

Федеральное агентство железнодорожного транспорта
Уральский государственный университет путей сообщения
Кафедра «Строительные конструкции
и строительное производство»

А. Х. Ягофаров
Х. Ягофаров

ИННОВАЦИИ В СТРОИТЕЛЬСТВО

Методические указания к курсовому
и дипломному проектированию по дисциплинам
«Металлические конструкции»
и «Железобетонные и каменные конструкции»
для студентов специальности 270800 – «Строительство»
(профиль «Промышленное и гражданское строительство»)
и слушателей института дополнительного
профессионального образования

Екатеринбург
Издательство УрГУПС
2014

УДК 624.012

Я30

Ягофаров, А. Х.

Я30 Инновации в строительстве : метод. указания / А. Х. Ягофаров, Х. Ягофаров. — Екатеринбург : Изд-во УрГУПС, 2014. — 48 с.

Методические указания разработаны в соответствии с основной образовательной программой высшего профессионального образования по направлению подготовки 270800 — «Строительство» (профиль «Промышленное и гражданское строительство»), составленной согласно Федеральному государственному образовательному стандарту, утвержденному приказом № 54 от 18.01.2010 г. Министерства образования и науки РФ.

Приведены результаты некоторых госбюджетных научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИОКР).

Дано краткое описание принципиально новых конструктивных решений в различных областях строительства.

Предназначены для студентов специальности 270800 — «Строительство» при выборе темы курсового и дипломного проекта.

УДК 624.012

*Печатается по решению
редакционно-издательского совета университета.*

Авторы: А. Х. Ягофаров, доцент кафедры «СК и СП»,
 канд. техн. наук, УрГУПС
 Х. Ягофаров, профессор кафедры «СК и СП», д-р техн. наук,
 УрГУПС

Учебное издание

ИННОВАЦИИ В СТРОИТЕЛЬСТВО

Редактор С. В. Пилюгина
Верстка Н. А. Журавлевой

Подписано в печать 18.11.2013. Формат 60×84/16.
Усл. печ. л. 2,8. Тираж 50 экз. Заказ 20.

Издательство УрГУПС
620034, Екатеринбург, ул. Колмогорова, 66

© Уральский государственный университет
путей сообщения (УрГУПС), 2014

Оглавление

Введение	4
1 Железобетонные конструкции	5
1.1 Плоские плиты перекрытия из монолитного железобетона.....	5
1.1.1 Состояние вопроса	5
1.1.2 Пути совершенствования плоской плиты перекрытия	8
1.2 Сборно-монолитные перекрытия	20
1.2.1 Состояние вопроса	20
1.2.2 Перекрытие с контурными ригелями.....	22
1.2.3 Перекрытие с контурными и диагональными ригелями.....	26
1.2.4 Перекрытие из сборных панелей, очерченных по форме грузовой площади ригелей.....	30
1.2.5 Стык сборных железобетонных колонн	33
2 Стальные конструкции	35
2.1 Бункера.....	35
2.1.1 Пирамидально-призматический бункер.....	35
2.1.2 Конусно-цилиндрический (круглый) бункер.....	36
2.1.3 Гибкий бункер	37
2.2 Фланцевый стык растянутых элементов.....	39
2.3 Крепление опорного ребра к стенке балки.....	41
2.4 Болтовое соединение стенок балки в монтажном стыке	42
2.5 Шарнирно-консольные балки	44
Библиографический список	46

Введение

Основная образовательная программа высшего профессионального образования по направлению подготовки 270800 — «Строительство» (профиль «Промышленное и гражданское строительство») предусматривает в процессе изучения дисциплин «Металлические конструкции» и «Железобетонные и каменные конструкции» формирование у будущих бакалавров таких профессиональных (ПК) компетенций, как ПК-1 — использование основных законов естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применение методов математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования; ПК-2 — способность выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлечения для их решения соответствующего физико-математического аппарата; ПК-3 — владение основными законами геометрического формирования, построения и взаимного пересечения моделей плоскости и пространства, необходимыми для выполнения и чтения чертежей зданий, сооружений, и деталей конструкций, методами разработки конструкторской документации; ПК-10 — владение методами проведения инженерных изысканий, технологией проектирования деталей и конструкций в соответствии с техническим заданием с использованием стандартных прикладных расчетных и графических программных пакетов.

На современных отечественных стройках сравнительно мало применяют отечественные разработки, прошедшие экспериментально-теоретические исследования.

Мы представляем некоторые разработки строительных конструкций, выполненные на строительном факультете Уральского государственного университета путей сообщения в рамках госбюджетных научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИОКР).

Брошюра ориентирована на специалистов-практиков в области проектирования и строительства, а также на преподавателей, аспирантов и студентов вузов по специальности «Строительство» (профиль «Промышленное и гражданское строительство»).

1 ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ КОНСТРУКЦИИ

1.1 Плоские плиты перекрытия из монолитного железобетона

1.1.1 Состояние вопроса

Плоские безбалочные бескапитальные плиты перекрытия (далее плоские плиты перекрытия) нашли широкое применение в современных каркасных зданиях гражданского назначения. Эти перекрытия привлекают строителей своей простотой, они просты в проектировании, строительстве и эксплуатации.

Кроме того, плоские плиты перекрытий:

- представляют собой жесткую горизонтальную диафрагму, одинаково работающую во всех направлениях;
- опираются на колонны, расположенные как по регулярной, так и нерегулярной сетке колонн;
- обеспечивают гладкий потолок;
- позволяют устраивать технологические проемы в любом месте перекрытия.

Однако последнее достоинство плоских плит перекрытия переходит в опасный дефект, когда проемы располагаются вблизи или вплотную к колоннам, т. е. в зоне сосредоточения опорных усилий (M и Q). Укладываемые по периметру таких проемов арматурные стержни усиления ни в коей мере не компенсируют ослабление плиты перекрытия проемами. Этот дефект может явиться очагом разрушения плиты перекрытия как при возведении, так и при эксплуатации здания.

Недостатки плоских плит перекрытия:

- достаточно трудоемкий процесс подготовки, монтажа и демонтирования опалубки и ручной раскладки стержней арматуры;
- трудности уплотнения бетона опорной зоны плиты насыщенной рабочей арматурой (рисунок 1);
- неудобства зимнего бетонирования;
- пониженное качество и прочность монолитного бетона по сравнению со сборным бетоном заводского изготовления;
- высокая материалоемкость — это основной недостаток плоских плит перекрытия.

Толщина плоских плит перекрытия при сетке колонн до 6×6 м установилась на уровне 220 мм, а удельный расход арматуры достигает 200 кг/м³ бетона и более. Для сравнения – приведенная толщина сборных круглопустотных плит перекрытия пролетом 6 м и более составляет 120 мм при удельном расходе арматуры 30...70 кг/м³.

Сравнение современной плоской плиты перекрытия с традиционной монолитной ребристой плитой показывает разницу в расходе бетона более чем в два раза, а арматуры до 3 раз не в пользу плоской плиты перекрытия [1]. В реальной практике проектирования в г. Екатеринбурге указанная разница еще больше, а именно: бетона до 3 раз, а арматуры – в 5 раз.

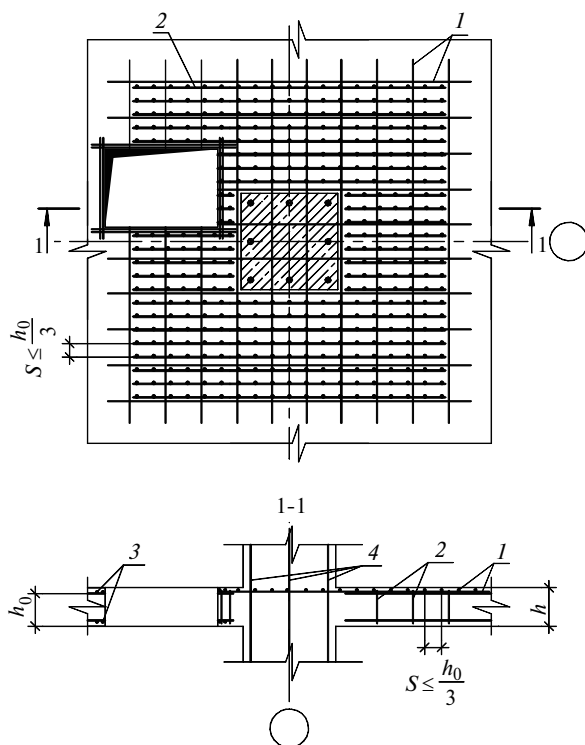


Рисунок 1 – Схема расположения рабочей арматуры в опорной зоне плоской плиты перекрытия:

1 – продольная арматура; 2 – поперечная арматура; 3 – арматура окаймления проема; 4 – арматура колонны.

Арматура нижней зоны плиты в плане не показана

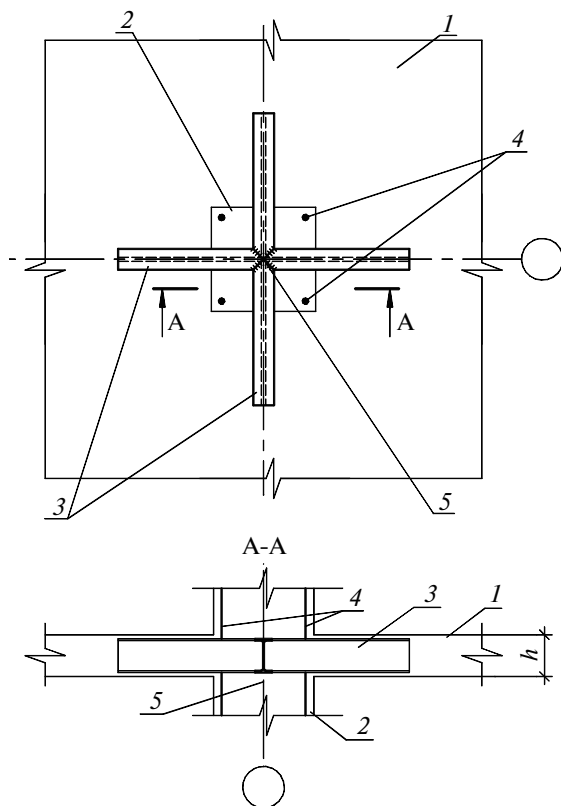


Рисунок 2 – Скрытая консоль в опорной зоне плоской плиты перекрытия:
 1 – плоская плита перекрытия; 2 – колонна; 3 – ветви скрытой консоли;
 4 – арматура колонны; 5 – ось узла скрепления ветвей скрытой консоли
 и ось колонны

Таким образом, плоские плиты перекрытия недопустимо затратны. Более того, они своим весом нагружают несущие конструкции – колонны и фундаменты, на которые также требуются затраты арматуры, бетона и пр.

Отмеченные недостатки плоских плит перекрытия существенно влияют на стоимость зданий, в том числе жилья.

1.1.2 Пути совершенствования плоской плиты перекрытия

Учитывая, что усилия M и Q сосредотачиваются по оси колонны, то целесообразно найти эффективное решение усиления именно опорной зоны плоской плиты перекрытия. Усилие продавливания (Q) можно воспринять жесткой вставкой из прокатного двутавра, которая представляет собой скрытую консоль (рисунок 2). Ветви скрытой консоли 3 скрепляют друг с другом по равнопрочности на оси 5 колонны 2, благодаря чему ветви воспринимают и часть изгибающего момента (M) [2]. Расход стали на скрытую консоль из двутавра немногим превышает расход стали на поперечную арматуру из шпилек [3].

Скрытая консоль совместно с гибкой радиальной и кольцевой арматурой полностью воспринимают опорные усилия M и Q (рисунок 3). Радиальная 6 и кольцевая 7 арматура наиболее рациональны, так как в полной мере соответствуют эпюре усилий M и Q .

С увеличением длины, а также числа ветвей скрытой консоли получается скрытая капитель, снабженная радиальной и кольцевой арматурой (рисунок 4). При большом числе ветвей скрытой капители из двутавра узел скрепления их по оси колонны занимает большой объем, что затрудняет бетонирование участка колонны в плоскости плиты перекрытия. Этот дефект легко устраняется, если ветви скрытой капители из двутавра скрепить друг с другом посредством обрезка стальной трубы, ось которой совмещена с осью колонны [4]. Сечение обрезка стальной трубы воспринимает усилия M от всех ветвей скрытой капители, чем обеспечивает неразрезность их по оси колонны. Изгибающий момент, возникающий в стенке обрезка стальной трубы, определяют по формулам:

— при числе ветвей скрытой капители $n \leq 6$

$$M_{к,6} = \frac{0,5M_B}{\sin(\pi/n)}; \quad (1)$$

— при числе ветвей скрытой капители $n \geq 8$

$$M_{к,8} = 0,16n \cdot M_B, \quad (2)$$

где $M_B = W \cdot R_y$ — изгибающий момент, воспринимаемый одной ветвью скрытой капители из двутавра;

здесь W — момент сопротивления двутавра;

R_y — расчетное сопротивление стали двутавра [25].

