

II
Пассажирские монорельсовые дороги
II

В. В. ЧИРКИН • О. С. ПЕТРЕНКО • А. С. МИХАЙЛОВ • Ю. М. ГАЛОНЕН

Пассажирские монорельсовые дороги



**В. В. ЧИРКИН, О. С. ПЕТРЕНКО,
А. С. МИХАЙЛОВ, Ю. М. ГАЛОНЕН**

ПАССАЖИРСКИЕ МОНОРЕЛЬСОВЫЕ ДОРОГИ

*Под общей редакцией
д-ра техн. наук проф. А. П. МИХЕЕВА*



**ИЗДАТЕЛЬСТВО «МАШИНОСТРОЕНИЕ»
Москва 1969**

Пассажирские монорельсовые дороги. В. В. Чиркин, О. С. Петренко, А. С. Михайлов, Ю. М. Галонен, М., «Машиностроение», 1969, стр. 240.

В книге приводятся основные сведения об устройстве и особенностях эксплуатации монорельсовых дорог. Анализируются наиболее характерные трудности, возникающие при решении вопросов, связанных с транспортом в современных крупных промышленных центрах, освоении районов с неблагоприятными климатическими условиями и изыскании транспортных средств для непосредственной связи между центрами крупных городов, городов с аэропортами, зонами массового отдыха и т. п. Рассматриваются вопросы выбора основных параметров и определения технических характеристик подвижного состава и неподвижных устройств монорельсовых дорог. Анализируются конструктивные особенности устройства ходовых частей, систем подвешивания и стабилизации подвижного состава действующих и спроектированных монорельсовых дорог.

Проводится сравнение технико-экономических показателей монорельсовых дорог и других видов транспорта и даются рекомендации по выбору рациональных областей применения монорельсового транспорта.

Книга рассчитана на широкий круг инженерно-технических и научных работников городского, промышленного и других видов транспорта, а также работников, занятых в транспортном машиностроении. Табл. 30, илл. 131, библи. назв. 16.

Рецензент канд. техн. наук **Е. А. Ратнер**

3-18-4

180-69

КОЛЛЕКТИВ АВТОРОВ

ПАССАЖИРСКИЕ МОНОРЕЛЬСОВЫЕ ДОРОГИ

Редактор издательства *Л. И. Егоркина*

Технический редактор *В. Д. Элькин*

Корректор *Г. И. Сурова*

Переплет художника *В. Б. Торгашова*

Сдано в производство 25/IV 1968 г.

Подписано к печати 14/I 1969 г.

T-00405 Тираж 2000 экз. Печ. л. 15,0 Бум. л. 7,5 Уч.-изд. л. 16,0

Формат 60 × 90^{1/16}. Цена **86** а. Зак. № 2166

Издательство «МАШИНОСТРОЕНИЕ», Москва, Б-66, 1-й Басманный пер., 3

Ленинградская типография № 6 Главполиграфпрома
Комитета по печати при Совете Министров СССР
Ленинград, ул. Моисеенко, 10

ПРЕДИСЛОВИЕ

В современных условиях при выборе типа транспорта наряду с уже известными средствами сообщения должны быть всесторонне исследованы возможности использования новых видов транспорта. В первую очередь это относится к монорельсовым дорогам, которые хотя и являются давно известным видом транспорта, но в последние годы получили новое развитие на современной научной и технической основе.

В настоящее время совершенствование и развитие отдельных видов транспорта в ряде случаев затрудняет комплексное решение транспортной проблемы. Так, широкое развитие автомобильного транспорта в условиях непрерывного роста населения городов привело к такому насыщению улиц автомобилями, что, например, в Париже средняя скорость автобусов в часы максимального движения (в так называемые часы пик) равна всего 9 км/ч (а часто падает до $4\text{—}5 \text{ км/ч}$), что менее той скорости, с которой двигались конки в начале XX в. В противоположность этому совершенствование авиации привело к такому увеличению скоростей движения, что перелет из Москвы в Ленинград длится менее часа. Поэтому в обычных условиях, когда аэропорты отстоят от центра города на $25\text{—}30 \text{ км}$, на преодоление расстояния между городами часто приходится затрачивать меньше времени, чем на поездку к аэропортам в конечных пунктах. Это одно из наиболее ярких проявлений несоответствия в развитии отдельных видов транспорта.

Выход из создавшегося положения может быть найден только в увеличении скоростей движения общественного транспорта в городах и пригородах, что в отдельных случаях связано с большими трудностями. В процессе роста городов наступает такой период, когда становится затруднительным освоение возникающих пассажиропотоков с помощью обычных средств уличного транспорта — трамваев, автобусов и троллейбусов. Обычно считают, что при населении города 1 млн. человек в нем необходимо создание внеуличного транспорта (подземного или надземного), так как только в этом случае можно добиться значительного увеличения средних скоростей движения. Практически такая необходимость часто выявляется и при меньшем населении городов.

Под подземным транспортом в настоящее время понимают обычно метрополитен (иногда подземный трамвай), а под надземным транспортом — монорельсовые и другие эстакадные дороги.

Другим фактором, обуславливающим необходимость увеличения скоростей движения, является тенденция роста площадей, занимаемых городами, и создания крупных массивов на их окраинах. В этих условиях пункты жительства и работы трудящихся крупных городов часто отстоят на 20—40 км друг от друга.

Вследствие интенсивного развития химической промышленности создаются химические комбинаты, которые обычно из-за повышенной вредности строятся на расстоянии 20—50 км от жилых массивов городов. Скорость сообщения в этих условиях является часто решающим фактором не только при обеспечении элементарных удобств для работающих, но и при оздоровлении условий жизни трудящихся, так как с увеличением скоростей движения появляется возможность еще большего отдаления вредных производств от места жительства. Кроме того, при наличии высокоскоростных транспортных средств улучшится сообщение с пригородными районами и зонами массового отдыха в летнее и зимнее время.

Проблема скорости имеет решающее значение и при распределении перевозок среди существующих видов транспорта. В особенности это касается ряда перегруженных железнодорожных направлений на подходах к крупным городам. На этих линиях неуклонно увеличивающиеся грузопотоки, как правило, совпадают с интенсивным ростом пассажиропотоков. При необходимости пропуска по таким линиям скоростных пассажирских поездов (каждая пара которых вытесняет из графика две-три пары грузовых поездов) резко уменьшаются возможности перевозок народнохозяйственных грузов. Разгрузка перегруженных железных дорог от перевозки пассажиров за счет монорельсовых дорог позволила бы резко увеличить объем грузовых перевозок на существующих линиях и намного отдалила бы сроки проведения работ по реконструкции дорог, строительству вторых или третьих путей на большом протяжении.

Значимость монорельсового транспорта не исчерпывается теми преимуществами, которые он обуславливает при применении его в крупных городах. Есть очень важная проблема, возникающая вследствие интенсивного развития народного хозяйства, — проблема транспортного освоения многих отдаленных районов Советского Союза, в которых строительство и эксплуатация обычных видов транспорта (автомобильного и железнодорожного) затруднены. К таким районам прежде всего относятся районы, расположенные восточнее Урала. Суровые климатические условия и большие снежные заносы в этих районах вместе с неблагоприятными геологическими условиями затрудняют эксплуатацию транспортных средств, для которых необходимо сплошное наземное полотно

(автомобильный и железнодорожный транспорт), и строительство этого полотна. С помощью воздушного транспорта в этих условиях также нельзя обеспечить регулярной связи.

Кроме того, сложные транспортные проблемы возникают при реконструкции крупнейших промышленных предприятий. Значительные размеры площади таких предприятий и насыщенность их территории внешним и внутренним транспортом всех типов приводят иногда к тому, что проход рабочих и служащих к цехам по территории завода занимает больше времени, чем переезд от места жительства до завода.

Во всех этих случаях наиболее приемлемыми оказываются монорельсовые дороги, располагаемые над поверхностью земли, что позволяет разгрузить улицы или заводскую территорию. Для монорельсовой дороги не требуется сплошное земляное полотно с бетонным покрытием или железнодорожный путь со шпалами и рельсами, благодаря чему резко сокращается объем земляных работ при строительстве дороги. Снежные заносы не могут повлиять на бесперебойность работы монорельсовой дороги. Максимальные скорости движения существующих и строящихся пассажирских монорельсовых дорог равны 120 км/ч, а средние эксплуатационные 60 км/ч, что более чем вдвое превышает скорость автобусов и в 1,5 раза средние скорости метрополитена.

Использование монорельсовой дороги позволяет значительно упростить прокладку трассы, так как в этом случае легко обойти имеющиеся сооружения и строения, можно допустить большие подъемы и спуски и т. п. Трасса монорельсовой дороги, прокладываемая в условиях существующей застройки города или завода, может проходить через здания, а станции могут быть расположены на крышах общественных и производственных зданий или в их проемах.

Таким образом, при использовании монорельсовой дороги получается, что, с одной стороны, новая дорога почти не занимает площади, а с другой — освобождается площадь для других видов транспорта.

