ вершины тальвега до мѣста пересѣченія полотномъ дороги. Для опредѣленія скорости притеканія къ искусственному сооруженію слѣдуетъ руководствоваться уклономъ тальвега вблизи искусственныхъ сооруженій на такомъ протяженіи, гдѣ сняты поперечные профиля оврага для опредѣленія вѣроятнаго значенія живого сѣченія.

При опредѣленіи сѣченія канавъ слѣдуетъ различить два случая: 1) когда канава имѣетъ назначеніемъ соединить два тальвега (отводная канава), и 2) когда она собираетъ воду, стекающую со склона косогора (нагорная канава). Въ первомъ случаѣ сѣченіе и уклонъ водоотводной канавы въ истокѣ должно удовлетворять расходу, доставленному тальвегомъ и опредѣленному по вышеприведеннымъ нормамъ съ постепеннымъ уширеніемъ къ устью канавы, во второмъ же случаѣ—сѣченіе нагорной канавы лишь въ устьѣ ея должно удовлетворять расходу воды, стекающей со всей поверхности косогора и опредѣленному также по нормамъ; по мѣрѣ же приближенія къ истоку сѣченіе ея можетъ быть уменьшено, но во всякомъ случаѣ глубина и ширина по дну не должны быть менѣе 0,30 саж. При опредѣленіи въ обоихъ случаяхъ площади живого сѣченія по данному уклону и расходу можетъ служить слѣдующая формула Дарси-Базена (въ метр.) для каналовъ съ земляными стѣнками.

$$\frac{Ri}{v_2} = 0{,}00028 \left(1 + \frac{1{,}25}{R}\right),$$

гдѣ

$$R = \frac{\omega}{\rho}, \; Q = \omega \; v.$$

Прибавленіе къ стр. 484.

По Bauschinger'y временное сопротивленіе при сцѣпленіи цементнаго раствора съ желѣзомъ: 44—47 кил. на кв. сант.

Прибавленіе къ стр. 496.

По Bauschinger'y:

Матеріалы.		Песчаникъ.	Доломитъ.	Сланецъ.	Гранитъ.	Раковистый известнякъ.	Трахитъ.	Туффъ.
Временное сопротивл. излому .	въ килогр. на кв. сант.	86	51	256	175	69	118	95
„ „ разрыву .		16	17	—	29	27	—	—
„ „ раздробл.		656	1.070	910	1.160	440	580	132

Прибавленіе къ стр. 558.

Въ дополненіе къ таблицѣ, помѣщенной выше на стр. 558 и служащей для примѣрнаго опредѣленія объема каменной кладки въ устояхъ желѣзнодорожныхъ моетовъ въ 1 путь *съ ѣздою по-верху*, — помѣщаемъ нижеслѣдующую таблицу, составленную Управленіемъ по постройкѣ Кругобайкальской жел. дор. 1899 г. *). Таблица эта провѣрена по графикамъ объемовъ каменной кладки устоевъ, составленнымъ Управленіемъ по сооруженію Второй Екатерининской ж. д., и подобнымъ же графикамъ, составленнымъ Управленіемъ по сооруженію Средне-Сибирской жел. дор.; кромѣ того, данныя нижепомѣщаемой таблицы достаточно близко соотвѣтствуютъ дѣйствительнымъ объемамъ кладки въ устояхъ моетовъ, построенныхъ на желѣзныхъ дорогахъ Самаро-Уфимской, Уфа-Златоустовской, Джанкой-Ѳеодосійской, Екатеринбурго-Челябинской и Заиѣмаискихъ (см. отчеты по постройкѣ поименованныхъ желѣзныхъ дорогъ).

Таблица объемовъ каменной кладки въ устояхъ желѣзнодорожныхъ моетовъ подъ одинъ путь съ ѣздою по верху отверстіемъ отъ 1,00 до 10,00 саж. включительно и съ ѣздою по низу отверетіемъ отъ 10,00 до 30,00 саж.