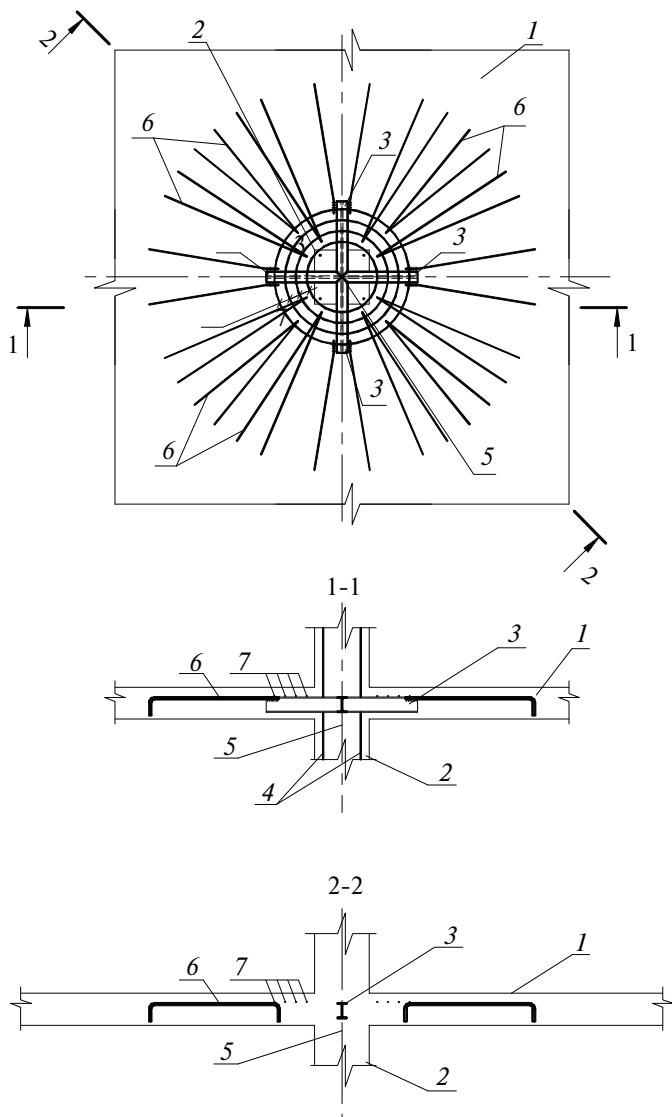


Рисунок 3 – Скрытая консоль из двутавра, снабженная радиальной и кольцевой арматурой: 1 – плоская плита перекрытия; 2 – колонна; 3 – ветви скрытой консоли; 4 – арматура колонны; 5 – ось узла скрепления ветвей скрытой консоли и ось колонны; 6 – радиальная арматура; 7 – кольцевая арматура

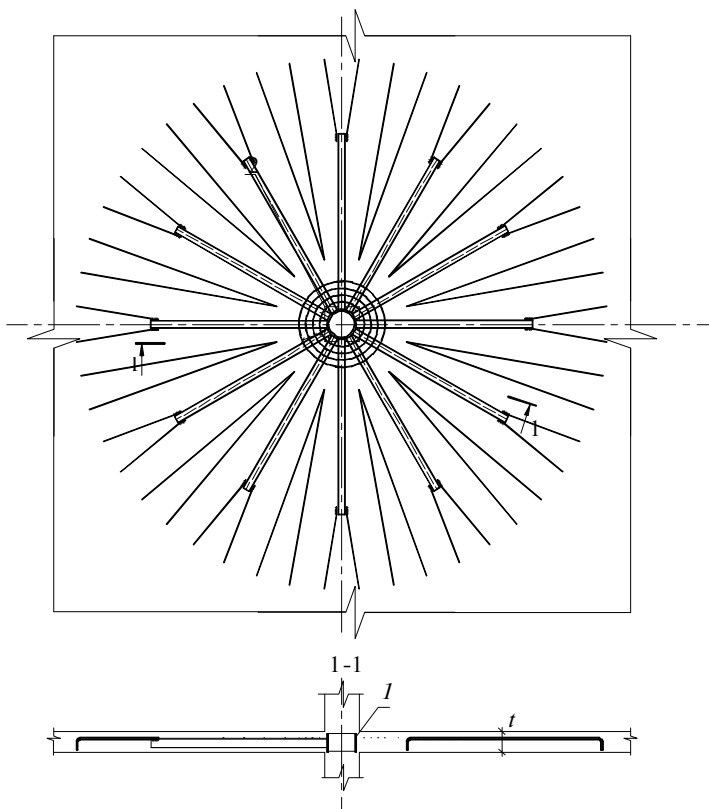


Рисунок 4 – Скрытая капитель из двутавра, снабженная радиальной и кольцевой арматурой. Ветви скрытой капители скреплены друг с другом посредством обрезка стальной трубы I

Прочность стенки обрезка стальной трубы проверяют по формуле

$$\frac{M_K}{W_K \cdot R_{y,K} \cdot \gamma_c} \leq 1, \quad (3)$$

где $W_K = \frac{t_K \cdot l_K^2}{6}$ – момент сопротивления стенки обрезка стальной трубы;

здесь t_K – толщина стенки стальной трубы;

l_K – длина обрезка стальной трубы;

$\gamma_c < 1$ — запас прочности на отсутствие опыта проектирования, строительства и эксплуатации узла.

Использование жесткой радиальной арматуры в опорной зоне плоской плиты перекрытия несколько «приподнимает» эпюру изгибающих моментов, что повышает жесткость и трещиностойкость плиты, и толщину можно уменьшить до 160...170 мм при сетке колонн до 6×6 м.

Жесткую радиальную арматуру можно заменить гибкой (стержневой) радиальной арматурой. Стержни радиальной арматуры скрепляются друг с другом по оси колонны посредством обрезка стальной трубы, который в данном случае работает на растяжение (рисунок 5). Усилия растяжения в обрезке стальной трубы определяют по формулам:

— при числе радиальной арматуры $n \leq 6$

$$N_{K,6} = \frac{0,5F_s}{\sin(\pi/n)}; \quad (4)$$

— при числе радиальной арматуры $n \geq 8$

$$N_{K,8} = 0,16n \cdot F_s, \quad (5)$$

где $F_s = A_s R_s$ — усилие, воспринимаемое одним стержнем радиальной арматуры;

здесь A_s — площадь поперечного сечения радиальной арматуры;

R_s — расчетное сопротивление растяжению радиальной арматуры [11].

Прочность стенки обрезка стальной трубы проверяют по формуле

$$\frac{N_K}{A_K R_{y,K} \cdot \gamma_c} \leq 1, \quad (6)$$

где $A_K = t_K l_K$ — площадь поперечного сечения стенки обрезка стальной трубы;

t_K и l_K — по формуле (3).

Радиальная 1 и кольцевая арматура 3 воспринимают опорный изгибающий момент M полностью. Поперечное усилие Q воспринимается вертикальной поперечной арматурой 4 . Рабочая радиальная арматура 1 , конструктивная радиальная арматура 2 и поперечная арматура 4 образуют плоскую сварную сетку, установленную вертикально.

Методика расчета плоской плиты перекрытия с радиальной и кольцевой арматурой приведена в [3].

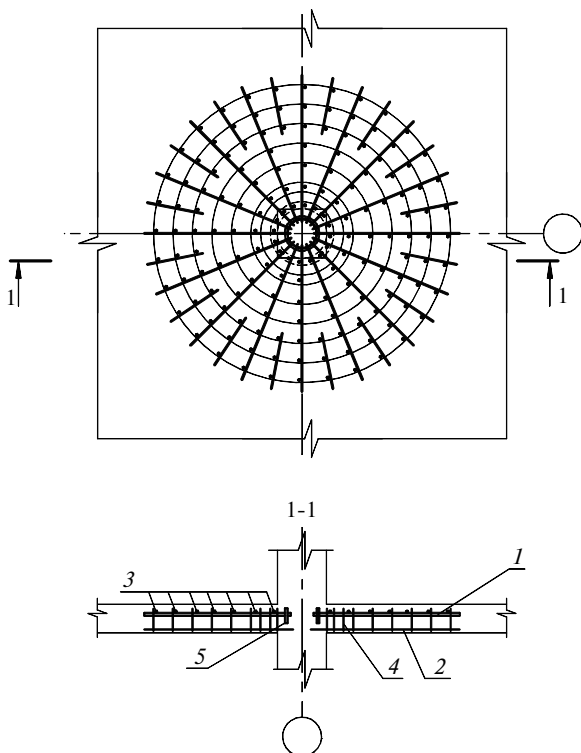


Рисунок 5 – Стержни гибкой радиальной арматуры, скрепленные друг с другом посредством обрезка стальной трубы: 1 и 2 – радиальная рабочая и монтажная арматура; 3 – кольцевая арматура; 4 – поперечная арматура; 5 – обрезок стальной трубы

Рассмотренное выше армирование опорной зоны плиты с радиальной арматурой, ветви которой скреплены друг с другом по оси колонны непосредственно или посредством обрезка стальной трубы, рационально не только с точки зрения статики, но и с точки зрения производства работ. Вся арматуру опорной зоны плиты перекрытия можно собрать целиком на заводе-изготовителе и установить в проектное положение как отдельный монтажный элемент. Но это возможно только при поэтажном бетонировании монолитных колонн.

Указанное ограничение отсутствует, если арматуру стыковать посредством анкерных колец [5]. Загнутые по радиусу концы арматуры заводятся внутрь анкерного кольца и взаимодействует с ним через бе-

тон, что исключает какие-либо механические закрепления (сварка, обжимные и резьбовые муфты и др.), чем упрощается монтаж арматуры (рисунок 6). Для обеспечения надежной анкеровки арматуры 1 торцы загнутых концов можно снабдить высаженной головкой 2 или анкером другой конструкции. Анкерное кольцо 3 можно выполнить из обрезка стальной трубы и расположить между рабочей арматурой колонны 4. При этом ось кольца совмещается с осью 5 колонны 4.

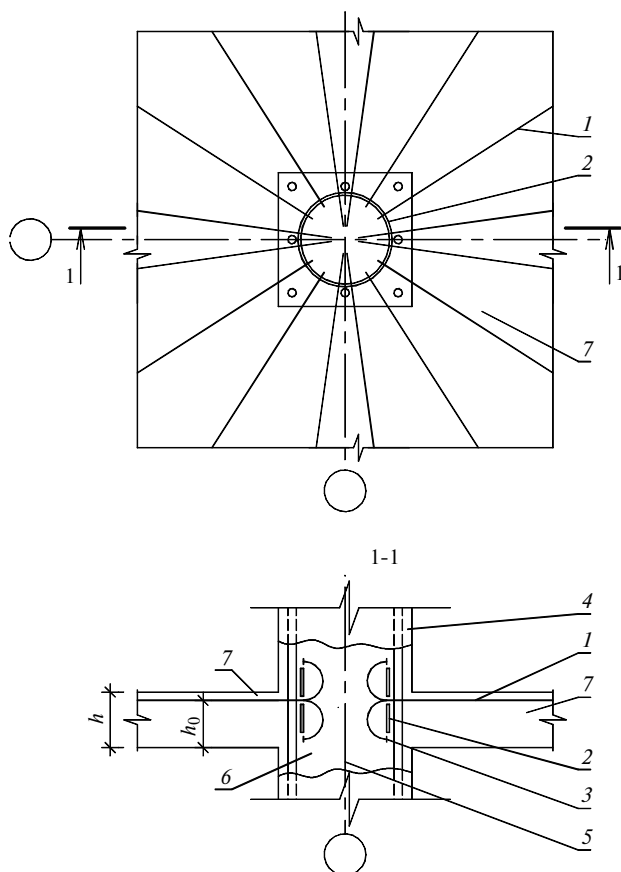


Рисунок 6 – Стык арматуры плоской плиты перекрытия посредством анкерных колец:

- 1 – стыкуемая арматура; 2 – анкерная головка; 3 – высаженная головка;
- 4 – колонна; 5 – ось колонны; 6 – просвет в сборной колонне;
- 7 – плоская плита перекрытия

При сборных колоннах с просветами b в уровне перекрытий 7 анкерное кольцо можно завести в проектное положение как при изготовлении колонны, так и при возведении перекрытия.

Анкерные кольца следует устанавливать попарно одно над другим, а загнутые концы одной половины арматуры размещать внутри верхнего кольца, и другой половины — внутри нижнего кольца, как показано на рисунке 6. Этим обеспечивается:

- выполнение требования норм: в одном сечении (анкерном кольце) допускается стыковать не более 50 % арматуры [11];
- сохранение расчетной высоты h_0 поперечного сечения плиты перекрытия 7 в пределах полости колонны;
- увеличение числа стыкуемых стержней арматуры.