Стоимость постройки монорельсовой дороги в городах меньше стоимости сооружения метрополитена (в 3—8 раз), современной автострады (в 1,2—3,0 раза) и надземной железной дороги (в 2—6 раз). Опыт действующих монорельсовых дорог показывает, что средний уровень эксплуатационных расходов на них на 15—30 % ниже, чем у трамвая.

Данные о старейшей Вуппертальской пассажирской дороге свидетельствуют о том, что строительство 1 км двухпутной монорельсовой дороги и подвижного состава стоило в 1901 г. в 4—5 раз дешевле, чем постройка 1 км метрополитена для того же времени. Отмечается высокая степень эксплуатационной надежности и безопасности движения на этой дороге — за 67 лет на ней не было ни одной аварии. Сейчас еще нельзя сказать точно, на сколько

именно монорельсовая дорога будет экономичнее автомобильного или железнодорожного транспорта. Однако не всегда решающее значение имеют только экономические факторы. Очень сложно оценить экономический эффект того, что пассажиры Аэрофлота будут ехать от Москвы до Внуковского аэропорта *7,5 мин*, а не час, как в настоящее время.

Монорельсовые дороги в большинстве случаев обеспечивают непрерывную, надежную и безопасную эксплуатацию в самых неблагоприятных погодных условиях.

Из приведенного краткого перечня основных отличительных особенностей монорельсовых дорог следует, что этот вид транспорта имеет значительные преимущества перед существующими видами наземного транспорта и применение его является экономически целесообразным для освоения пассажирских перевозок в условиях городов в тех случаях, когда наземные виды транспорта уже не в состоянии освоить имеющиеся пассажиропотоки, а строительство метрополитена по каким-либо причинам невозможно.

Монорельсовый транспорт находит широкое применение и для грузовых перевозок. В настоящее время большое количество монорельсовых дорог используется в основном в качестве внутризаводского транспорта для перевозки грузов по автоматическому циклу практически без участия человека.

Монорельсовые дороги имеют большие перспективы также в качестве междугородного транспорта (в том числе и для грузопассажирских перевозок), особенно в районах с резко пересеченной местностью или неблагоприятными климатическими условиями.

Большие возможности имеются и для совершенствования монорельсовых дорог. Наиболее интересной является перспектива соединения конструкции монорельсовой дороги с принципом движения на воздушной подушке или воздушной смазке и применения в качестве источника движения линейного асинхронного двигателя. Использование в монорельсовых дорогах только принципа движения на воздушной подушке сделало бы совершенно не нужными колеса у вагонов, упростило бы конструкцию подвешивания и ходовых частей вагонов и позволило бы расширить диапазон максимальных скоростей движения до *800 км/ч*. Такие монорельсовые дороги стали бы вполне конкурентоспособными с воздушным транспортом при перевозке пассажиров на расстоянии *1000—1600 км*.

Можно предполагать, что монорельсовый транспорт после создания и отработки надежных в эксплуатации конструкций сможет стать наиболее экономичным транспортом в тех районах, в которых строительство и эксплуатация обычных видов транспорта (автомобильного и железнодорожного) затруднены.

РАЗВИТИЕ И СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ МОНОРЕЛЬСОВОГО ТРАНСПОРТА

Монорельсовые (однорельсовые) дороги относятся к разряду специальных надземных эстакадных дорог, применяемых в основном для перевозки людей и в отдельных случаях для транспортирования грузов. Термин «монорельсовые дороги» в значительной мере условен. Число рельс-балок в монорельсовой дороге

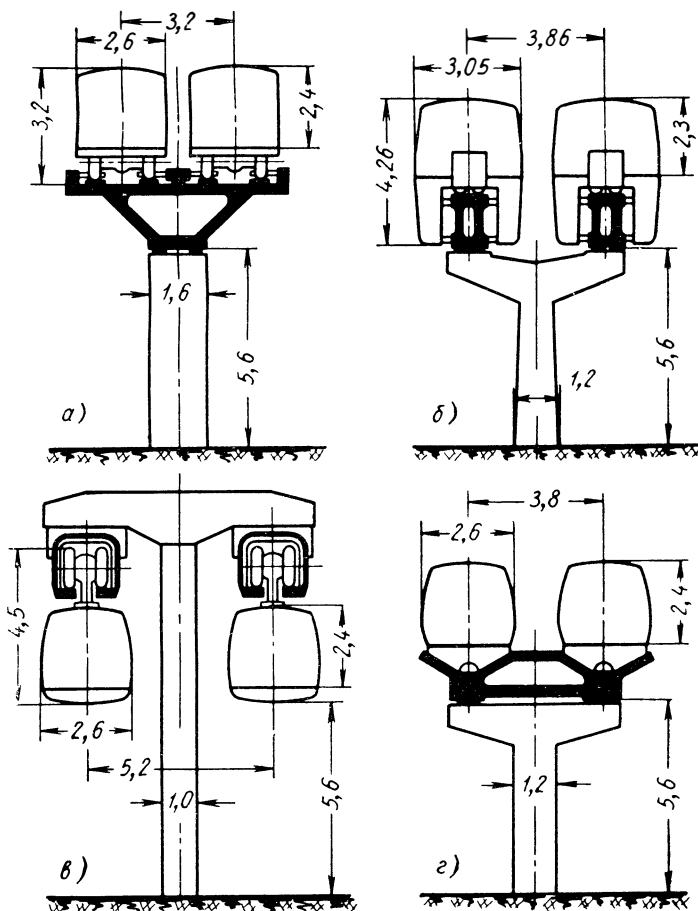


Рис. 1. Эстакадные рельсовые дороги:
 а — двухрельсовые; б — навесные однорельсовые;
 в — подвесные однорельсовые; г — специальные

колеблется от одного до двух, а число дорожек качения — от одной до семи.

Надземные рельсовые эстакадные дороги можно разделить на четыре группы (рис. 1): эстакадные двухрельсовые, навесные, подвесные и специальные дороги.

К эстакадным двухрельсовым дорогам относятся: эстакадный метрополитен (надземка), эстакадные дороги с наклонным расположением колес, предназначенные для скоростного движения (дороги Визингера), дороги с подвижным составом на пневмоколесном ходу (метро Порте или так называемые монорельсовые дороги с расщепленной балкой), дороги системы Майера, Омара и др. для городского и пригородного сообщения.

У навесных монорельсовых дорог центр тяжести вагона может быть расположен ниже точки опоры колеса на рельс (дороги системы Пальмера, Хлудова, Андреева и Вальднера) и выше точки опоры на рельс (дороги системы Лартига, Бера и Алвег).

К подвесным монорельсовым дорогам, у которых центр тяжести вагона расположен ниже точки опоры колеса на рельс, относятся дороги с ездой по верху рельса, дороги с ездой по двутавровой или тавровой балке и дороги с ездой по двухрельсовому пути или коробчатому рельсу.

К специальным эстакадным дорогам относятся монорельсовые гироскопические дороги, дороги Кука, а также дороги лоткового типа системы Ярмольчука и Ховеркар и др.

В настоящее время в качестве пассажирских монорельсовых дорог наибольшее распространение получили монорельсовые навесные и подвесные дороги, особенности которых рассмотрены ниже.

СУЩЕСТВУЮЩИЕ МОНОРЕЛЬСОВЫЕ ДОРОГИ

Первой монорельсовой дорогой можно считать «дорогу на столбах», построенную в 1820 г. под Москвой в селе Мячкове изобретателем Иваном Эльмановым. По верхнему продольному брусу катились вагонетки, которые тянули лошади.

В 1824 г. по проекту Пальмера была построена монорельсовая дорога в Лондонских доках для перевозки грузов. До 1831 г. несколько дорог такого типа было построено в Англии, а в 1834 г. подобная дорога была создана в Пруссии. Основное преимущество этих дорог состояло в том, что поднятый над поверхностью земли путь не требовал выполнения трудоемких и дорогостоящих земляных работ по планировке пути.

В Москве на политехнической выставке 1872 г. был экспонирован опытный участок навесной монорельсовой дороги системы нашего соотечественника Лярского.

В 1883 г. в Тунисе французским инженером Лартигом была построена навесная монорельсовая дорога длиной 96 км для пере-

возки джута. Ходовой рельс находился на высоте 1220 мм над поверхностью земли, а по бокам его размещались два направляющих рельса. Подвижной состав (паровоз и вагоны) перемещался по однорельсовому пути с помощью двухребордных колес, располагавшихся в средней части подвижного состава. Устойчивость подвижного состава обеспечивали боковые горизонтальные ролики диаметром 300 мм, катившиеся по нижним направляющим рельсам. Дороги этого типа строились как для перевозки грузов, так и пассажиров и эксплуатировались с разными видами тяги. На паровозе, который вместе с тендером весил 11 т, было установлено два симметрично расположенных котла. Пассажирские вагоны длиной 5 м и шириной 2,4 м имели 24 места для сидения.