Приведенныя въ таблицѣ количества кладки въ куб. саж. выражаютъ объемы двухъ устоевъ съ ихъ фундаментами; при этомъ объемы фундаментовъ для моетовъ отверстіемъ въ 1,00—6,00 саж. исчислены при глубинѣ заложенія въ 1,00 саж., а для всѣхъ остальныхъ моетовъ при глубинѣ заложенія въ 1,50 саж. При бблыпей глубинѣ заложенія приведенные объемы фундаментовъ должны быть пронорціонально увеличены. Объемъ кладки подводящихъ къ искусственному сооруженію лотковъ, а также и отводящихъ, надлежитъ вычислить въ каждомъ отдѣльномъ случаѣ особо, сообразуясь съ мѣстными условіями.

Высота насыпи въ саж.	Для моетовъ съ ѣздою по верху.						Для мостовъ съ ѣздою по низу.									Высота насыпи въ саж.
	Отв. 1,00—6,00 с. включ.			Отв. 8,00—10,00 с. включ.			Отв. 10,00—15,00 с. включ.			Отв. 20,00—25,00 с. включ.			Отверстіемъ 30,00 саж.			
	Фундаменты.	Стѣны.	Полный объемъ.	Фундаменты.	Стѣны.	Полный объемъ.	Фундаменты.	Стѣны.	Полный объемъ.	Фундаменты.	Стѣны.	Полный объемъ.	Фундаменты.	Стѣны.	Полный объемъ.	
0,50	6,40	2,10	8,50	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0,55	6,40	2,30	8,70	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0,60	6,40	2,40	8,80	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0,65	6,40	2,60	9,00	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0,70	6,50	2,80	9,30	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0,80	6,80	3,30	10,10	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0,90	7,10	3,90	11,00	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1,00	8,00	4,60	12,60	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1,10	8,50	5,60	14,10	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1,20	8,70	6,30	15,00	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1,30	9,00	7,00	16,00	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1,40	9,30	7,80	17,10	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1,50	9,60	8,60	18,20	—	—	—	18,90	13,70	32,60	20,30	14,40	34,70	23,00	16,50	39,50	1,50
1,60	10,20	10,00	20,20	—	—	—	19,80	15,50	35,30	21,20	15,80	37,00	23,90	18,60	42,50	1,60
1,70	10,70	10,90	21,60	—	—	—	20,50	16,90	37,40	21,90	17,80	39,70	24,50	20,20	44,70	1,70
1,80	11,10	11,90	23,00	—	—	—	21,10	18,20	39,30	22,60	19,20	41,80	25,20	21,90	47,10	1,80
1,90	11,60	13,00	24,60	—	—	—	21,80	19,70	41,50	23,20	20,80	44,00	25,90	23,60	49,50	1,90
2,00	12,00	14,10	26,10	—	—	—	22,50	21,20	43,70	23,90	22,40	46,30	26,60	25,40	52,00	2,00
2,10	12,50	15,90	28,40	—	—	—	23,20	23,40	46,60	24,60	24,60	49,20	27,30	27,80	55,10	2,10
2,20	13,00	17,20	30,20	—	—	—	23,90	25,10	49,00	25,30	26,40	51,70	27,90	29,70	57,60	2,20
2,30	13,40	18,60	32,00	—	—	—	24,50	26,80	51,30	26,00	28,20	54,20	28,60	31,70	60,30	2,30
2,40	13,90	20,00	33,90	—	—	—	25,20	28,60	53,80	26,60	30,10	56,70	29,30	33,80	63,10	2,40
2,50	16,00	22,40	38,40	21,20	21,00	42,20	28,00	30,30	58,30	29,20	31,80	61,00	31,80	35,60	67,40	2,50
2,60	16,10	22,70	38,80	21,50	21,30	42,80	28,20	30,90	59,10	29,40	32,60	62,00	32,00	36,50	68,50	2,60
2,70	16,50	24,50	41,00	22,20	23,10	45,30	28,90	33,10	62,00	30,20	34,80	63,00	32,70	38,90	71,60	2,70
2,80	17,00	26,40	43,40	22,90	25,00	47,90	29,60	35,30	64,90	30,90	37,10	68,00	33,40	41,30	74,70	2,80
2,90	17,50	28,40	45,90	23,60	27,00	50,60	30,30	37,60	67,90	31,60	39,50	71,10	34,20	43,90	78,10	2,90
3,00	17,90	30,50	48,40	24,30	29,10	53,40	31,00	40,00	71,00	32,30	42,00	74,30	34,90	46,60	81,50	3,00
3,10	18,40	32,60	51,00	25,10	31,20	56,30	31,80	42,50	74,30	33,00	44,60	77,60	35,60	49,30	84,90	3,10
3,20	18,90	34,90	53,80	25,80	33,50	59,30	32,50	45,10	77,60	33,80	47,20	81,00	36,30	52,10	88,40	3,20
3,30	19,40	37,20	56,60	26,50	35,80	62,30	33,20	47,80	81,00	34,50	50,00	84,50	37,00	55,00	92,00	3,30
3,40	19,90	39,60	59,50	27,20	38,20	65,40	33,90	50,50	84,40	35,20	52,80	88,00	37,80	58,00	95,80	3,40
3,50	20,30	42,10	62,40	28,20	45,90	74,10	35,10	60,60	95,70	36,40	63,00	99,40	38,90	68,30	107,20	3,50
3,60	20,60	49,60	70,20	28,90	48,20	77,10	35,80	62,60	98,40	37,10	65,00	102,10	39,60	70,50	110,10	3,60
3,70	20,90	52,00	72,90	29,50	50,50	80,00	36,40	64,70	101,10	37,70	67,30	105,00	40,30	73,00	113,30	3,70
3,80	21,20	54,40	75,60	30,20	52,90	83,10	37,10	67,20	104,30	38,40	69,80	108,20	40,90	75,60	116,50	3,80