Арматуру необходимо располагать симметрично оси колонны (анкерных колец).

Арматуру, стыкуемую посредством анкерных колец, необходимо возить рассыпью и укладывать вручную.

Стык работает следующим образом (рисунок 7, а). Загнутый конец стыкуемой арматуры 1 заводится внутрь анкерного кольца 2, ось которого совмещается с осью 5 колонны 4. Торец загнутого конца стыкуемой арматуры снабжается, при необходимости, высаженной головкой 3. На арматуру действует усилие $F_S = A_S R_S$, равное ее несущей способности (здесь A_S и R_S — площадь поперечного сечения и расчетное сопротивление арматуры растяжению). Выдергиванию арматуры из бетона препятствуют напряжения сцепления τ арматуры с бетоном по всей длине заделки арматуры в бетон, напряжения смятия бетона $b_{b,lok}$ на загнутом конце арматуры и напряжения смятия $b_{b,p}$ на высаженной головке. Указанные напряжения через бетон передаются на анкерное кольцо в виде активного давления $\sigma_{b,a}$, распределенного в поперечном сечении кольца по закону трапеции (предположительно) так, что равнодействующая активного давления $q_{b,a}$ действует на поперечное сечение анкерного кольца с эксцентриситетом e (рисунок 7, в). По периметру анкерного кольца равнодействующая активного давления бетона $q_{b,a}$ распределяется по криволинейному закону (предположительно), рисунок 7, б. В любом случае равнодействующими активного давления бетона $q_{b,a}$ являются усилия в арматуре F_S , которые являются внешней нагрузкой, растягивающей анкерное кольцо с усилием N_K .

Под воздействием упругих деформаций кольца возникает пассивный отпор бетона $\sigma_{b,p}$, который частично нейтрализует активное давление бетона $\sigma_{b,a}$. Интенсивность пассивного отпора неизвестна (пока), в силу этого его не следует учитывать в расчетах в запас проч-

ности анкерного кольца. Тогда усилие растяжения кольца N_K определяется по формулам (4) или (5).

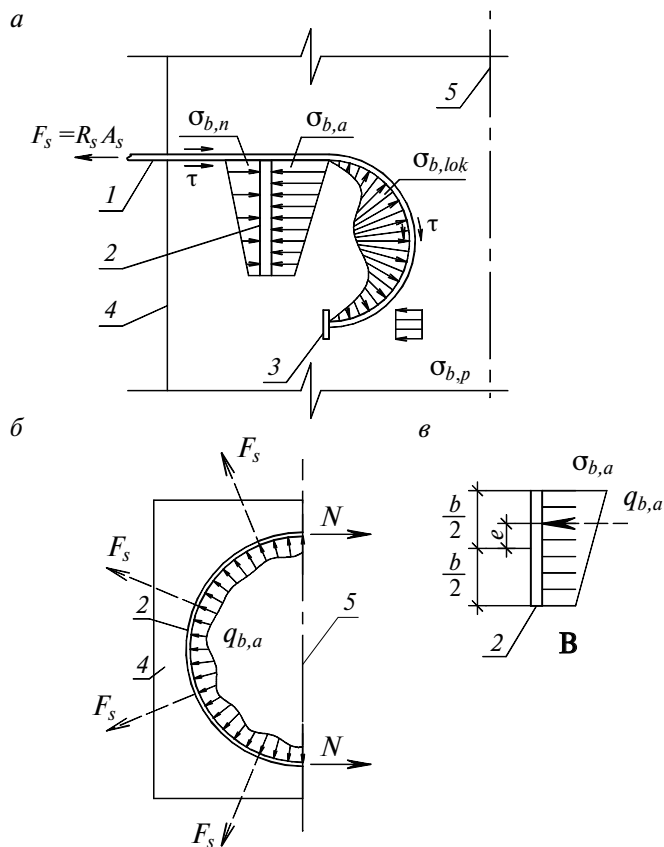


Рисунок 7 – Расчетная схема стыка с анкерным кольцом:
 1 – стыкуемая арматура; 2 – анкерное кольцо; 3 – высаженная головка;
 4 – колонна; 5 – ось колонны и ось анкерного кольца

Анкерное кольцо можно изготовить также из арматурных стержней, что обеспечивает большое разнообразие конструкций, (рисунок 8).

Анкерное кольцо можно выполнить из одного и более отдельных колец. Отдельные кольца (более одного) могут быть сомкнуты, рисунок 8, а или разомкнуты, рисунок 8, б. Отдельные кольца в составе анкерного кольца могут быть выполнены из арматуры разных ди-

аметров. Замыкающий стык отдельного кольца выполняется ванной сваркой. Замыкающие стыки отдельных колец в составе анкерного кольца располагаются вразбежку.

Анкерное кольцо можно выполнить в виде спирали из одного или нескольких сомкнутых или разомкнутых витков, рисунок 8, *в*. Эта конструкция анкерного кольца интересна тем, что имеет один замыкающий стык, выполняемый внахлестку, при любом числе витков.

Взаимное скрепление разомкнутых отдельных колец или витков спирали анкерного кольца осуществляется посредством кусков арматуры или стальных полос на сварке.

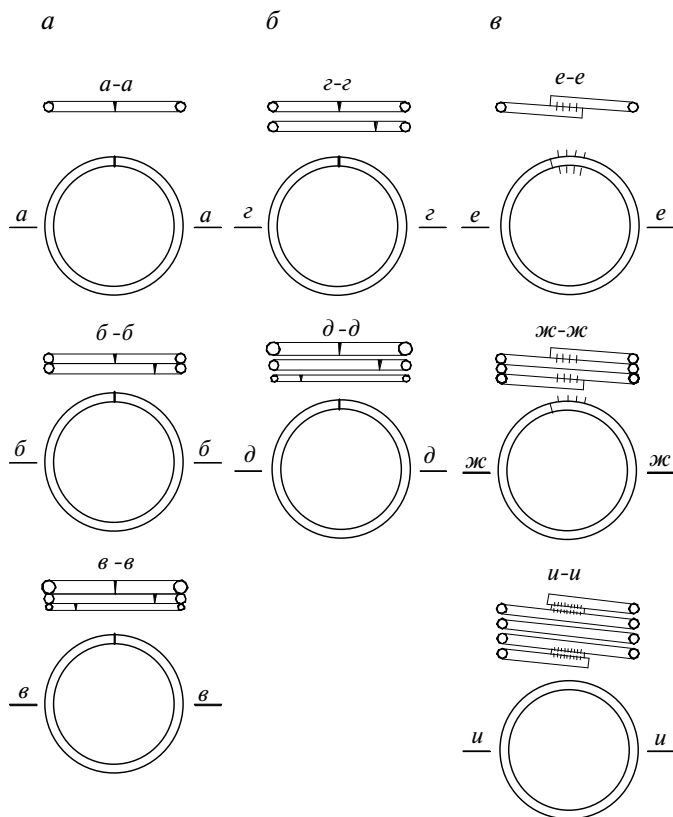


Рисунок 8 — Анкерные кольца из арматуры:
а — сомкнутые кольца; *б* — разомкнутые кольца;
в — сомкнутая и разомкнутая спираль

Анкерные кольца из одного или нескольких разомкнутых отдельных колец или витков спирали имеют лучшее сцепление с бетоном, что более благоприятно для работы стыка, поэтому более предпочтительны.

Анкерные кольца следует изготавливать из малоуглеродистой стали, как наиболее пластичной и наименее деформативной в силу сравнительно низкого расчетного сопротивления растяжению.

Прочность анкерного кольца из арматурных стержней проверяется по формуле

$$\frac{N_K}{A_{S,K} R_{S,K} \gamma_c} \leq 1, \quad (7)$$

где $A_{S,K}$ – площадь поперечного сечения анкерного кольца;

$R_{S,K}$ – расчетное сопротивление арматуры, из которой изготовлено анкерное кольцо [11];

$\gamma_c = 0,5 \dots 0,7$ – коэффициент условий работы, учитывающий эксцентричное приложение активного давления бетона на анкерное кольцо и другие особенности работы стыка.

Относительную жесткость стыка оценивают из соотношения

$$C = \frac{\Delta l_S}{\Delta D_K}, \quad (8)$$

где Δl_S – удлинение стыкуемой арматуры на участке длиной, равной диаметру анкерного кольца D_K . Оно равно

$$\Delta l_S = D_K \frac{R_S}{E},$$

где R_S – расчетное сопротивление стыкуемой арматуры растяжению;

E – модуль упругости арматуры;

ΔD_K – увеличение диаметра анкерного кольца вследствие упругого удлинения образующего стержня. Оно равно разности диаметров деформированного D'_K и исходного D_K колец

$$\Delta D_K = D'_K - D_K = D_K + \frac{\pi D_K R_{S,K} \gamma_c}{E \pi} - D_K = D_K \frac{R_{S,K} \gamma_c}{E},$$

здесь $R_{S,K}$ – расчетное сопротивление растяжению арматуры, из которой изготовлено анкерное кольцо.

Найденные выражения подставляют в формулу и получают

$$C = \frac{R_s}{R_{s,K} \gamma_c} \quad (9)$$

Например, принимают $R_s = 355 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2}$, арматура класса А400, $R_{s,K} = 215 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2}$, арматура класса А240 и $\gamma_c = 0,7$ и получают

$$C = \frac{355}{215 \cdot 0,7} = 2,36,$$

т. е. для принятых предпосылок расчета жесткость стыка более чем в два раза превышает жесткость стыкуемой арматуры.

По расположению анкерные кольца могут быть центральными 1 и периферийными 2, рисунок 9. Центральные анкерные кольца 1 размещаются в пределах поперечного сечения колонны 3, а периферийные анкерные кольца 2 укладываются снаружи колонны. Для того чтобы завести нижнее анкерное кольцо в проектное положение, необходимо крайние стержни поперечной арматуры выполнить в виде шпилек 6, устанавливаемых на месте. Верхнее периферийное анкерное кольцо с загнутыми вверх концами стыкуемой арматуры размещается в местном утолщении плиты перекрытия.

Выше рассматривалось армирование опорной зоны плоской плиты перекрытия. Арматура межколонных участков остается традиционной. Схема сопряжения опорной радиальной арматуры с традиционной рабочей арматурой на межколонных и центральном участках приведена на рисунке 10. Опорный изгибающий момент плоской плиты перекрытия воспринимается в основном радиальной арматурой и частично-традиционной арматурой, которая рассчитана на восприятия изгибающего момента на межколонных участках. Усилия среза воспринимаются бетоном совместно с поперечной арматурой, которая вместе с радиальной арматурой образует вертикальную сварную сетку (см. рисунок 9).

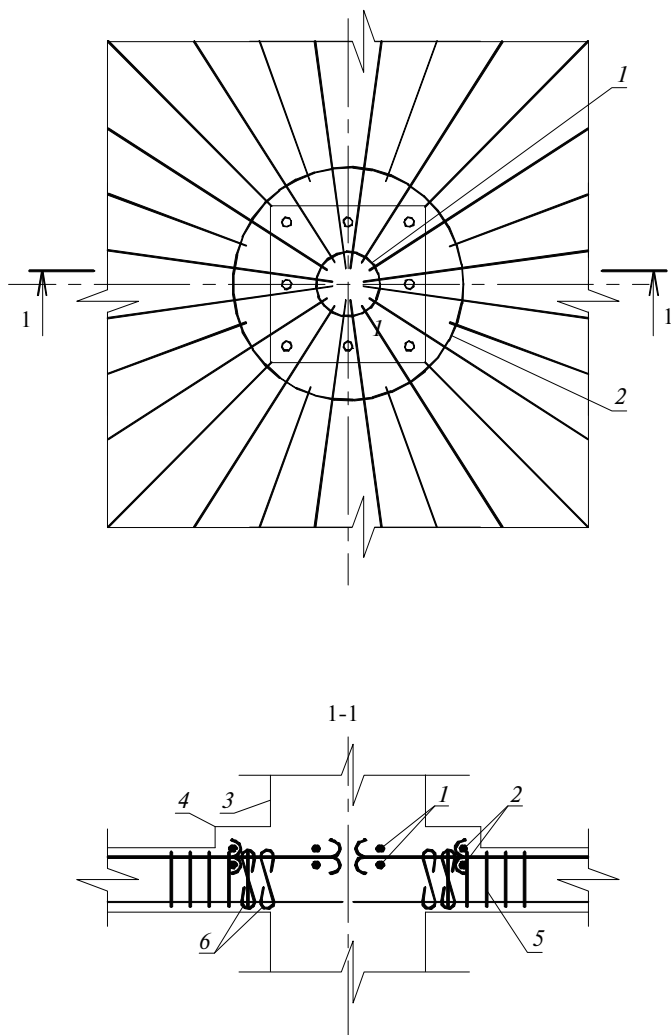


Рисунок 9 – Стык арматуры перекрытия посредством центральных и периферийных анкерных колец: 1 и 2 – центральные и периферийные анкерные кольца; 3 – колонна; 4 – местное утолщение плиты; 5 – поперечная арматура в составе сетки; 6 – шпилька