Дороги системы Лартига допускали среднюю скорость движения 20 км/ч, отличались малой стоимостью строительства и эксплуатации и применялись в некоторых странах, в том числе в Алжире и Ирландии, где они эксплуатировались с 1887 по 1924 г. Стоимость перевозки по этим дорогам примерно в 3 раза меньше, чем по конно-железной дороге, и в 5 раз меньше, чем с помощью гужевого транспорта.

В 1886 г. в Пиренеях была построена монорельсовая дорога длиной 10,8 км, использовавшаяся для перевозки угля с вершины горы к подножью. Дорога работала на электроэнергию, генерировавшаяся при движении вагонов под уклон. Этой энергии было достаточно для поднятия порожних вагонов от подножья к вершине. Электродвигатель электровоза, построенный для этой дороги фирмой Сименс, при движении поезда вниз работал в качестве генератора.

В 1886 г. в Бостоне (США) была построена опытная навесная монорельсовая дорога протяженностью 1,6 км с высокой эстакадой, допускавшей расположение опорного рельса на высоте 4,3 м. Это была первая дорога, предназначавшаяся для эксплуатации в городских условиях без нарушения существующего движения в городе. Особенностью дороги в Бостоне было расположение ходовых колес локомотива под углом 45° и наличие специального гидравлического устройства для увеличения прижима этих колес к рельсам, что позволяло увеличить силу сцепления и сделать ее не зависящей от веса локомотива.

Монорельсовая дорога системы Лартига протяженностью 15,6 км между городами Листоуэл и Беллибаннон (Ирландия) была сдана в эксплуатацию в 1888 г. и эксплуатировалась до 1924 г. Дорогу обслуживали 3 паровоза, 14 пассажирских и 30 грузовых вагонов. Опорный рельс был расположен на высоте 914—1219 мм, а на подходах к шоссе дорогам поднимался до высоты, обеспечивавшей пересечение дорог на разных уровнях.

В том же 1888 г. в штате Миннесота (США) была построена подвесная монорельсовая дорога по проекту американского инженера Энуса. Дорога протяженностью 40 км имела эстакаду в виде

решетчатых ферм с прямолинейными поясами, на которых укреплялись один над другим два рельса. Фермы опирались на кронштейны, закрепленные на решетчатых стойках. Над верхним поясом фермы был установлен верхний рельс, по которому перемещались тяговые колеса подвижного состава.

Под нижним поясом фермы был расположен нижний рельс, по которому катились два ролика, установленные под углом 45° друг к другу. Каждый вагон с помощью двух дугообразных скоб был подвешен к тележкам с верхними тяговыми колесами. По бокам колес располагались тяговые электродвигатели. Система питания предусматривала подачу тока через верхний рельс в тяговые электродвигатели, а от них в нижний рельс. Подвижной состав был оборудован ручным и электрическим тормозами.

На Брюссельской международной выставке в 1897 г. демонстрировался опытный участок монорельсовой дороги конструкции английского инженера Бера. На опытном участке протяжением 5 км при подъеме 10% и наличии кривой радиусом 500 м достигалась скорость движения 135 км/ч.

Преимуществами дорог типа Лартига—Бера являются: возможность постройки их как в качестве постоянных дорог, так и в виде временных, переносных; невысокая стоимость; быстрота и легкость сборки и разборки; возможность использования в низких местах и районах, подверженных снежным заносам. К недостаткам их относятся: загромождение местности эстакадами, стесняющими движение в населенных районах, громоздкость стрелочных переводов и невозможность перевозки грузов большого объема.

В марте 1897 г. на заседании Русского технического общества известный русский изобретатель инженер И. В. Романов докладывал о проекте подвесной электрической дороги. На заседании демонстрировалась модель, представлявшая собой опытный участок пути в виде спирали диаметром 750 мм, по которому свободно перемещался вверх и вниз вагон с электроприводом от электродвигателя мощностью 44 вт.

По проекту И. В. Романова в 1899 г. в Гатчине был построен опытный участок дороги с подъемами до 18% в виде замкнутого контура протяженностью 0,2 км, состоявшего из двух параллельных эстакад с закруглениями по концам. К эстакаде был подвешен трамвайный вагон открытого типа весом 1600 кг (рис. 2). Эстакада дороги имела решетчатую конструкцию. Высота опор выбиралась в зависимости от рельефа местности и обеспечивала минимальное расстояние от низа вагона до земли 750 мм. Вагон монорельсовой дороги, сконструированный с использованием кузова типового трамвайного вагона, с помощью специального пружинного устройства подвешивался за крышу к двум ходовым тележкам.

Двухосные тележки имели одно тяговое колесо диаметром 120 мм. Помимо этого колеса, опиравшегося на вертикальную

стенку ходовой балки, на каждой тележке устанавливалось по две пары горизонтальных направляющих и стабилизирующих колес, располагавшихся в двух плоскостях. Таким образом, колеса с трех сторон охватывали балку, что обуславливало устойчивое положение подвешенного вагона при движении. Тяговые электродвигатели мощностью по 6 *квт* работали на постоянном токе при напряжении 100 *в*. Система управления электроприводом предусматривала возможность рекуперации энергии, т. е.

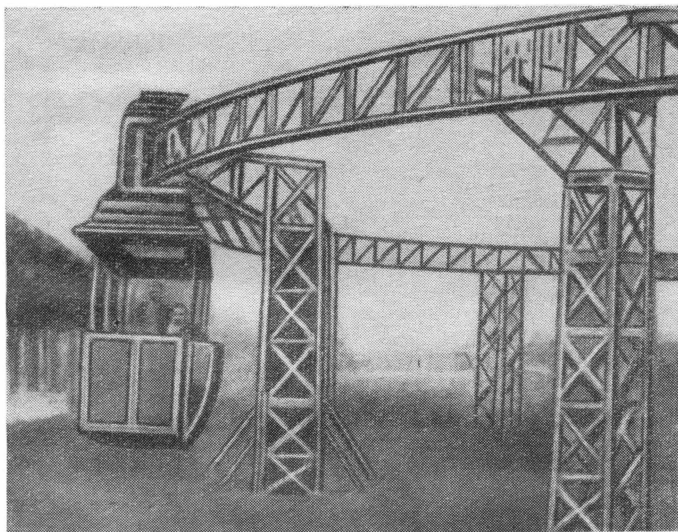


Рис. 2. Опытная электрическая подвесная дорога системы И. В. Романова в Гатчине

обратного возвращения ее в сеть при движении вагона под уклон. Во время испытаний, помимо перевозки пассажиров, вагон нагружали балластом весом¹ 3200 *кг*. Скорость движения составляла 15 *км/ч*. По расчетам автора при увеличении диаметра колес скорость могла быть повышена.

Испытания этой первой в мире электрической подвесной дороги, состоявшиеся 25 июня 1900 г., прошли весьма успешно, после чего появились проекты двух магистральных дорог такого типа, которые должны были связать Москву с Петербургом и Нижним Новгородом. Однако эти проекты не были реализованы. Они даже не были запатентованы, хотя и направлялись на отзыв и рассмотрение некоторым иностранным специалистам.

В то же время в Германии по проекту Е. Лангена была построена подвесная дорога подобной конструкции в долине реки

¹ В данной книге под весом понимается масса.

Вуппер между городами Бармен и Эльберфельд. В ней были использованы многие идеи И. В. Романова.

Строительство монорельсовой дороги в Вуппертале (возникшем после слияния городов Бармен и Эльберфельд) было окончено в 1901 г.; она является первой пассажирской монорельсовой дорогой подвешенного типа, которая непрерывно эксплуатируется до настоящего времени.

Вуппертальская дорога построена по системе Е. Лангена на металлических опорах с использованием принципа асимметрич-

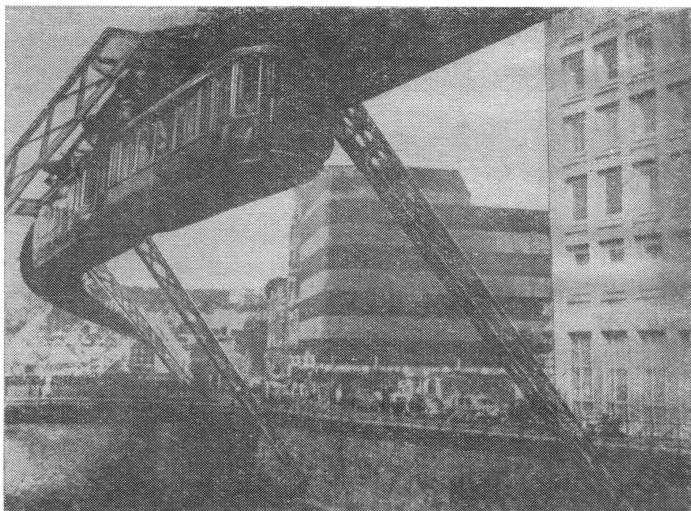


Рис. 3. Подвесная монорельсовая дорога в Вуппертале

ного подвешивания вагона, впервые примененного И. В. Романовым. В 1903 г. дорога была удлинена, и ее общая протяженность составляет 14,4 км; часть дороги (9,6 км) проходит над рекой Вуппер (рис. 3). В 1950 и 1963 гг. была осуществлена реконструкция дороги и созданы новые вагоны. Длина пролетов металлических балок-ферм равна 21—33 м; расход металла на опоры и пролетные балки (при средней высоте опор 8 м) составляет 1,2 т на 1 м двухпутной линии. На линии имеются уклоны и подъемы до 65‰.