*) См. Г. Ф. Краевскій „Желѣзнодорожныя изысканія и составленіе проекта желѣзной дороги". Томъ II, стр. 108—113.

Высота насыпи въ саж.	Для мостовъ съ ѣздою по верху.						Для мостовъ съ ѣздою по низу.									Высота насыпи въ саж.
	Отв. 1,00—6,00 с. включ.			Отв. 8,00—10,00 с. включ.			Отв. 10,00—15,00 с. включ.			Отв. 20,00—25,00 с. включ.			Отверстіемъ 30,00 саж.			
	Фундаменты.	Стѣны.	Полный объемъ.	Фундаменты.	Стѣны.	Полный объемъ.	Фундаменты.	Стѣны.	Полный объемъ.	Фундаменты.	Стѣны.	Полный объемъ.	Фундаменты.	Стѣны.	Полный объемъ.	
3,90	21,50	56,90	78,40	30,90	55,50	86,40	37,80	69,90	107,70	39,00	72,60	111,60	41,60	78,60	120,20	3,90
4,00	21,90	59,60	81,40	31,50	58,10	89,60	38,40	72,90	111,30	39,70	75,60	115,30	42,20	81,80	124,00	4,00
4,10	22,10	62,30	84,40	32,20	60,90	93,10	39,10	75,90	115,00	40,40	78,70	119,10	42,90	85,00	127,90	4,10
4,20	22,40	65,10	87,50	33,00	63,70	96,70	39,80	79,00	118,80	41,10	81,90	123,00	43,70	88,40	132,10	4,20
4,30	22,70	68,10	90,80	33,70	66,60	100,30	40,50	82,20	122,70	41,80	85,20	127,00	44,40	91,90	136,30	4,30
4,40	23,00	71,10	94,10	34,40	69,60	104,00	41,20	85,50	126,70	42,60	88,60	131,20	45,10	95,40	140,50	4,40
4,50	23,40	74,10	97,50	35,10	72,70	107,80	42,00	88,90	130,90	43,30	92,10	135,40	45,80	99,10	144,90	4,50
4,60	23,90	77,30	101,20	35,80	75,90	111,70	42,80	92,40	135,20	44,00	95,60	139,60	46,50	102,80	149,30	4,60
4,70	24,40	80,60	105,00	36,60	79,10	115,70	43,50	96,00	139,50	44,80	99,30	144,10	47,30	106 60	153,90	4,70
4,80	24,80	83,90	108,70	37,30	82,50	119,80	44,20	99,60	143,80	45,50	103,10	148,60	48,00	110,50	158,50	4,80
4,90	25,30	87,40	112,70	38,00	85,90	123,90	44,90	103,30	148,20	46,20	106,80	153,00	48,80	114,40	163,20	4,90
5,00	25,80	91,40	117,20	38,70	90,00	128,70	45,90	107,60	153,20	46,90	111,20	158,10	49,50	119,00	168,50	5,00
5,10	26,30	95,00	121,30	39,40	93,60	133,00	46,30	111,60	157,90	47,60	115,20	162,80	50,20	123,10	173,30	5,10
5,20	26,80	98,60	125,40	40,20	97,20	137,40	47,10	115,60	162,70	48,40	119,30	167,70	50,90	127,40	178,30	5,20
5,30	27,20	102,30	129,50	40,90	100,90	141,80	47,80	119,70	167,50	49,10	123,50	172,60	51,60	131,70	183,30	5,30
5,40	27,70	106,10	133,80	41,60	104,60	146,20	48,50	123,80	172,30	49,80	127,60	177,40	52,40	136,10	188,50	5,40
5,50	28,20	110,20	138,40	42,30	109.00	151,30	49,30	128,40	177,40	50,60	131,90	182,50	53,10	140,60	193,70	5,50
5,60	—	—	—	42,70	110,90	153,60	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5,70	—	—	—	43,50	114,80	158,30	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5,80	—	—	—	44,20	118,70	162,90	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5,90	—	—	—	44,80	122,80	167,60	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
6,00	—	—	—	45,60	126,90	172,50	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Примѣчаніе. Высоты насыпи считаются отъ обрѣза фундамента до бровки насыпи.