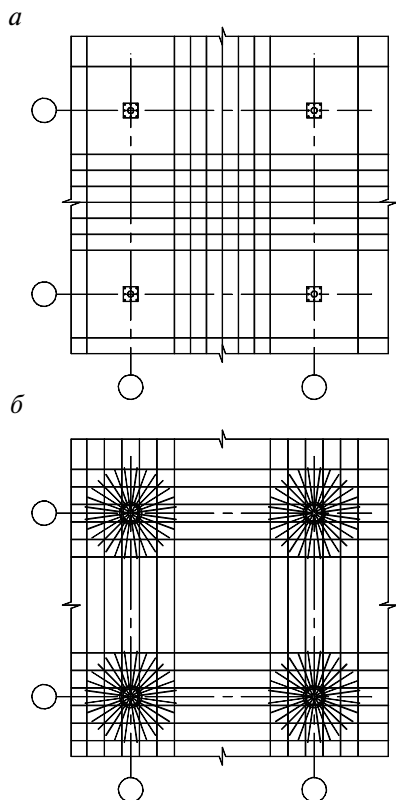


Рисунок 10 – Схема сопряжения радиальной рабочей арматуры плоской плиты перекрытия с традиционной рабочей арматурой:
a – в нижней зоне; *б* – в верхней зоне

1.2 Сборно-монолитные перекрытия

1.2.1 Состояние вопроса

Высокая затратность, низкая индустриальность и прочность монолитных плоских плит перекрытия подвигли научно-техническую общественность на поиски новых конструкций перекрытия, обеспечивающих экономию материалов, высокую индустриальность и надежность. Последним требованиям отвечают сборно-монолитные перекрытия.

Уже созданы и реализованы в практике строительства системы «КБК» (конструкции безригельного каркаса), «Аркос» (Белоруссия), «Сарет» (Чебоксары), «Сочи» (Россия), «ИМС» (Югославия), «РСТ» (Болгария) [6, 7]. Интенсивно исследуются модификации системы «РАДИУСС» (Москва) [8...10]. Среди перечисленных нет системы под брендом «Урал».

Анализ перечисленных систем выявил некоторые общие тенденции их конструирования:

- использование в составе перекрытий традиционных пустотных или плоских плит;
- монолитные ригели преимущественно не выступают ниже сборных плит;
- бесконсольные колонны, монолитные или сборные, с просветами в уровне перекрытий, которые бетонируются вместе с плитой перекрытия;
- традиционная линейная конструктивная схема, в которой плиты работают в одном направлении, а ригели в другом;
- связевая система каркаса в обоих направлениях, обусловленная конструктивно ограниченной высотой сечения ригеля.

Каждая из отмеченных выше систем перекрытий обладает своими достоинствами и недостатками.

Предложенные в данной брошюре конструкции сборно-монолитных перекрытий разработаны на основе следующих принципов:

- создание принципиально новых конструкций, защищенных патентами на изобретение или полезную модель;
- отказ от применения традиционных элементов в составе перекрытий;
- использование кольцевых анкеров для стыковки перекрестной арматуры, расположенной в одной плоскости;
- сохранение положительных качеств монолитных плоских плит перекрытия после замоноличивания монтажных швов (одинаковая работа во всех направлениях);
- обеспечение пространственной рамной схемы каркаса;
- ширина отпавочных (сборных) элементов каркаса не должна превышать 3 м из соображений транспортировки;
- максимальное укрупнение отпавочных (сборных) элементов;
- минимизация толщины полки плиты ребристого перекрытия до конструктивно минимального значения — $t_{\min} = 40...50$ мм, определяемого нормируемой толщиной защитного слоя бетона не менее 15 мм для сборных элементов и 20 мм — для элементов, изготавлива-

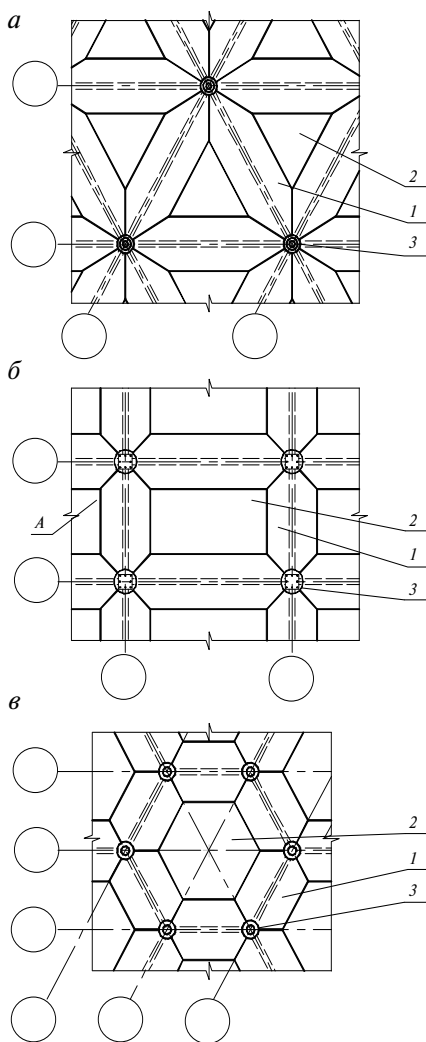


Рисунок 11 – Перекрытия с контурными ригелями:

а – при треугольных, *б* – прямоугольных, *в* – и шестиугольных ячейках.

Схема расположения конструкций:

1 – контурный ригель; *2* – центральная плита; *3* – скрытая капитель

емых в построечных условиях [11]. Полка плиты имеет однослойное армирование по середине своей толщины сеткой из стержней диаметром до 5 мм класса В500.

Предлагаемые перекрытия наиболее эффективны при регулярной сетке колонн и с консольными участками по периметру.

Для реализации предлагаемых перекрытий потребуются парк опалубки.

1.2.2 Перекрытие с контурными ригелями

Сетка колонн образует ячейки перекрытия треугольной, прямоугольной и шестиугольной формы, рисунок 11. Перекрытие состоит из контурных ригелей *1*, расположенных по сторонам ячейки перекрытия и центральной плиты *2*, форма которой подобна форме ячейки перекрытия. Ригель *1* опирается на колонну посредством скрытой капители *3* [12].

На рисунке 12 приведена схема расположения конструкций перекрытия с квадратными ячейками.

Ригель *1* выполнен в виде ребристой плиты *2* шириной 3 м. Плита между ребрами по концам ригеля имеет утолщения для восприятия опор-

ного изгибающего момента в пределах ригеля. Кроме того, торцы ригелей формируют скрытую капитель, ее нижние грани и нижние грани ригелей находятся в одной горизонтальной плоскости. Центральная плита 2 – квадратная, со сторонами не более 3×3 м. При ординарных нагрузках толщина центральной плиты может быть минимальной, а именно 40 мм.

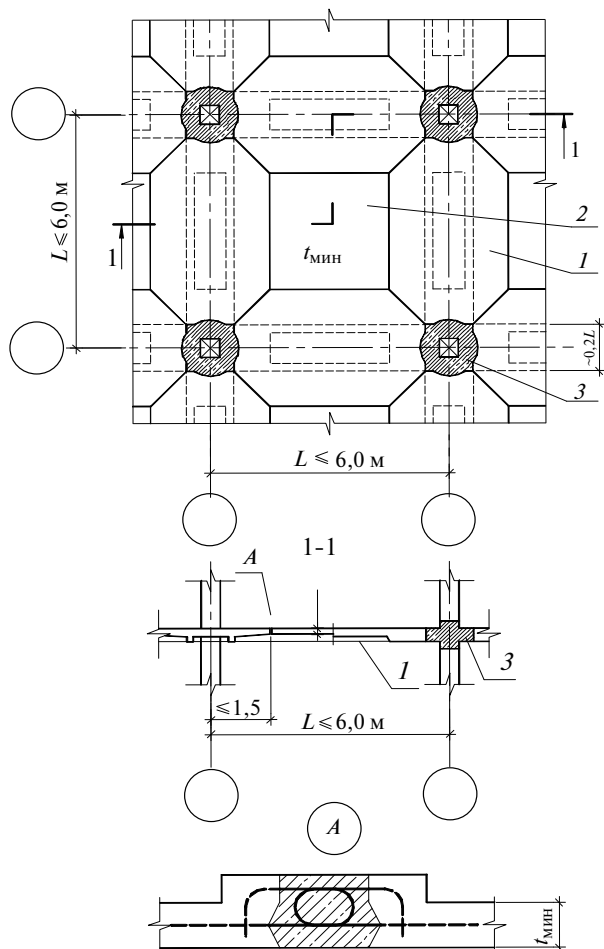


Рисунок 12 – Квадратная ячейка перекрытия с контурными ригелями.

Схема расположения конструкций при стороне ячейки до 6,0 м:

1 – контурный ригель; 2 – центральная плита; 3 – скрытая капитель

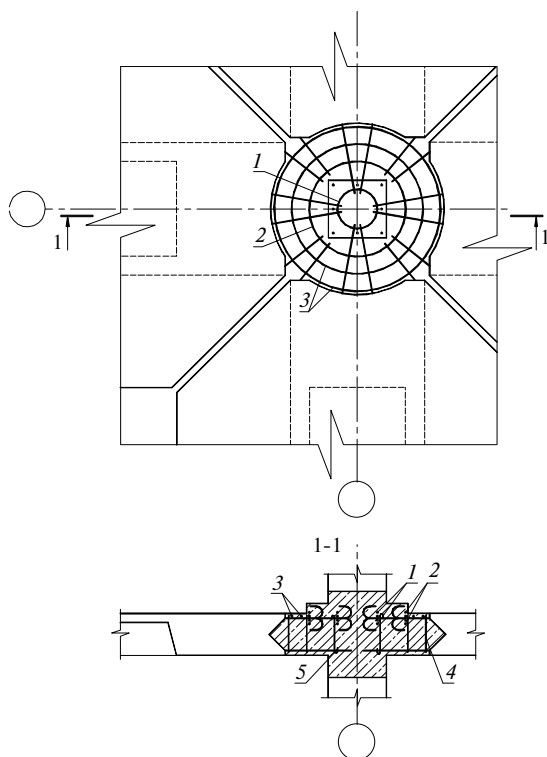


Рисунок 13 – Квадратная ячейка перекрытия с контурными ригелями.

Схема армирования скрытой капители: 1 и 2 – центральные и периферийные анкерные кольца; 3 – кольцевая арматура; 4 – поперечная арматура в составе сварной сетки; 5 – шпилька

Скрытая капитель обеспечивает жесткое сопряжение ригелей с колонной, она воспринимает все опорные усилия (M и Q) перекрытия, насыщена арматурой, поэтому выполняется монолитной, рисунок 13. Капитель армируется выпусками арматуры ригелей, где они стыкуются по оси колонны парой центральных 1 и парой периферийных 2 анкерных колец, расположенных друг над другом. Кроме того, скрытая капитель усиливается рабочей кольцевой арматурой 3.

Перечисленная арматура полностью воспринимает опорный изгибающий момент (M) перекрытия. Срезающее усилие Q воспринимается бетоном капители и ригелей совместно с поперечной арматурой 4.

После бетонирования капители и монтажных швов перекрытие приобретает все положительные качества монолитной плоской плиты перекрытия и обеспечивает рамную схему каркаса во всех направлениях.

Опытное проектирование ячейки плиты перекрытия размерами 6×6 м показало следующие технические характеристики [13]:

- приведенная толщина 120 мм;
- удельный расход арматуры 110 кг/м^3 ;
- средняя площадь отправочных марок $\frac{6 \times 6 \text{ м}^2}{3} = 12 \frac{\text{м}^2}{\text{шт}}$.

Схема варианта членения на отправочные элементы ячейки перекрытия размерами 12×12 м показана на рисунке 14. В этом случае появляется промежуточная плита 4. Все сборные плиты ребристые. Высота сечения продольных и поперечных ребер одинакова. Средняя площадь отправочных марок

$$\frac{12 \times 12 \text{ м}^2}{7} = 20,6 \frac{\text{м}^2}{\text{шт}}$$

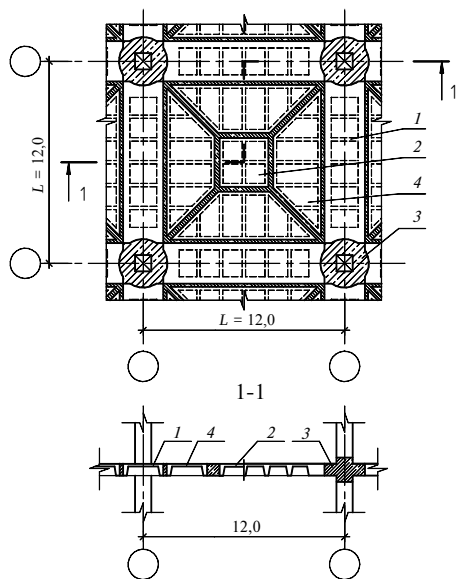


Рисунок 14 – Квадратная ячейка перекрытия с ригелями по контуру.