Провозная способность дороги при скорости движения 40 км/ч, интервале между поездами 2,5 мин и составе поезда из двух вагонов равна 4000 пассажиров в час. За время эксплуатации этой дороги было перевезено свыше 1 млрд. пассажиров. Отмечается высокая степень эксплуатационной надежности и безопасности движения (за все время на ней не было ни одной аварии). Эксплуатационные расходы Вуппертальской монорельсовой дороги на 15—20% меньше расходов, связанных с эксплуатацией трамвая.

В первой половине XX в. было предложено свыше 15 проектов монорельсовых дорог, и по многим из них в Германии, Англии, США и России были построены опытные участки. На некоторых из этих дорог были применены вагоны с гироскопической стабилизацией, предложенные Бренаном и Шерлом. В дороге Бренана использовался двухтележечный вагон с двухребордными колесами. Единственным средством обеспечения вертикальной устойчивости вагонов в этой конструкции являлись гироскопы. Практического применения такие дороги не получили.

В России в 1919 г. было предпринято строительство монорельсовой дороги с гироскопической стабилизацией системы И. И. Шиловского, которое не было закончено. Сочлененные вагоны должны были вмещать 400 пассажиров. Дорогу протяженностью 32 км предполагалось построить для пригородного сообщения между Петроградом и Царским Селом.

В 1924 г. в США была построена монорельсовая дорога системы Лартига длиной 48 км, которая соединяла марганцевый рудник Кристин Хим в Калифорнии с железной дорогой. Большая часть дороги проходила по сильно пересеченной местности, где ее строительство стоило значительно меньше, чем строительство обычной железной дороги. Ходовой рельс устанавливался на А-образных деревянных опорах с направляющими рельсами на боковых сторонах. В вагонах перевозились руда и материалы для шахт. На этой дороге было осуществлено движение поездов с локомотивами, имеющими бензиновые двигатели. Дорога эксплуатировалась до полной выработки и закрытия рудника.

В 1926 г. конструктором Бени была предложена монорельсовая дорога подвесного типа с пропеллерной тягой от двух электродвигателей, предназначавшаяся для сверхскоростного пассажирского междугородного сообщения. В 1929 г. около Глазго (Англия) был построен экспериментальный участок такой дороги и на нем во время испытаний была реализована скорость 240 км/ч; однако намечавшееся строительство дороги между Блекпулом и Суатпортом, а также в пригороде Глазго осуществлено не было.

Оригинальную конструкцию навесной монорельсовой дороги предложил в 1931 г. советский изобретатель С. С. Вальднер. Основные идеи его нашли широкое применение во многих конструкциях навесных монорельсовых дорог, построенных за рубежом в 1950—1965 гг.

Дорога С. С. Вальднера (рис. 4) представляла собой надземную эстакадную конструкцию с ходовой балкой треугольной формы. По бокам балки были размещены два вагона, жестко соединенные между собой в верхней части, которая служила опорой для ведущих колес. При такой конструкции оба вагона составляли одно целое, центр тяжести их располагался ниже точки опоры и вся система получалась устойчивой. Горизонтальные усилия воспринимались дополнительными боковыми колесами, опирающимися

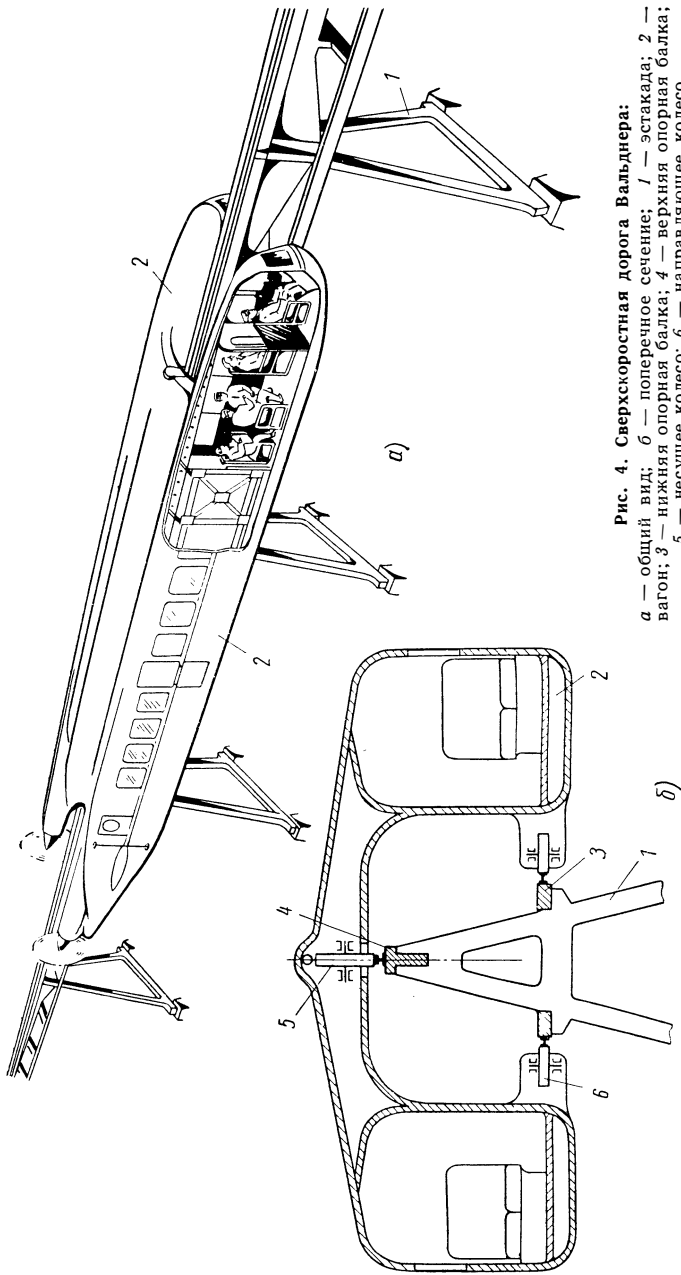


Рис. 4. Сверхскоростная дорога Вальднера:

а — общий вид; б — поперечное сечение; 1 — эстакада; 2 — вагон; 3 — нижняя опорная балка; 4 — верхняя опорная балка; 5 — несущее колесо; 6 — направляющее колесо

на направляющие рельсы. В 1931—1934 гг. под руководством автора был разработан технический проект дороги этого типа для движения со скоростью 250—300 км/ч. Помимо решения теоретических вопросов, связанных с созданием транспорта для таких высоких скоростей движения, были подробно разработаны конструкции вагонов нескольких типов и построены модели вагонов и опытного участка дороги.

В 1934—1935 гг. под Москвой на станции Северянин был создан и испытан опытный участок эстакады в натуральную величину. В 1939 г. в Парке культуры и отдыха им. А. М. Горького был построен участок действующей дороги С. С. Вальднера в одну десятую натуральной величины. Она представляла собой замкнутый контур протяженностью 474 м с двумя закруглениями радиусом 36 м и двумя прямолинейными вставками. Эстакада имела высоту 6 м, и наклон пути на закруглениях достигал 27‰. Модель вагона длиной 2,5 м имела два электродвигателя трехфазного тока мощностью по 2,5 квт при 2800 об/мин с питанием от основного верхнего рельса и двух боковых направляющих. Таким образом, ток проходил через колесные пары и их роликподшипники. Во время испытаний скорость движения модели достигала 120 км/ч, причем даже в самые сильные снежные заносы, когда движение трамвая прекращалось, никакой очистки пути монорельсовой дороги не требовалось, и вагон свободно двигался со скоростью 90—100 км/ч.

В начале 40-х годов развитие монорельсового транспорта практически приостановилось, однако в конце 40-х годов теоретические и экспериментальные работы возобновились; они послужили основой для интенсивного развития и практического использования монорельсовых дорог в начале 50-х годов. Основные усовершенствования, вводимые в монорельсовый транспорт, обуславливаются значительным прогрессом техники. Так, например, в большинстве проектов металлические колеса у подвижного состава монорельсовых дорог заменяются колесами с пневматическими шинами, что позволяет снизить шум и улучшить сцепление колес с поверхностями качения. Это, в свою очередь, привело к облегчению трассирования монорельсовых дорог (так как допускало использование более крутых подъемов), а также позволило повысить скорость и достичь постоянства режима движения поездов.