Что касается объемовъ кладки въ устояхъ желѣзнодорожныхъ мостовъ подъ 2 пути, то по даннымъ графика Второй Екатерининской ж. д. для мостовъ съ ѣздою по верху отверстіемъ отъ 1,00 до 8,00 саж. объемъ кладки въ устояхъ подъ 2 пути (прп ширинѣ устоя 4,00 саж.) въ среднемъ въ 1,55 раза болѣе объема кладки въ устояхъ подъ 1 путь (при ширинѣ устоя 2,20 саж.) — при одинаковыхъ пролетахъ и высотѣ насыпи.

ЗАМѢЧЕННЫЯ ОПЕЧАТКИ.

Страница.	*Строка сверху.*	*Строка снизу.*	**Напечатано.**	**Слѣдуетъ.**
7	—	3	(рис. 12)	выкинуть
11	—	11	Дюраксъ	Дюрансъ
26	8	—	Балтпра	Балтимора
29	—	10	Monongohela	Monongahela
31	6	—	270 мет.	250 мет.
32	3	—	вламѣнъ	взамѣнъ
43	—	11	рпс. 95	рис. 96
51	8	—	Oshütz	Oschütz
54	—	10	съ задѣланными пятами	съ двумя шарнирами
57	—	2	съ задѣланными пятами	съ двумя шарнирами
91	3	—	рис. 166	рис. 167
103	10	—	по	на
104	15	—	фиг. $30'''$	фиг. $32'''$
104	—	17	желѣзная	жесткая
140	7	—	водостока	водотока
145	—	1	$v_{\text{сам.}} = \dfrac{23 + \frac{1}{n} + 0{,}00155}{1{,}4607 + \left(23 + \frac{0{,}00155}{i}\right)\frac{n}{\sqrt{R}}}\sqrt{Ri}$	$v_{\text{сам.}} = \dfrac{23 + \frac{1}{n} + \frac{0{,}00155}{i}}{1{,}4607 + \left(23 + \frac{0{,}00155}{i}\right)\frac{n}{\sqrt{R}}}\sqrt{Ri}$
147	12	—	$v_n = 0{,}915\ v$	$v_n = 0{,}915\ v_0$
152	17	—	протекающей	притекающей
155	—	10	Graphische	Geographische
157	—	21	гористыхъ	скалистыхъ
183	—	1	ω—стѣсненнаго	ω_0—стѣсненнаго
239	15	—	$\dfrac{0{,}8 \times 10{,}\ 75\ .\ t^2}{2}$	$\dfrac{0{,}8 \times 10{,}73\ .\ t^2}{2}$
258	1	—	формулы:	формулы для металлическихъ віадуковъ на каменныхъ опорахъ:
258	7	—	фундаментъ	опоръ
258	9	—	віадука:	віадука на металличеекихъ опорахъ:
330	—	7	$p = 0{,}079\ l$	$p = 0{,}0079\ l$
331	19	—	11,5 м.	11,5 м., ширина каждаго тротуара 3,9 м.
331	21	—	на пог. метръ:	на пог. метръ одной фермы:
335	10	—	поясовъ прогона	поясовъ
335	—	17	p	γ
339	11	—	метръ,	метръ, а для R милл.
343	—	14	фермъ	фермы
344	5	—	17,7	17,3
344	13	—	кв.	пог.
365	14	—	до 13 м.—отъ 30 м.	до 13,3 м.—отъ 29 м.
365	21	—	отъ 14 метр.	отъ 13,3 метр.
366	2	—	14 м. 29 м.	13,3 м. и 29 + 4,5 = 33,5
366	3	—	0 м. до l м. — 4,5 м.	13,3 м. до 33,5 — 4,5
367	1	—	14	13,3