Схема расположения конструкций при стороне ячейки 12 м:

- 1 – контурный ригель; 2 – центральная плита; 3 – скрытая капитель;
4 – промежуточная плита

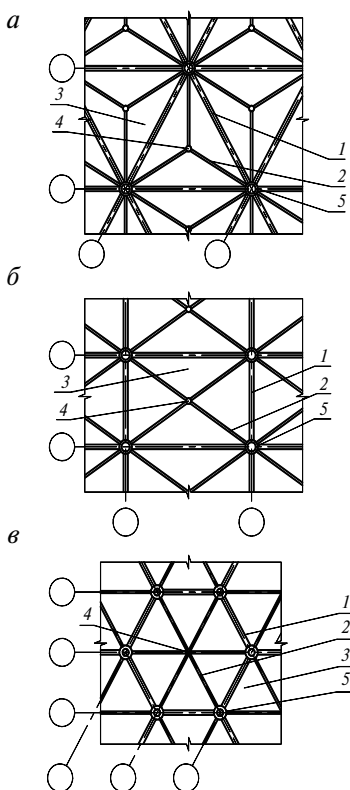


Рисунок 15 – Перекрытие с контурными и диагональными ригелями при: *а* – треугольных, *б* – прямоугольных, *в* – шестиугольных ячеекх.

Схема расположения конструкций:

- 1 – контурный ригель;
- 2 – диагональный ригель; 3 – плита;
- 4 – стык диагональных ригелей;
- 5 – скрытая капители

и ригелей на одном уровне), стыка диагональных ригелей – 5.

Конструктивное решение квадратной ячейки перекрытия размерами 6×6 м приведено на рисунке 16.

Ригели 1 и 2 опираются на колонны посредством скрытой капители 5 (нижние грани ригелей и скрытой капители располагаются на одной го-

При дальнейшем увеличении размеров ячейки перекрытия потребуется членение центральной плиты на более мелкие треугольные или квадратные участки.

1.2.3 Перекрытие с контурными и диагональными ригелями

Использование диагональных ригелей вместе с контурными обеспечивает двойной эффект. Во-первых, расчленяет плиту перекрытия на более мелкие участки, что обеспечивает минимальную расчетную толщину плиты по всей или на большей площади перекрытия. Во-вторых, участки треугольной формы имеют расчетный изгибающий момент (M) примерно на 10 % меньше, чем равнобедренные квадратные участки при одинаковых нагрузках [14].

Ячейки перекрытия, образованные сеткой колонн, могут быть треугольными, прямоугольными и шестиугольными, рисунок 15. Перекрытие состоит из контурных – 1 и диагональных – 2 ригелей, плиты – 3, скрытой капители – 4 (нижние грани капители

ризонгальной плоскости). Ригели представляют собой ребристую плиту с утолщениями по концам. Утолщения нужны для восприятия опорных усилий (M и Q), приходящихся на ригели. Кроме того, они формируют опалубку на вертикальных гранях скрытой капители.

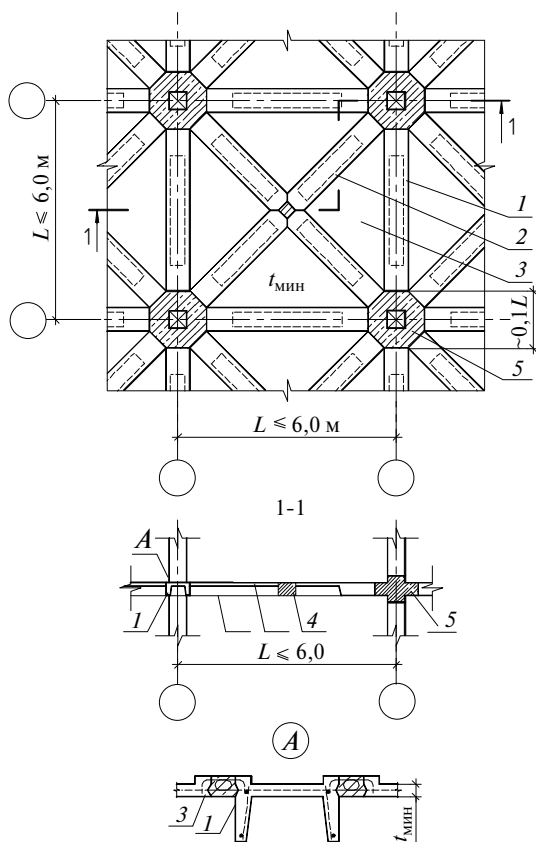


Рисунок 16 — Квадратная ячейка перекрытия с контурными и диагональными ригелями. Схема расположения конструкций при стороне ячейки до 6 м:

- 1 — контурный ригель; 2 — диагональный ригель; 3 — плита;
4 — стык диагональных ригелей; 5 — скрытая капитель

Скрытая капитель воспринимает все опорные усилия перекрытия (M и Q). Здесь концентрируется вся опорная арматура перекры-

тия, поэтому скрытая капитель выполняется монолитной, рисунок 17. Выпуски рабочей арматуры ригелей 1 и 2, примыкающих к скрытой капители по периметру, стыкуются друг с другом по оси колонны посредством пары центральных 3 и пары периферийных 4 анкерных колец. Дополнительно скрытая капитель усиливается рабочей кольцевой арматурой 5. Срезающие усилия (Q) воспринимаются бетоном скрытой капители и ригелей совместно с поперечной арматурой 6, которая приварена к продольной верхней и нижней арматуре ригелей.

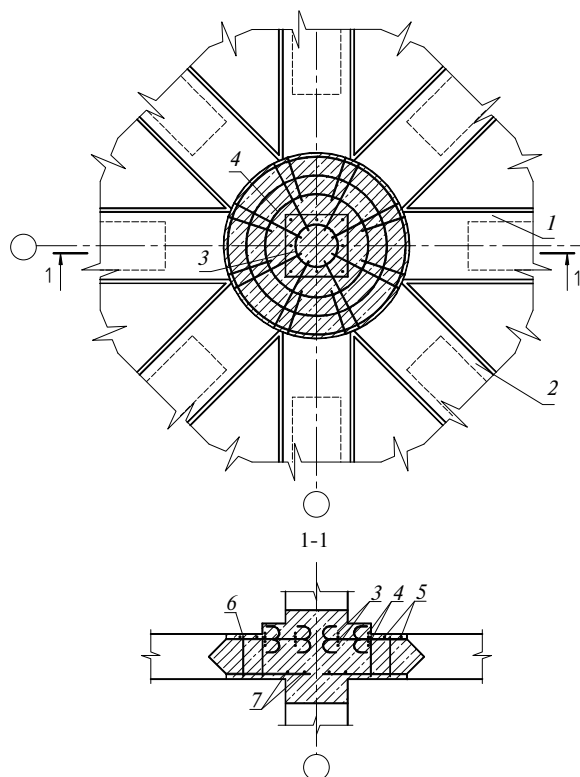


Рисунок 17 — Квадратная ячейка перекрытия с контурными и диагональными ригелями. Схема армирования капители при стороне ячейки 6 м: 1 — контурный ригель; 2 — диагональный ригель; 3 — центральные анкерные кольца; 4 — периферийные анкерные кольца; 5 — кольцевая арматура; 6 — поперечная арматура; 7 — кольцевая распределительная арматура

Плиты 3 перекрытия опираются на ригели 1 и 2 по узлу А на рисунке 16. При стороне квадратной ячейки перекрытия до 6 м габариты плит достаточно малы, чтобы расчетом обосновать минимальную их толщину (40 мм).

Узел пересечения диагональных ригелей приведен на рисунке 18. Возможны два варианта стыка рабочей арматуры половинок ригелей 2, а именно: посредством пары анкерных колец, расположенных на одном уровне (рисунок 18, а), и друг над другом (рисунок 18, б). В первом случае обеспечивается гладкий потолок в пределах стыка ригелей, но неизбежен эксцентриситет e между рабочей арматурой и анкерным кольцом. Во втором случае обеспечивается соосность рабочей арматуры и анкерных колец, но потребуются прилив бетона под стыком ригелей для размещения нижнего анкерного кольца и загнутых вниз концов стыкуемой рабочей арматуры.

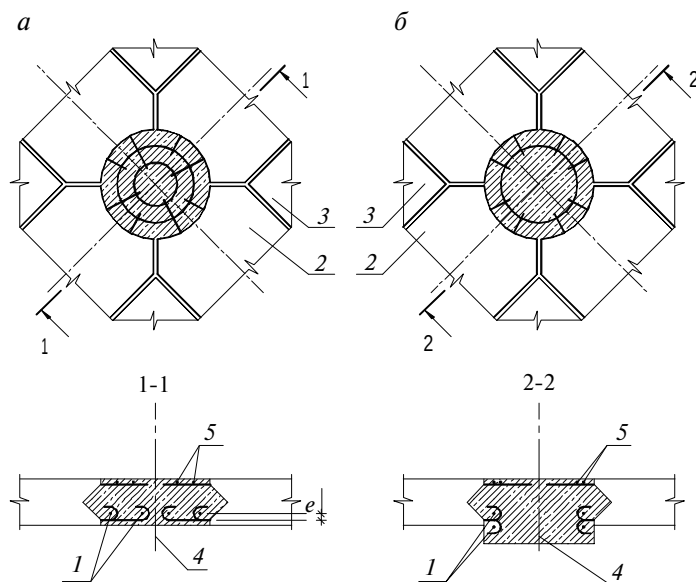


Рисунок 18 — Квадратная ячейка перекрытия стороной до 6 м с контурными и диагональными ригелями. Узел пересечения диагональных ригелей:

а и б — стык рабочей арматуры посредством пары анкерных колец, расположенных в одном уровне и друг над другом; 1 — анкерные кольца; 2 — диагональный ригель; 3 — плита; 4 — ось стыка и анкерных колец; 5 — кольцевая распределительная арматура

После бетонирования капители и монтажных стыков перекрытие приобретает все положительные качества монолитных плоских плит перекрытия.

Опытное проектирование показало следующие технико-экономические характеристики перекрытия при размере квадратной ячейки перекрытия 6×6 м [15]:

— приведенная толщина 100 мм;

— удельный расход арматуры $100 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$;

— средняя площадь отправочных марок $\frac{6 \times 6 \text{ м}^2}{10 \text{ шт}} = 3,6 \frac{\text{м}^2}{\text{шт}}$.

В случае увеличения размеров ячейки перекрытия более 6×6 м появится надобность в дополнительных второстепенных балках для уменьшения размеров плит до транспортабельных габаритов.

1.2.4 Перекрытие из сборных панелей, очерченных по форме грузовой площади ригелей

Схема расположения ребристых панелей перекрытия на ячейке размерами 6×6 м приведена на рисунке 19. Перекрытие состоит из контурных 1 и диагональных 2 ребристых панелей. Диагональные ребристые панели соединяются друг с другом в узле 3, расположенном в центре ячейки перекрытия. Ребристые панели 1 и 2 опираются на колонны посредством скрытой капители 4 [16].

Конструкция перекрытия аналогична перекрытию, состоящему из контурных и диагональных ригелей и плит (см. раздел 1.2.2). Отличие заключается в том, что в состав ребристых панелей рассматриваемого перекрытия входят участки плит, повторяющих форму грузовой площади ригелей. Эффект такого членения перекрытия на отправочные элементы по сравнению с перекрытием рисунка 16 заключается в следующем:

— монтажные стыки плит ребристых панелей располагаются в сечениях с минимальным значением изгибаемого момента и практически нулевой поперечной силой, что облегчает устройство стыка и повышает его надежность;

— укрупняются отправочные марки (ребристые панели), число которых снижается до 6 вместо 10 (рисунок 16), а средняя площадь отправочной марки составляет $\frac{6 \times 6 \text{ м}^2}{6 \text{ шт}} = 6 \frac{\text{м}^2}{\text{шт}}$ вместо $3,6 \frac{\text{м}^2}{\text{шт}}$;

— создаются предпосылки для увеличения размеров ячейки перекрытия без кардинальных изменений конструкции.

Технические показатели перекрытия с ячейками 6×6 м следующие [30]:

- приведенная толщина 90 мм;
- удельный расход арматуры $100 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$;
- средняя площадь отправочных марок $\frac{6 \times 6 \text{ м}^2}{6 \text{ шт}} = 6 \frac{\text{м}^2}{\text{шт}}$.