Возможности совершенствования конструкции монорельсовых дорог и возросшая потребность в освоении увеличивающихся пассажиропотоков привели к тому, что идея монорельсовых дорог стала в последние годы все более привлекать внимание специалистов городского транспорта во многих странах мира. Наряду с разработкой проектов таких дорог в большом числе крупных городов (известны около 90 проектов) развитие монорельсовых дорог характеризуется в настоящее время интенсивным строи-

тельством их как для экспериментальных целей, так и для нормальной эксплуатации. Наибольшие успехи в этой области достигнуты в ФРГ, США, Франции, Японии и Италии.

В настоящее время известно около 20 эксплуатируемых монорельсовых дорог, построенных после 1956 г., и одна в Вуппертале, открытая для движения в начале XX в. Из приведенных ниже характеристик дорог видно, что девять дорог являются подвесными, а 12 — навесными. Общая протяженность действующих

монорельсовых дорог еще невелика и к началу 1965 г. составляла около 50 км. Однако если учесть все спроектированные монорельсовые дороги, включая и находящиеся в стадии строительства, то общая протяженность их превышает 1200 км.

Монорельсовые дороги в Хаустоне и Далласе (США).

В 1956 г. в Хаустоне была построена подвесная монорельсовая дорога Скайвэй протяжением 380 м. Эстакада дороги состоит из опор Г-образной формы, изготовленных из стальных труб диаметром 0,8 м и установленных на расстоянии 18 м, а также несущей трубчатой балки диаметром 0,75 м, расположенной на высоте 3—9 м от поверхности земли (рис. 5).

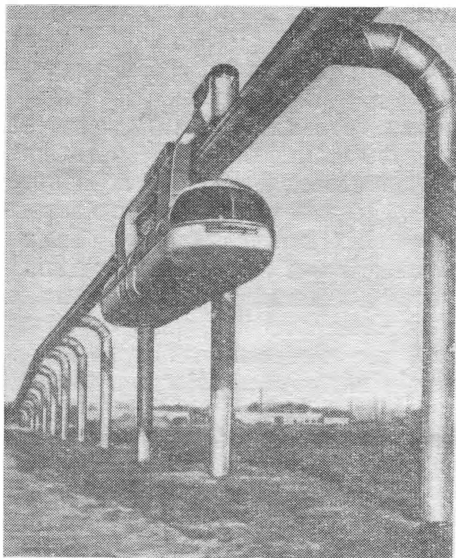


Рис. 5. Подвесная монорельсовая дорога в Хаустоне

По мере подхода к станциям несущая балка постепенно снижается до уровня земли, на поверхности которой непосредственно расположена станция. Такое снижение балки облегчает осмотр и ремонт подвижного состава. Все колеса имеют пневматические шины, что обеспечивает бесшумное движение поезда.

В том же 1956 г. в Далласе была построена усовершенствованная дорога типа Скайвэй протяженностью 490 м. В отличие от ранее построенной дороги ходовая балка этой дороги имеет треугольную трубчатую конструкцию (шириной 0,6 м и высотой 1,07 м). Несмотря на то, что дорога относится к монорельсовым (вагоны движутся по одной балке), верхняя опорная поверхность балки имеет две беговые дорожки для колес. Опоры высотой около 9 м располагаются на расстоянии 30—45 м друг от друга. Скорость движения на этой дороге равна 94 км/ч при максимальной проектной скорости 160 км/ч.

Монорельсовые дороги с металлической трубчатой эстакадой отличаются очень высокой скоростью монтажа (до 1,6 км в неделю) при наименьшей по сравнению с другими монорельсовыми дорогами стоимости. Стоимость сооружения 1 км монорельсовой дороги (включая и подвижной состав) составила (по современному курсу) около 280 тыс. руб.

Монорельсовая дорога в Фюлингене (ФРГ). В 1957 г. в Фюлингене была впервые построена монорельсовая дорога системы Алвег (рис. 6), находящаяся до сих пор в эксплуатации. Конструкция

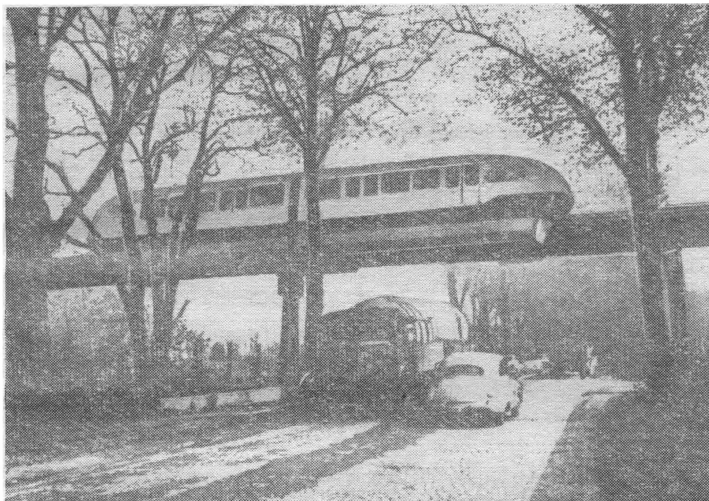


Рис. 6. Навесная монорельсовая дорога Алвег в Фюлингене

такой дороги была предложена в 1951 г. шведским инженером и предпринимателем Алексом Ленертом Веннером Грином, из инициалов которого и образовано название дороги (Алвег). Особенностью этой дороги является то, что подвижной состав (вагон) как бы обхватывает ходовую балку и перемещается по ней на колесах с пневматическими шинами.

Помимо вертикальных ходовых и тяговых колес вагоны монорельсовых дорог этого типа для устойчивости и безопасности движения оснащены еще горизонтальными направляющими и стабилизирующими колесами (рис. 7), располагаемыми в двух уровнях. В некоторых случаях при неблагоприятных условиях движения и необходимости увеличения тягового усилия в качестве тяговых колес можно использовать боковые направляющие колеса. В зависимости от требуемого тягового усилия можно регулировать степень нажатия боковых колес, для чего служит специальное устройство с гидравлическим приводом. Как видно из габаритного чер-

тежа (рис. 8) монорельсовой дороги системы Алвег, вследствие высокой устойчивости положения вагонов на балке зазор между движущимися вагонами на двухпутной линии равен всего 300 мм.

Экспериментальный участок дороги был построен в виде замкнутой линии. На участке испытывался опытный поезд в $\frac{2}{5}$ натуральной величины. Испытания подтвердили высокие качества дороги системы Алвег. На этих дорогах можно достигать высоких скоростей, плавного торможения и устойчивого движения. После

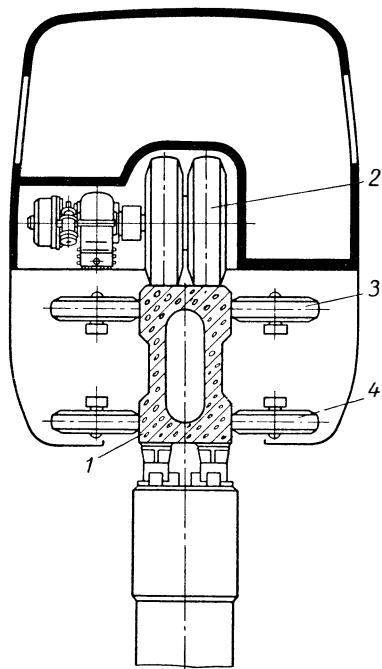


Рис. 7. Схема навесной дороги системы Алвег:

1 — ходовая балка; 2 — несущее колесо; 3 — направляющее колесо; 4 — стабилизирующее колесо

отработки на экспериментальном участке конструктивных элементов стационарных устройств и ходовой части вагонов новой системы была построена линия монорельсовой дороги длиной 1,6 км, состоящая из одно- и двухпутных участков и имевшая стрелочные переводы. Монорельсовая дорога связывает Кельн и Фюлинген и эксплуатируется как пригородная линия. Эстакада монорельсового пути состоит из однотипных секций, каждая из которых включает шесть железобетонных балок с предварительно напряженной арматурой высотой 1,4 м, шириной 0,8 м и длиной 15—20 м. Ширина балки в средней части 0,65 м, толщина стенок 0,13 м. Полая балка, в которой размещаются различные кабели, уменьшает вес сооружения. В средней части боковых стенок подвешены контактные провода для токоприемников.

На расстоянии 20 мм от верхней плоскости качения в балку вмонтированы электрические сопротивления для обогрева этой

плоскости с целью предупреждения обледенения в зимнее время. Расход энергии при обогреве равен 100 вт на 1 м пути. Обогрев пути для снятия льда особенно рекомендуется на участках разгона и торможения составов, а также в местах остановки поездов и на больших уклонах.

Минимальное расстояние от верхней плоскости балки до поверхности земли равно 6,35 м. Балки устанавливаются на железобетонных опорах вплотную друг к другу. Через шесть пролетов (90 м) предусмотрены температурные швы шириной 2,5 см. Каждая опора высотой 5 м весит около 12 т. Балки двухпутных участков уложены

ным подъемом 40‰ и шириной ходового рельса 400 мм. Она предназначалась для исследования возможности применения монорельсовых дорог для массовых перевозок пассажиров в местах скопления городского транспорта.