Страница.	*Строка сверху.*	*Строка снизу.*	**Напечатано.**	**Слѣдуетъ.**
367	—	4	8,038	8,028
368	—	15	7,682	7,862
368	—	12	7,374	7,574
392	—	17	$m = m' \cos\varphi + x' \sin\varphi$	$m = m' \cos\varphi - x' \sin\varphi$
108	6	—	$d < \frac{l(pl+4R)}{2P}\left\{1-\sqrt{1+\frac{2P}{pl+4P}}\right\}$	$d < \frac{l(pl+4P)}{2P}\left\{1-\sqrt{1-\frac{2P}{pl+4P}}\right\}$
430	21 и 29	—	0,6 m	1,2 m
435	16	—	надъ	подъ
439	—	10	$(F_{g'''} - F_{m'''}) \cdot \frac{F_{m''}}{F_{g''}} \cdot \frac{F_{m''}}{F_{g''}}$	$(F_{g'''} - F_{m'''}) \cdot \frac{F_{m'}}{F_{g'}} \quad \frac{F_{m''}}{F_{g''}}$
449	—	23	разгруженной	загруженной
449	—	20	разгруженной	загруженной
451	13	—	$\frac{l}{r} < 114{,}7$	$\frac{l}{r} > 114{,}7$
451	18	—	$\frac{l}{r} > 114{,}7$	$\frac{l}{r} < 114{,}7$
151	19	—	$R_0' = a + b\,\frac{l}{k}$	$R'_0 = a + b\,\frac{l}{r}$
451	—	14	$\frac{l}{r} < 110{,}1$	$\frac{l}{r} > 110{,}1$
451	—	9	$\frac{l}{r} > 110{,}1$	$\frac{l}{r} < 110{,}1$
453	17	—	(104)	(105)
461	12	—	7 к. $\frac{C}{B}$	1 к. $\frac{C}{B}$
511	—	6 и 7	проѣзда наименьшее	проѣзда. Наименьшее
511	—	1	портиковъ	порталовъ
515	1	—	помѣщенія	расположенія
596	11	—	IV (Глава)	VIII (Глава)
614	—	3	невозможность	затруднительность
641	—	16	VIII (Глава)	IX (Глава)
681	—	10	$\delta k\left(\frac{bic+}{2}\right)\ldots.$	$\delta k\left(\frac{b+w}{2}\right)\ldots.$
682	—	6	$\frac{V+P+dP}{e+P}$	$\frac{V+P+dP}{V+P}$
687	13	—	Leygyc	Leygue
687	—	1	pilous	pylones
712	—	11	Сспособы	Способы
770	—	7	3,76	0,76
785	8	—	3)	выкинуть
801	2	—	подъ потолкомъ	надъ потолкомъ
895	—	14	б) Пріемъ основаній	б) Пріемъ, основанный
895	—	13	Условіи	Условія