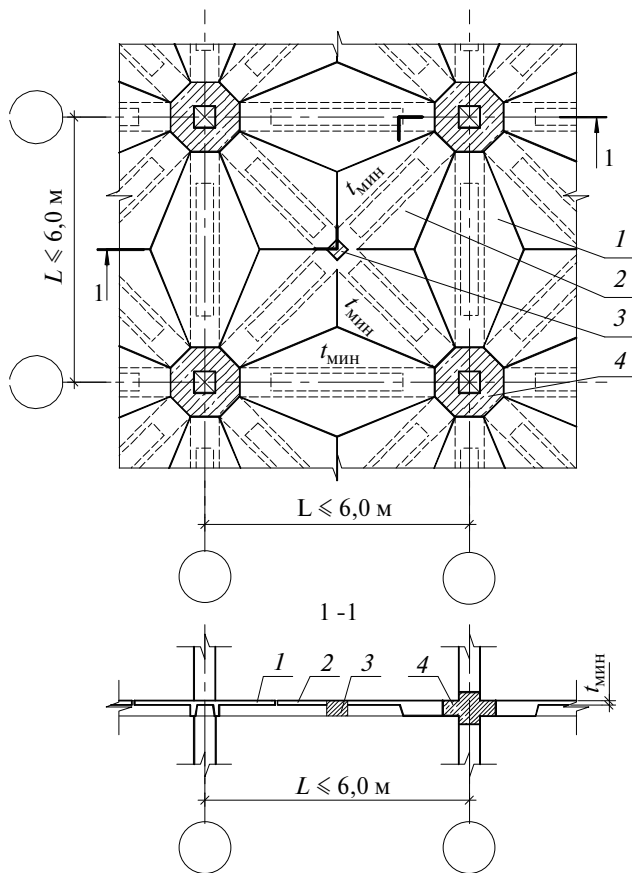


Рисунок 19 – Перекрытие из сборных ребристых панелей, очерченных по форме грузовой площади ригелей. Схема расположения конструкций квадратной ячейки перекрытия размерами 6×6 м: 1 и 2 – контурная и диагональная ребристые панели; 3 – стык диагональных ребристых панелей; 4 – скрытая капитель

На рисунке 20 приведена схема расположения конструкций ячейки перекрытия размерами $13,5 \times 13,5$ м, при которых обеспечивается транспортная ширина отправочных марок не более 3 м. В этом случае появляется дополнительная треугольная плита 5 в середине треугольников, образованных контурными 1 и диагональными 2 ребристыми панелями. При дальнейшем увеличении размеров ячейки перекрытия потребуются членение треугольной плиты 5 на несколько треугольных участков.

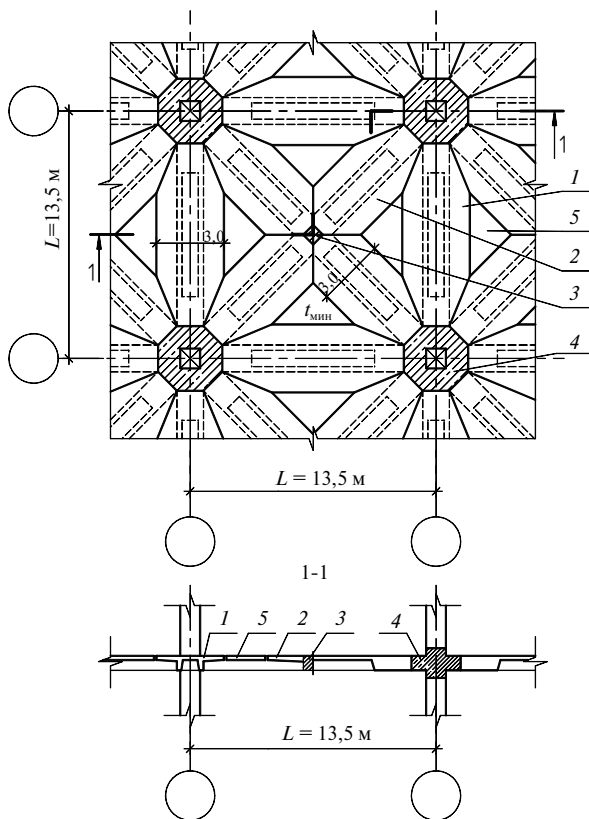


Рисунок 20 – Перекрытие из сборных ребристых панелей, очерченных по форме грузовой площади ригелей. Схема расположения конструкций квадратной ячейки перекрытия размерами $13,5 \times 13,5$ м:
 1 и 2 – контурная и диагональная ребристые панели; 3 – стык диагональных ребристых панелей; 4 – скрытая капитель;
 5 – дополнительная треугольная плита

1.2.5 Стык сборных железобетонных колонн

Известные и апробированные на практике монтажные стыки сборных железобетонных колонн не в полной мере удовлетворяет строителей в отношении простоты и надежности [17].

Предложенная здесь принципиально новая конструкция стыка сборных железобетонных колонн позволит исключить некоторые недостатки известных стыков. Конструкция стыка основана на использовании высокой прочности тонкого слоя цементного раствора между жесткими штампами, которая достигает 1000 МПа и более, что превышает прочность стали. Это значение прочности тонкого слоя цементного раствора подтверждено лабораторными испытаниями в УралНИИпроект РААСН и использовано в бессварном контактном стыке сборных железобетонных колонн на ряде многоэтажных зданий г. Екатеринбурга. В этом стыке усилие передается с торца на торец арматурного стержня через тонкий слой цементного раствора. Стык отличается простотой и экономичностью, но колонны изготавливаются и монтируются по жестким допускам.

Предлагаемый стык представлен на рисунке 21. Рабочая арматура верхней и нижней колонн на некотором удалении от стыка загибается внутрь колонны, а у стыка разгибается обратно, образуя пучки. Необходимое по расчету поперечное сечение пучков формируется добавлением отдельных стержней 3 и пластины 4. Стержни в пучках скрепляются друг с другом сваркой. Торцы пучков фрезеруются [18]. В местах загиба арматуры внутрь колонны устанавливаются силовые хомуты 2, которые воспринимают горизонтальную составляющую усилия в стержне арматуры в месте загиба. Толщина слоя цементного раствора между торцами пучков регулируется (определяется) прокладкой 5 из малоуглеродистой стали, прикрепленной к центральному стержню одного из пучков (верхнего или нижнего). Цементный раствор вводится в пазухи стыка методом инъецирования через отверстия в опалубке 6 после выверки и закрепления колонны кондукторами. Стык универсален, т. е. обеспечивает соединение колонн разных поперечных сечений как по форме, так и по размерам и армированию.

По расчетной схеме стык — маломоментный, (рисунок 21, *а, б*) или шарнирный, рисунок 21, *в*. Во втором случае пазухи стыка заполняются цементным раствором с помощью шприца, пучок оборачивается резиновым жгутом 7, щели между торцами колонн заполняются нетвердеющей мастикой 8.

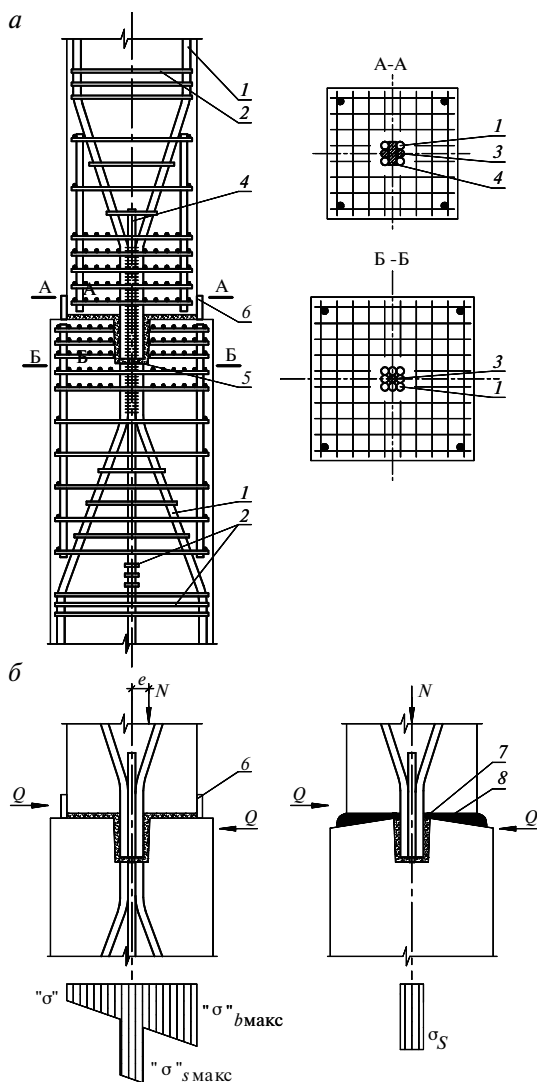


Рисунок 21 – Стык сборных железобетонных колонн – а; расчетные схемы маломоментного – б и безмоментного (шарнирного) – в стыков:
 1 – рабочая арматура; 2 – силовые хомуты; 3 и 4 – дополнительные стержни и пластина; 5 – прокладка; 6 – опалубка с отверстиями для инъектирования цементного раствора; 7 – резиновый жгут; 8 – мастика нетвердеющая

2 СТАЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ

2.1 Бункера

Стальные бункера проектируют как плоские системы [19], что противоречит главе СНиП [20], в которой требуется учитывать пространственную работу бункеров.

Здесь приводятся конструктивные решения реализующих расчет бункеров как пространственных систем. При этом обеспечивается технический и экономический эффект: экономится более 20 % стали при одновременном повышении надежности бункеров, так как сталь в элементах бункеров распределяется в соответствии с их нагруженностью.

2.1.1 Пирамидально-призматический бункер

Призматическая часть бункера призвана обеспечить требуемый объем сыпучего материала, а пирамидальная часть — воронка — разгрузку бункера за счет гравитационного истечения сыпучего материала.

При традиционном расчете бункера по плоской схеме стенки призматической части используются в качестве бункерных балок, т. е. они воспринимают нагрузки, действующие в вертикальном направлении.

При расчете бункера как пространственной системы вертикальные нагрузки воспринимает воронка, а стенки призматической части выполняют роль ограждения, воспринимая только горизонтальное давление сыпучего материала.

Такая переориентация несущих функций с призматической части на воронку бункера реализует возможность расчета бункера по пространственной схеме. Опорные элементы бункера могут располагаться на разной высоте как ребер, так и стенок воронки, а расчет сводится к обоснованию параметров местного ступенчатого утолщения стенок воронки по мере приближения к опорному элементу, т. е. опорной зоны бункера, рисунок 22.

Конструкция опорных элементов бункера разнообразна: опорная часть балки, уголок, швеллер, труба и т. д.

Расчет бункера выполняется в два этапа: сначала ручным приближенным расчетом определяются параметры опорной зоны бункера (местного усиления $t_1 > t_2 > t_3$), затем расчетом на ЭВМ уточняются и корректируются результаты приближенного расчета (при необходимости).

Обнаружена ранее неизвестная сила — диагональный распор F в воронке бункера, несимметричный относительно обеих осей в плане. Диагональный распор воспринимается сыпучим материалом и стенками воронки, т. е. внутренне уравновешен, величина его невелика, поэтому распор мало влияет на результаты конструктивного расчета бункера.

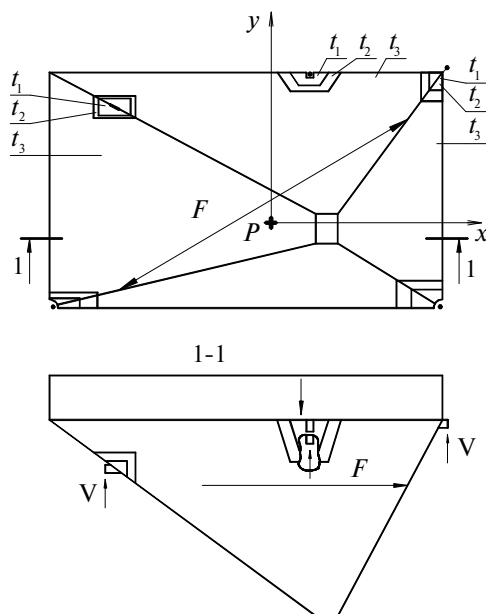


Рисунок 22 — Схема расположения усилий и элементов пирамидально-призматического бункера несимметрично относительно обеих осей: $t_1 > t_2 > t_3$ — ступенчатое увеличение толщины стенок воронки бункера в опорной зоне; P и $\bullet$ — вес бункера и его след на плане; V и $\bullet$ — опорная реакция и ее след на плане; F — равнодействующая диагонального распора

2.1.2 Конусно-цилиндрический (круглый) бункер

Конусно-цилиндрический бункер является одной из наиболее экономичных емкостей.