На всем протяжении дороги был сооружен сварной каркас коробчатой балки из металлических конструкций. Балка установлена на 23 колоннах, опирающихся на свайные основания. Высота колонн, в зависимости от профиля поверхности, колеблется в пределах 5—11 м. По этой дороге ежедневно перевозят 7000 пассажиров.

Опытный участок этой подвесной дороги, находящийся в эксплуатации и в настоящее время, использовался для определения общей надежности и работоспособности монорельсовых дорог с асимметричным подвешиванием. В начале эксплуатации были обнаружены трещины в отдельных элементах подвешивания и повреждения слоя асфальта, покрывавшего ходовую дорожку монорельсовой балки. Устранение трещин и замена асфальта слоем бетона повысили эксплуатационную надежность дороги, и за последующие полтора года по ней было перевезено 1,1 млн. пассажиров.

В 1958 г. в Японии была пущена другая подвесная дорога (с асимметричной системой подвешивания) протяженностью 1,6 км. Она соединила зоопарк с центром Токио. Эстакада дороги с железобетонными опорами имеет металлическую открытую путевую балку прямоугольного сечения, проходящую на высоте 9 м над поверхностью земли. Расстояние между опорами 15 м. Максимальная скорость движения поезда составляет 60 км/ч при средней скорости 30 км/ч.

Монорельсовая дорога в Диснейленде (США). В городке Диснея (США, Калифорния) с 1959 г. эксплуатируется монорельсовая дорога системы Алвег протяженностью 1,6 км, которая в 1962 г. была удлинена до 3,8 км. Кроме того, имеется ветка длиной 250 м, предназначенная для стоянки поездов и их ремонта.

Построенная в увеселительном парке «Страна Диснея» детская монорельсовая дорога имеет уменьшенные размеры и является аттракционом парка. Однако она находится в регулярной и интенсивной эксплуатации и дает возможность решить многие технические вопросы, относящиеся к усовершенствованию дорог этого типа. Трасса монорельсовой дороги имеет большое количество кривых участков (радиусом до 36,5 м) с пересечением на разных уровнях (рис. 9) и значительными уклонами (до 110‰).

Наблюдения за эксплуатацией дороги в таких условиях дает материал, который позволяет судить о возможностях трассирования дорог типа Алвег в сложных топографических условиях.

Бетонная балка, по верхней поверхности которой движутся поезда, состоит из сборных железобетонных балок, служащих несущими и направляющими элементами. Путь первой очереди

дороги состоял из 104 таких бетонных балок шириной 0,508 м, высотой 0,90 м и длиной 7,3—12,2 м. Балки опираются на бетонные колонны различной высоты так, что расстояние от путевой балки до поверхности земли колеблется от 9,5 до 1,5 м. Основанием для колонн служат сваи, заглубленные в землю на 7,6 м. На прямолинейных участках было использовано 50 путевых балок длиной 18,3 м и с увеличенной до 1 м высотой.

Ввиду сложного профиля и трассы монорельсовой дороги при ее строительстве применялись разнообразные железобетонные балки, для изготовления которых использовалась сложная метал-

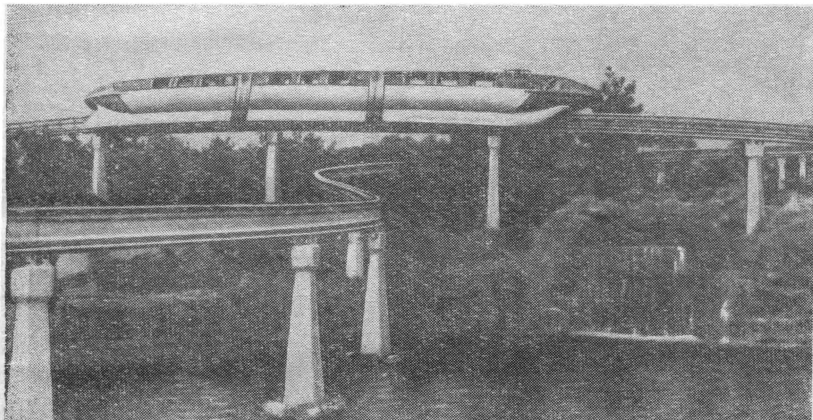


Рис. 9. Пересечение монорельсовой дороги на разных уровнях

лическая опалубка, обеспечившая их большую точность и высокое качество. Металлическая опалубка балок состояла из секций длиной 0,61 м, плотно примыкавших друг к другу и допускавших изменение формы с помощью системы винтов и домкратов. Верхняя поверхность всех балок была обработана песком для увеличения ее шероховатости и, следовательно, коэффициента сцепления с резиновыми шинами колес.

По дороге курсирует три новых четырехвагонных поезда. Каждый поезд оборудован шестью тяговыми двигателями постоянного тока (напряжение 600 в) мощностью 40,5 квт. В результате хорошего сцепления колес с балками поезда легко преодолевают максимальные подъемы этой дороги. За первые два года эксплуатации на дороге перевезено 4,4 млн. пассажиров, а общий пробег вагонов составил 100 тыс. км.

Линия оборудована кэб-сигнализацией, т. е. передачей световых сигналов в кабину машиниста и системой контроля скорости движения. Расчетная скорость поезда 130 км/ч. Стоимость сооружения по современному курсу составила около 3 млн. руб.

Монорельсовая дорога около Орлеана (Франция). Во Франции восточнее Орлеана в местечке Шатонеф в 1960 г. был сдан в эксплуатацию опытный участок подвесной монорельсовой дороги длиной около 2 км. Конструкция этой дороги, названной Аэрометро, создана акционерным обществом САФЕЖЕ, объединившим 18 крупнейших научно-исследовательских и промышленных фирм Франции.

Указанная дорога построена с использованием незамкнутой коробчатой монорельсовой балки подковообразной формы, внутри

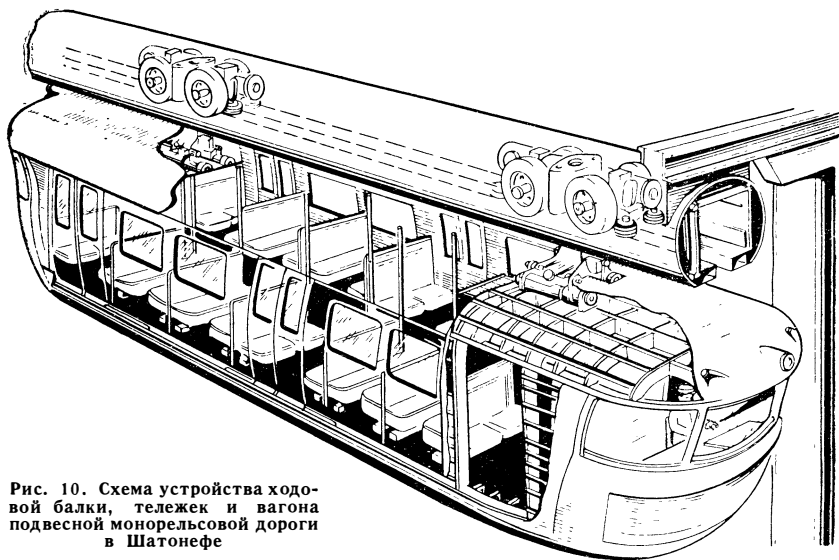


Рис. 10. Схема устройства ходовой балки, тележек и вагона подвесной монорельсовой дороги в Шатонефе

которой движутся ходовые тележки вагона (рис. 10). Вагоны подвешиваются к тележкам снизу, причем подвески проходят через продольный щелевой разрез в балке, не касаясь его граней.

Применение подвесной системы позволило упростить конструкцию вагонов, облегчить вписывание их в кривые малых радиусов (до 30 м) и сократить передаваемые на балку крутящие моменты и изгибающие усилия.

Коробчатое сечение монорельсовой балки хорошо сопротивляется кручению и изгибу, предохраняет поверхности качения от атмосферных осадков и обеспечивает постоянный высокий коэффициент сцепления колес с поверхностями качения.

В качестве беговых дорожек для несущих колес тележек первоначально использовались приваренные стальные рифленые листы толщиной 20 мм, однако впоследствии они были заменены накладками из твердых пород дерева, что увеличивает срок службы шин и облегчает уход за оборудованием и устройствами пути.

Кроме четырех вертикальных несущих и тяговых колес, на каждой тележке установлено по четыре горизонтальных направляющих колеса меньшего диаметра, которые катятся по внутренним вертикальным поверхностям боковых стенок балок и обеспечивают устойчивое движение тележки по монорельсовой балке.