Назначение частей конусно-цилиндрического бункера такое же, как у пирамидально-призматического: цилиндрическая часть обе-

спечивает необходимую емкость бункера, а коническая – гравитационную разгрузку бункера.

При традиционном расчете бункера по плоской схеме вертикальные нагрузки воспринимаются цилиндрической частью бункера [19].

В предлагаемой конструкции бункера несущие функции выполняет коническая воронка [21], чем обеспечивается расчет по пространственной схеме так же, как и пирамидально-призматического бункера (раздел 2.1.1). Этим обеспечивается выполнение предписания главы СНиП [20].

Расчет воронки на вертикальные нагрузки сводится к обоснованию усиления опорной зоны [22] $t_1 > t_2 > t_3$ в два этапа, ручным, приближенно с корректировкой расчетом на ЭВМ. При этом горизонтальная составляющая H опорной реакции V частично или полностью воспринимается отпором сыпучего (жесткого) материала H' , рисунок 23.

2.1.3 Гибкий бункер

Гибкий бункер является самой экономичной емкостью, но это качество бункера проявляется в полной мере при большой емкости. Бункер представляет собой цилиндрическую оболочку, свободно подвешенную к раме каркаса. Габариты его достигают следующих ре-

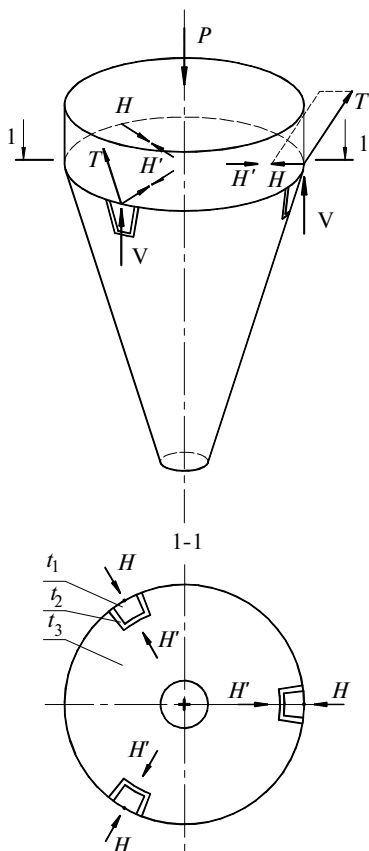


Рисунок 23 – Схема расположения усилий и элементов конусно-цилиндрического бункера: T и H – скатная и горизонтальная составляющие опорной реакции V бункера; H' – отпор сыпучего материала; $t_1 > t_2 > t_3$ – ступенчатое увеличение толщины стенок воронки бункера в опорной зоне: P и + вес бункера и его след на плане

ализованных размеров: пролет $b = 18$ м; стрела подъема $f = 13,5$ м и длина $L = 540$ м. Плотность руды — $2,5$ т / м^3 .

При традиционном расчете по плоской схеме оболочка бункера подвешивается к специальным бункерным балкам, которые воспринимают всю нагрузку от веса бункера [19]. Это противоречит предписанию главы СНиП [20].

При расчете по пространственной схеме оболочка бункера подвешивается непосредственно к раме каркаса и выполняет функции бункерных балок. Расчет сводится к обоснованию утолщений оболочки в опорной зоне $t_1 > t_2 > t_3$, а также элементов узла сопряжения с каркасом здания, рисунок 24 [23].

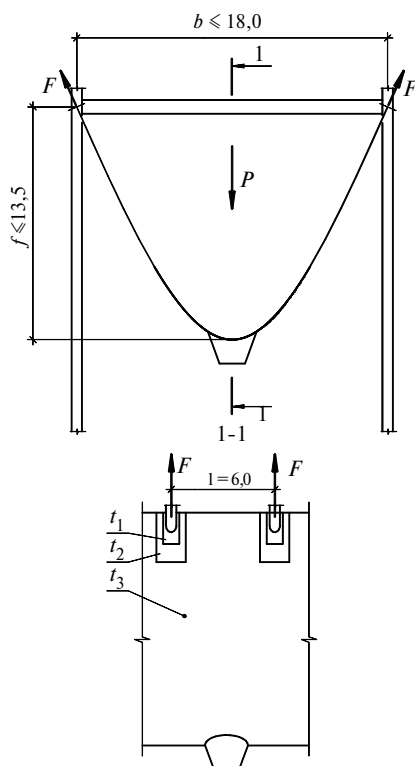


Рисунок 24 – Схема гибкого бункера, рассчитываемого по пространственной схеме: P – вес бункера; F – опорная реакция бункера; $t_1 > t_2 > t_3$ – ступенчатое увеличение толщины оболочки бункера в опорной зоне

2.2 Фланцевый стык растянутых элементов

Стык относится к разряду монтажных соединений, например нижних поясов стропильных ферм. Предлагаемый стык отличается от традиционного стыка на фланцах тем, что фланцы расположены наклонно под углом α к оси соединяемых элементов [24]. Фланцы 2 приварены к скошенным концам соединяемых элементов 1. Каждый фланец имеет отверстие 3 и упор 4, рисунок 25. Причем упор изготовлен из заготовки, вырезанной из фланца для образования отверстия.

На рисунке 25, *а* изображен собранный монтажный стык стропильной фермы, вид сверху, на рисунке 25, *б* — сечение по оси стыка, на рисунке 25, *в* — разомкнутый стык и расчетная схема стыка.

В собранном виде каждый упор фланца входит в отверстие смежного фланца и вступает в контакт с кромкой отверстия смежного фланца.

Стык работает следующим образом. Внешняя сила N в центре 5 стыка раскладывается на скатную N_B и нормальную N_H составляющие. Нормальная составляющая, действующая поперек фланца, частью воспринимается силами трения на контактных поверхностях упоров и кромок отверстия фланцев, а остальная часть стяжными болтами 6.

Скатная составляющая, действующая вдоль фланца, воспринимается упором и фланцем поровну. Такое распределение скатной составляющей внешнего усилия обусловлено тем, что упоры смежных фланцев не взаимодействуют друг с другом, а только с кромками отверстий смежных фланцев.

Альтернативой сварному фланцу из прокатного листа является литой стальной фланец, рисунок 26. Литой фланец отличается от сварного: отсутствуют сварочные работы при изготовлении фланца; вместо сквозного отверстия для размещения упора смежного фланца выполнено местное углубление в теле фланца; сечение фланца по длине переменное. Эти отличия делают литой фланец более надежным, универсальным и экономичным.

Стык со сварными фланцами реализован, в качестве монтажного стыка нижнего пояса стропильных ферм на одном из объектов г. Екатеринбурга.

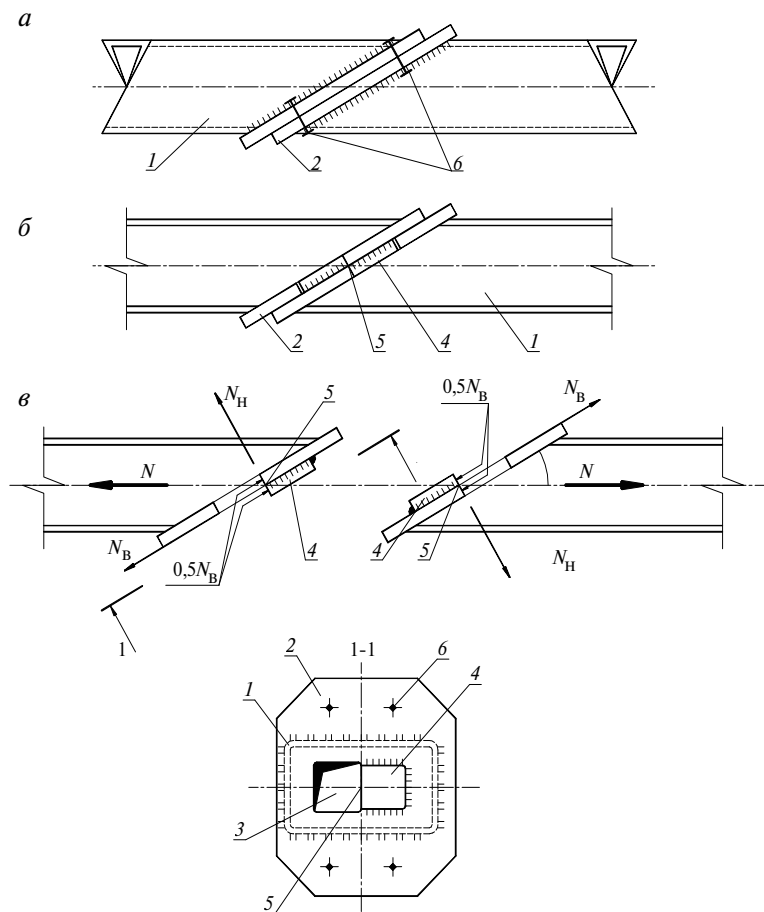


Рисунок 25 — Стык нижнего пояса стропильной фермы со сварными фланцами из прокатного листа: *а* — вид сверху; *б* — сечение по оси стыка; *в* — разомкнутый стык и расчетная схема стыка: 1 — соединяемые элементы; 2 — фланец; 3 — отверстие во фланце; 4 — упор; 5 — центр стыка; 6 — стяжной болт

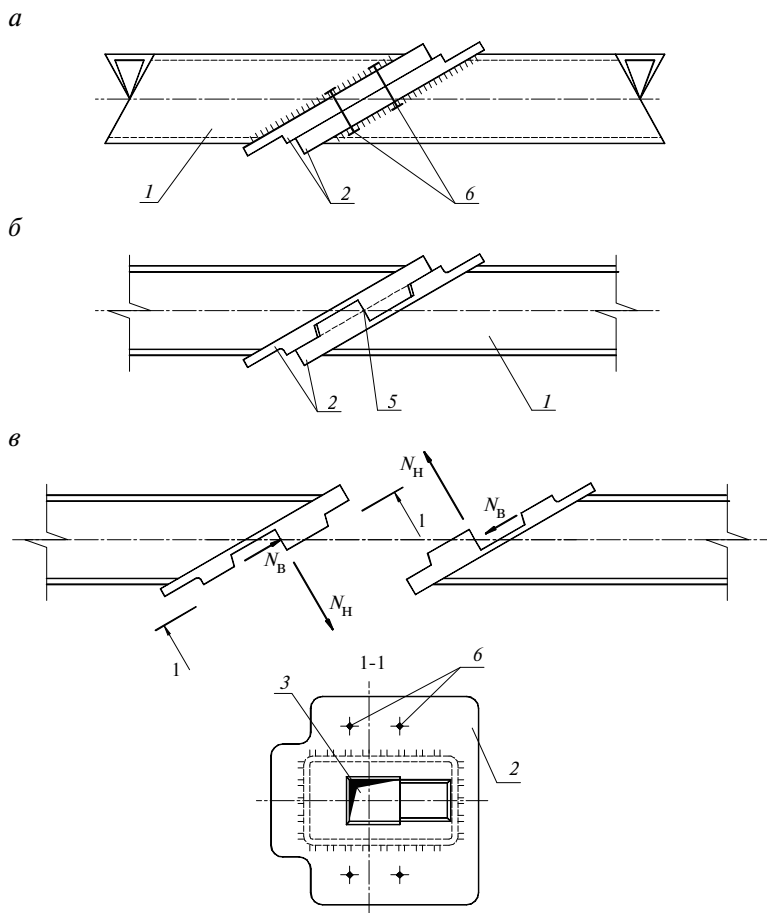


Рисунок 26 – Стык нижнего пояса стропильной фермы с фланцами из стального литья: *а* – вид сверху; *б* – сечение по оси стыка; *в* – разомкнутый стык и расчетная схема стыка: 1 – соединяемые элементы; 2 – фланец; 3 – углубление для размещения упора смежного фланца; 5 – центр стыка; 6 – стяжной болт

2.3 Крепление опорного ребра к стенке балки

Опорное ребро к стенке балки крепят сварными швами. Они относятся к разряду фланговых швов, у которых нормами ограничена расчетная длина. Исходя из этого положения рассчитывается ка-

тет сварного шва со стороны приложения опорной реакции балки. Расчетный катет шва продлевается за пределами расчетной длины на всю высоту стенки [26]. Эта часть сварного шва оказывается конструктивной, но она требует определенных затрат (электроды и электроэнергия).

Катет шва рекомендуется ступенчато увеличивать сверху вниз по мере приближения к опорному торцу ребра, куда приложена опорная реакция, рисунок 27. Изменение величины катета шва обеспечивается количеством проходов наложения шва. При этом объем наплавленного металла может быть снижен на 33 % по сравнению с традиционным расчетом. Эффект достигается за счет рационального распределения наплавленного металла, т. е. без ущерба прочности соединения [27].

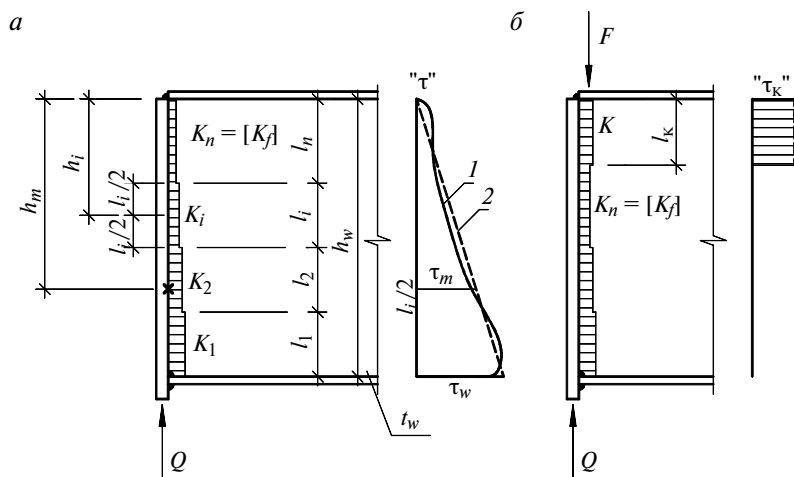


Рисунок 27 – Крепление опорного ребра к стенке балки сварными швами переменного катета: а – при отсутствии и б – наличии сосредоточенной силы F , приложенной к верху балки у опорного ребра:

1 и 2 – теоретическая и расчетная эпюры напряжений условного среза

2.4 Болтовое соединение стенок балки в монтажном стыке

Традиционное соединение выполняется на двойных накладках. Болты располагаются равномерно по высоте в два и более вертикальных ряда. Распределение усилий в болтах от изгибающего момента

в стенке балки принято по треугольнику в соответствии с гипотезой плоских сечений. При таком соединении стенок балки болты, расположенные в средней зоне высоты балки, существенно недогружены и выполняют в основном функции скрепления пакета листов [26].

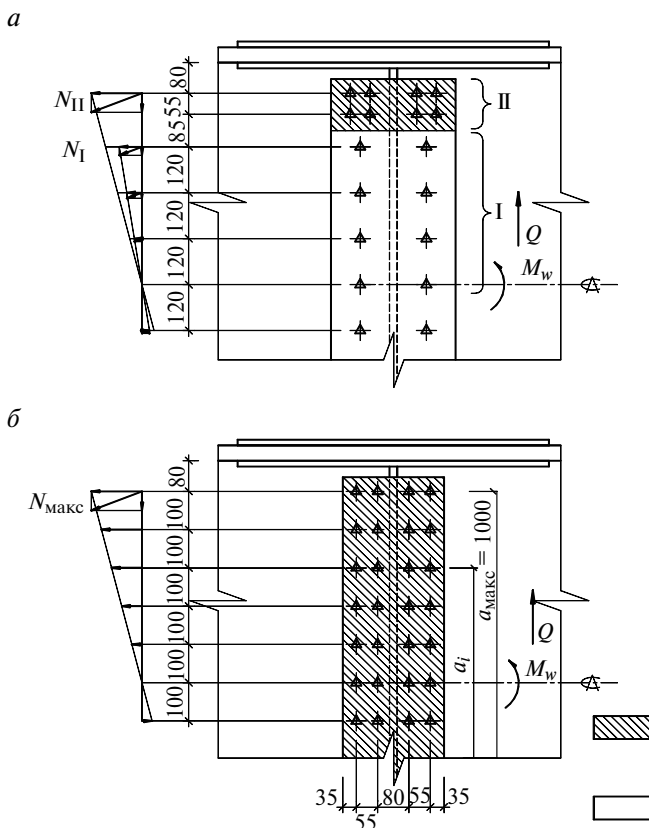


Рисунок 28 – Соединение стенок балки в монтажном стыке:
 а – предлагаемая конструкция соединения; б – традиционная конструкция соединения;

- I, II – группы болтов по несущей способности;
-  – ось балки, линия симметрии соединения;
-  – газопламенная обработка контактных поверхностей пластин;
-  – контактные поверхности без обработки

Отсюда логичен вывод о возможности разрежения болтов в средней зоне высоты стенки.

Можно использовать несколько групп болтов по несущей способности, располагая менее прочные болты в средней зоне стенки балки, а более прочные — в верхней и нижней зонах. В этом случае усилия в болтах от изгибающего момента в стенке тоже распределяются в соответствии с гипотезой плоских сечений, но в каждой группе болтов по собственному треугольнику.

Несущую способность болтов можно регулировать за счет класса прочности и диаметра болтов, а также за счет чистоты обработки контактных поверхностей во фрикционных соединениях.

Болты в средней зоне стенки балки располагают в один ряд и с максимальным шагом, а болты в верхней и нижней зонах — в два и более ряда с минимальным шагом, определяемой главой СНиП [25].

На рисунке 28 приведены результаты расчета конкретного примера, в котором несущая способность болтов в верхней и нижней зонах увеличена за счет повышенной чистоты обработки контактных поверхностей элементов стыка. В данном конкретном случае число высокопрочных болтов в монтажном стыке стенок балки уменьшилось в 1,5 раза [27]. Кроме того, в несколько раз уменьшается площадь обрабатываемых контактных поверхностей.

2.5 Шарнирно-консольные балки

Шарнирно-консольные балки совмещают в себе достоинства как разрезных, так и неразрезных балок, но используются в практике проектирования и строительства сравнительно мало [28]. Эффективность шарнирно-консольных балок зависит от вылета консоли и соотношения временных и постоянных нагрузок. В самом благоприятном случае расчетный изгибающий момент в шарнирно-консольной балке может быть снижен в два раза по сравнению с балочным изгибающим моментом (балочный изгибающий момент — изгибающий момент в разрезной балке).

Исследованиями нескольких схем шарнирно-консольных балок получены аналитические выражения оптимального вылета консоли по двум критериям [29]:

- равенства пролетного и опорного изгибающих моментов;
- минимума силовой массы.

Две наиболее распространенные схемы консольных балок приведены на рисунке 29.

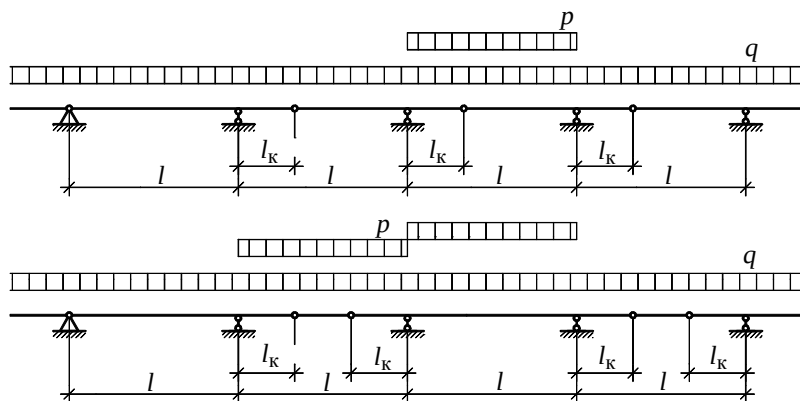


Рисунок 29 – Схемы шарнирно-консольных балок:
 q и p – постоянная и временная нагрузки

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Потапов Ю. В., Васильев В. П., Васильев А. В., Федоров И. В. Железобетонные перекрытия с плитой, опертой по контуру // Промышленное и гражданское строительство, 2009. — С. 40–41.
2. Ягофаров Х., Ягофаров А. Х. Безбалочное перекрытие. Патент на изобретение № 2309228. Опубликовано: 27.10.2007. Бюл. № 30.
3. Ягофаров Х., Ягофаров А. Х. Железобетонные конструкции. Проектирование плоской плиты перекрытия. — Екатеринбург: — Екатеринбург, УрГУПС. 2007.
4. Ягофаров Х., Ягофаров А. Х. Безбалочное перекрытие. Патент на изобретение № 2362856. Опубликовано: 27.07.2009. Бюл. № 21.
5. Ягофаров Х., Ягофаров А. Х. Стык арматуры перекрытия. Патент на изобретение № 2460085. Опубликовано: 10.09.2012. Бюл. № 25.
6. Семченков А. С. Обоснование регионально-адаптируемой индустриальной универсальной строительной системы «РАДИУСС» // Бетон и железобетон. — 2008. — № 4. — С. 2–6.
7. Гуров Е. П. Анализ и предложения по конструктивной надежности и безопасности сборно-монолитных перекрытий в каркасе серии Б1.020.1-7 (в системе «Аркас») // Бетон и железобетон. — 2012. — № 5. — С. 16–18.
8. Семченков А. С., Демидов А. Р., Соколов Е. С. Испытания фрагментов плита-ригель сборно-монолитного перекрытия каркаса «РАДИУСС» // Бетон и железобетон. — 2008. — № 5. — С. 2–4.
9. Семченков А. С., Хавкин А. К., Соколов Б. С. Испытание натурального фрагмента каркаса «РАДИУСС» с применением круглопустотных плит // Бетон и железобетон. — 2008. — № 6. — С. 2–5.
10. Солоченков А. С. Испытание натурального фрагмента каркаса «РАДИУСС НПУ» с плитами сплошного сечения // Бетон и железобетон. — 2009. — № 1. — С. 2–5.
11. СП 63.13330.2012. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003 // Минрегион России. — М.: 2012. .
12. Ягофаров Х., Ягофаров А. Х. Сборно-монолитное перекрытие. Патент на изобретение № 2414566. Опубликовано: 20. 03.2011. Бюл. № 8.

13. Ягофаров Х., Ягофаров А. Х. Железобетонные конструкции. Проектирование сборно-монолитного перекрытия. — Екатеринбург: УрГУПС, 2010.
14. Ягофаров Х., Ягофаров А. Х. Сборно-монолитное ребристое перекрытие. Заявка на изобретение № 2011117781/07 (026349) от 03.05.2011. Опубликовано 10.11.2012. Бюл. № 31, 2011.
15. Ягофаров А. Х., Ягофаров Х., Еремина М. П. Проектирование сборно-монолитного перекрытия из балок и плит. — Екатеринбург: УрГУПС, 2011.
16. Заявка на изобретение № 2011144704/03 (067038) от 03.11.2011.
17. Ишмуратов В. М., Эпп А. Я. Опыт возведения многоэтажных зданий со сборными колоннами / Новый уральский строитель. — 2007. — № 01. — С. 41–44.
18. Ягофаров Х., Ягофаров А. Х. Стык сборных железобетонных колонн. Патент на изобретение № 2393303. Опубликовано 27.06.2010. Бюл. № 18.
19. Металлические конструкции. В 3 т. Т. 2. Стальные конструкции зданий и сооружений (Справочник проектировщика) / Под общ. ред. В. В. Кузнецова. — М.: Изд-во АСВ, 1998.
20. СНиП 2.09.03-85. Сооружения промышленных предприятий Госстрой России. — М.: ГУП ЦПП, 2002.
21. Ягофаров А. Х. Стальной круглый бункер для сыпучих и кусковых материалов. Патент на изобретение № 2219320. Опубликовано 20.12.2003. Бюл. № 35.
22. Ягофаров А. Х., Ягофаров Х. Листовые металлические конструкции. Проектирование круглого бункера. Екатеринбург: УрГУПС, 2007.
23. Ягофаров Х., Караев А. А., Бирюков В. В., Миловидов В. Е., Захаров Н. Н. Узловое соединение стенки гибкого бункера с каркасом. Авт. свид. на изобретение. № 1244266. Опубликовано 15.07.86. Бюл. № 26.
24. Ягофаров Х., Котов В. Я. Стыковое соединение растянутых элементов. Авторское свидетельство на изобретение № 887748. Опубликовано 07.12.81. Бюл. № 45.
25. СП 16.13330.2011. Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81* / Минрегион России. — М. 2011.
26. Металлические конструкции: учеб. для студентов высших учебных заведений; под ред. Ю. И. Кудишина. — 9-е изд., стер. — М.: Академия, 2007.

27. Ягофаров Х., Ягофаров А. Х. Металлические конструкции. Проектирование узлов главной балки. — Екатеринбург: УрГУПС, 2008.
28. Справочник проектировщика промышленных, жилых и общественных зданий и сооружений. — В 2 кн. Кн. 1. — М., Стройиздат, 1972.
29. Ягофаров Х., Ягофаров А. Х., Разумов А. Б. Оптимизация консольно-балочных систем. // УрГУПС. —2011, № 1 (9) — С. 42—65.
30. Ягофаров А. Х., Ягофаров Х. Х., Лозинский К. Г. Проектирование сборно-монолитного перекрытия из ребристых панелей. — Екатеринбург: УрГУПС, 2013.