Выбор для этой дороги подвижного состава на колесах с пневматическими шинами основывался на положительном опыте использования пневматических шин на линиях Парижского метрополитена, где они применяются в течение последних 15 лет. Анализ работы линий метрополитена, на которых эксплуатировались вагоны с колесами, имеющими пневматические шины, показал, что хотя это и привело к некоторому увеличению расхода электроэнергии (вследствие дополнительного сопротивления резиновых шин), однако оно компенсировалось резким увеличением эксплуатационной скорости (на 16% в обычные часы и на 25% в часы пик), повышением комфортабельности езды и значительным уменьшением шума.

Эксплуатационная проверка на линиях Парижского метрополитена полностью подтвердила высокие ходовые качества вагонов на тележках с пневматическими шинами, а именно: высокий коэффициент сцепления (для стального листа с гладкой и рифленой сухой поверхностью 0,6—0,7), величина которого не зависит от атмосферных осадков и позволяет преодолевать подъемы до 120‰; возможность реализации высоких ускорений и замедлений, что особенно важно при наличии коротких перегонов; уменьшение ударов и тряски, что улучшает показатели ходовых качеств вагонов и позволяет уменьшить их вес и упростить систему подвешивания и др. Пневматические шины обладают также высокой износоустойчивостью: после пробега 300 тыс. км они еще не требовали замены.

На опытном участке монорельсовой дороги эксплуатируются одиночные вагоны, которые можно формировать в поезда. Для этого спереди и сзади в верхней части вагона смонтированы автоматические сцепки. В поезде возможен переход из одного вагона в другой через междувагонные площадки шириной 1,5 м.

На линии применено современное оборудование связи и сигнализации. Связь машиниста с диспетчером осуществляется по телефонному проводу, проложенному в монорельсовой балке, или по радио.

В случае вынужденной остановки на перегоне пассажиры могут выйти из вагона через люк в полу. Для этой цели служит специальная аварийная лестница, имеющая лебедку с ручным приводом и опускающаяся непосредственно к поверхности земли.

Путь подвешен на Г-образных опорах высотой 10,8 м (от верха консоли опоры до поверхности земли), заполненных бетоном. Подвесной путь, представляющий собой несущую металлическую балку коробчатого сечения с нижней продольной щелью, состоит

из отдельных секций длиной 25—30 м, которые при помощи приваренных пластин прикрепляются болтами к кронштейнам.

В поперечном сечении путевая балка имеет квадратное отверстие со стороной 1,3 м. В нижней стенке имеется прорезь шириной 0,5 м. Обе стенки балки изготовлены из стальных листов толщиной 8 мм и усилены приваренными продольными ребрами и поперечными диафрагмами. Дорожка качения для несущих колес образована стальными листами толщиной 20 мм, приваренными к внутренним стенкам балки и составляющими одно целое со всей конструкцией. Каждый элемент путевой балки имеет на обоих концах приваренные кронштейны для крепления к опорам.

Рельс-балку изготавливают на заводах металлических конструкций и в готовом виде доставляют к месту строительства. Внутри балки проложены контактная и сигнализационная сети. Ходовые тележки снабжены токоприемниками для снятия и отвода тока.

Опоры подвесной дороги, построенные с учетом двухстороннего движения, представляют собой конический металлический сварной кожух диаметром 0,9 м у основания с толщиной стенки 28 мм, заполненный бетоном. Вес 1 м каркаса опоры равен 400 кг. Укрепленная на опоре сварная стальная траверса несет две путевые балки. Путевые балки и контактные токосъемные шины составлены из отдельных элементов, укрепленных на траверсах. Общий вес Т-образной опоры с траверсой равен примерно 12 т. Минимальное расстояние от низа вагона до проезжей части автомобильной дороги составляет 4,9 м.

Вагоны на опытном участке обычно движутся со скоростью 50—60 км/ч, хотя во время испытаний достигалась скорость 100 км/ч. Вагон с полной нагрузкой набирает скорость 90 км/ч за 40 сек. Провозная способность дороги этого типа, составляющая при интервале движения одиночных вагонов 90 сек 5 тыс. пассажиров в час, может быть доведена до 30 тыс. пассажиров в час в одном направлении.

Как и навесная дорога конструкции Алвег, подвесная монорельсовая дорога французской системы с симметричным подвешиванием является, по мнению многих исследователей, наиболее перспективной. Проектами развития транспорта многих городов (Лондон, Сан-Франциско, Детройт и др.) предусматривается строительство дорог подобного типа как с пневматическими, так и со стальными колесами, движущимися внутри коробчатой балки.

В 1964 г. право постройки монорельсовых дорог системы САФЕЖЕ в Англии и Канаде было приобретено фирмой Тэйлор Вудроу, которая совместно с фирмой Инглиш Электрик Компани разработала новую конструкцию монорельсовой дороги системы САФЕЖЕ для строительства в Англии. Использование таких дорог намечается транспортными управлениями Бирмингама, Ковентри, Лестера, Манчестера и нового города-спутника в Бакин-

гемшире, а также для связи строящегося третьего аэропорта Лондона, который будет отстоять от центра столицы далее чем аэропорт Хитроу.

Фирмой Тэйлор Вудроу было проведено специальное исследование качества хода вагонов и комфортабельности езды при боковой качке во время движения поезда по кривой. Исследование проводилось на опытном участке пути во Франции; при этом были использованы результаты испытаний, проведенных в США исследовательским центром автомобильного транспорта. Результаты исследования показали, что маятниковая система подвешивания вагонов к тележкам дает возможность достигнуть высокого уровня качества хода вагонов и комфорта как для сидящих, так и для стоящих пассажиров при скоростях движения до 120 км/ч на прямых и нормальных кривых участках.

Специальный отдел фирмы занят разработкой для условий Англии рабочего проекта монорельсовой дороги этого типа и изучением ее экономики. Разработаны также программы для счетно-решающих устройств, позволяющие быстро и точно оценивать влияние отдельных конструктивных факторов в широком диапазоне их изменения. Для монорельсовой дороги программа предусматривает полную переоценку методов анализа бетонных оболочковых конструкций (как армированных, так и предварительно напряженных).

В результате были разработаны более экономичные конструкции ходовой балки, фундаментов и системы подвешивания вагонов, а также некоторые технологические вопросы строительства монорельсовой дороги системы САФЕЖЕ.

Для ходовых дорожек основных и боковых направляющих колес использовалось дерево; на опытном участке во Франции применялась древесина твердых лиственных пород из Западной Африки. Ходовые поверхности образованы пластинчатыми рейками, которые обуславливают хорошее сцепление, прочную поверхность и могут быть легко сменены. Планки крепятся к бетонной поверхности болтами. Может быть использована также древесина других твердых пород. Положительный токонесущий рельс изготовлен из меди и закреплен в бетоне вдоль потолка ходовой балки с помощью фарфоровых изоляторов. Два отрицательных токонесущих рельса крепятся таким же способом к боковым стенкам ходовой балки у средней линии.

Монорельсовая дорога в Турине (Италия). В Италии первая монорельсовая дорога протяженностью 1,2 км была открыта в мае 1961 г. на Международной выставке в Турине. Дорога является однопутной и на ней имеются только две конечные станции — у южного входа выставки и у ее северной границы. Трасса дороги проходит по территории выставки мимо всех основных павильонов и над искусственным озером. Впоследствии для обеспечения связи центра города с пригородом Монкальери длину монорельсовой

дороги намечено довести до 11 км. С первых дней эксплуатации дорога ежедневно перевозит 20 тыс. пассажиров.

Монорельсовая дорога построена по системе Алвег. Сочлененный трехвагонный поезд оборудован колесами на пневматических шинах диаметром 900 мм. Пустотелая путевая балка изготовлена из предварительно напряженного железобетона. Пролет между опорами составляет около 20 м, высота балки 1,40 м, ширина 0,80 м. Брусья уложены на специальные подкладки мостового типа, а стыки перекрыты скользящими пластинками, компенсирующими температурное удлинение. Опоры установлены на расстоянии 20 м друг от друга, высота их 7,7 м, вес 16—19 т.

На дороге эксплуатируется один поезд, состоящий из трех сочлененных вагонов на шести тележках, из которых четыре (средние) моторные. Двигатели работают на постоянном токе при напряжении 600 в и имеют следующие характеристики (соответственно для часового и длительного режима): мощность 113/95 квт, ток 208/174 а, число оборотов 1500/1630 в минуту. В поезде имеется 74 места для сидения; общая вместимость поезда 264 пассажира. Общая длина поезда 30,3 м, ширина 3,10 м, высота 4,0 м, вес 38,1 т. Поезд развивает скорость до 80,5 км/ч. За первый месяц пробег поезда составил 6000 км и было перевезено 280 тыс. пассажиров.

Монорельсовая дорога в Наре (Япония). Навесная дорога типа Алвег в Наре (около Осаки) явилась первой экспериментальной навесной дорогой в Японии. Она построена в местном парке отдыха и сдана в эксплуатацию в 1961 г. Трехвагонный поезд длиной 31 м вмещает 88 пассажиров. Он имеет колеса на пневматических шинах, помимо которых установлены также колеса безопасности со сплошным резиновым ободом. При максимальной скорости движения 40 км/ч средняя скорость равна 16 км/ч.

На одной из станций дороги в 1964 г. был построен наклонный движущийся тротуар для доставки пассажиров на платформу. Он представляет собой стальную ленту, покрытую слоем вулканизированной резины.

Монорельсовая дорога в Сиэтле (США). Для связи центра города с территорией международной выставки «XXI век» в Сиэтле в 1962 г. была построена монорельсовая дорога типа Алвег протяженностью 1,9 км (рис. 11). Дорога двухпутная, и движение на ней осуществляется двумя поездами, каждый из которых состоит из четырех вагонов. Поезд имеет 124 сидячих места, а общая вместимость его составляет 424 пассажира. Весь путь поезда проходят за 95 сек и обеспечивают перевозку 10 000 пассажиров в час. Подвижной состав дороги изготовлен фирмой Линке — Гофман — Буш (ФРГ), которая поставляла вагоны и для линий в Фюлингене и Турине. Путевая балка состоит из спаренных железобетонных пустотелых конструкций с предварительно напряженной арматурой и имеет ширину 0,915 м и высоту 1,525 м. Путевая балка

уложена отдельными секциями длиной по 30,6 м и весом 54 т каждая. Высота расположения ходовой поверхности над землей равна 7,6 м.

В качестве путевых опор использованы одиночные колонны, площадь поперечного сечения которых равна 0,36 м².

Вагон снабжен двумя одноосными ходовыми тележками, имеющими четыре верхних ходовых колеса, два боковых направляющих колеса и дублирующие колеса безопасности со сплошными резиновыми ободами. В каждом вагоне установлено по два тяговых



Рис. 11. Навесная монорельсовая дорога в Сиэтле (США)

двигателя мощностью 73,6 квт каждый. Несущие колеса имеют диаметр около 1 м; давление воздуха в них равно 6,33 кг/см². Диаметр направляющих колес составляет 0,6 м, а давление воздуха в их шинах 7 кг/см². Нагрузка на ось порожнего вагона составляет 9060 кг. На сооружение всей линии, включая путь, опоры и конечные станции, израсходовано 14 700 т железобетона.

Отмечается спокойный и бесшумный ход поездов этой дороги.

Занимая в плане только одну полосу движения, монорельсовая дорога перевозит такое количество пассажиров, для освоения которого автомобильным транспортом потребовалось бы 16 полос движения.

В отличие от дорог в Фюлингене и Турине, где в эксплуатации находится по одному поезду, на монорельсовой дороге в Сиэтле эксплуатируются два поезда. Дорога оборудована автоматическими системами сигнализации и контроля скорости движения. При превышении установленной на данном участке скорости в кабине

машиниста раздается звуковой сигнал. Если машинист на него не реагирует, автоматически включаются тормоза. При подходе к станции поезд останавливается автоматически.

Конечная станция в Сиэтле оборудована движущимся тротуаром, облегчающим и ускоряющим доставку пассажиров к посадочным платформам.

В период работы выставки поезда монорельсовой дороги перевозили ежедневно 40—50 тыс. человек, что составляло около 80% всех посетителей выставки. Эксплуатационные расходы оказались меньшими, чем предполагалось при проектировании и строительстве. За несколько первых месяцев работы дорогой перевезено более 7 млн. пассажиров.

Монорельсовая дорога в Инуяме (Япония). Навесная дорога в Инуяме (вблизи Нагои) построена в 1962 г. японской фирмой Хитачи по лицензии фирмы Алвег. Фирма Алвег — Хитачи приняла затем участие и в строительстве монорельсовой дороги в Токио. Линия протяженностью 1,4 км соединяет вокзал с зоосадам и парком, имеет три станции и находится в постоянной регулярной эксплуатации. На линии есть кривые участки радиусом 150 м и уклоны до 97‰. Балки длиной 15 м и весом 28 т установлены на железобетонных опорах высотой до 14 м. На дороге эксплуатируются два поезда длиной 30,8 м. Каждый из них состоит из трех сочлененных вагонов на шести тележках, из которых четыре (средние) моторные. Поезда оборудованы электрическим, пневматическим и механическим тормозами, а также системой контроля скорости. Питание тяговых двигателей поездов осуществляется от сети пригородной электрифицированной железной дороги.

Монорельсовая дорога в Лос-Анджелесе (США). Подвесная дорога в Лос-Анджелесе построена в 1962 г. на территории выставки американской фирмой Америкэн Кране и Хоист Компани. Особенностью дороги является использование стальной ходовой балки и разделение функций грузонесущих и тяговых колес. Стальная ходовая балка в виде двутавра (высота балки 585 мм, ширина полка 254 мм) устанавливается на Т-образных стальных опорах высотой 9 м. Расстояние между опорами принято 11,5 м. Облегченные вагоны, построенные из легких сплавов, пластмасс и стекла, при длине 9,4 м и наличии 24 мест для сидения весят только 2,0 т. Опорные колеса катятся по верхней поверхности нижней полки двутавра, а тяговые колеса с электроприводом прижимаются к нижней поверхности двутавра.

Каждый вагон оборудован двумя двухскоростными тяговыми электродвигателями с приводом через гидравлическую муфту. Мощность каждого электродвигателя равна 2,2 квт при числе оборотов 272—155 в минуту. Скорость движения вагона 10—20 км/ч. При увеличении установленной мощности двигателей до 58 квт может быть достигнута скорость 80 км/ч.

Управление всеми 14 вагонами, курсирующими по замкнутой линии дороги протяжением 1,6 км, полностью автоматизировано.

Монорельсовая дорога в Кавасаки (Япония). Навесная дорога в Кавасаки построена фирмой Алвег — Хитачи в сентябре 1963 г. (рис. 12). Город Кавасаки является спутником Токио, и в нем расположены крупнейшие судостроительные и судоремонтные верфи

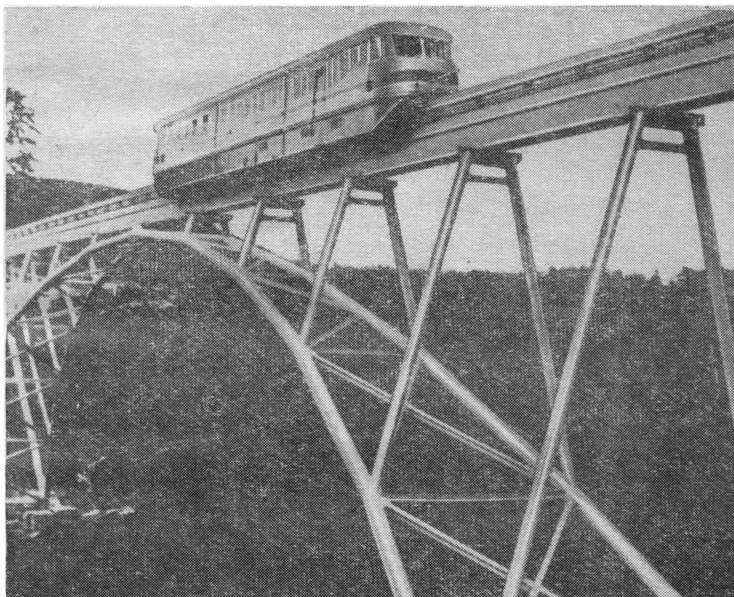


Рис. 12. Навесная монорельсовая дорога в Кавасаки (Япония)

Японии. На линии длиной 1,9 км, соединяющей вокзал с парком Тама Хила или Юмиури (японский «Диснейленд»), расположено три станции. Минимальный радиус кривых участков на линии 100 м, а уклоны достигают $63,5\text{‰}$. Путьевые балки длиной 15 м и весом 21 т установлены на железобетонных опорах до 16 м. При больших отклонениях рельефа применены легкие арочные переходы. На дороге эксплуатируются два опытных трехвагонных поезда длиной 26,4 м. Порожный поезд весит 27,9 т. Он вмещает до 182 пассажиров, из которых 76 обеспечено местами для сидения. Три вагона поезда установлены на четырех тележках, из них две средние моторные. Среднее ускорение равно $0,7 \text{ м/сек}^2$, а замедление $1,1 \text{ м/сек}^2$. Поезд имеет электрические, пневматические и механические тормоза.

Монорельсовая дорога в Нагои (Япония). Подвесная дорога в крупном промышленном центре Японии Нагои (рис. 13) построена

в 1964 г. японскими компаниями Киса Сейза Каиса Мицубиси и Тосиба. Дорога расположена в парке города и имеет конструкцию французской системы САФЕЖЕ.

Монорельсовая дорога в Лозанне (Швейцария). Навесная малогабаритная дорога на Швейцарской национальной выставке в Лозанне сдана в эксплуатацию в 1964 г. Дорога имеет две самостоятельные замкнутые линии общей протяженностью 4,2 км, на которых курсирует 24 поезда; каждый поезд состоит из 16 четы-

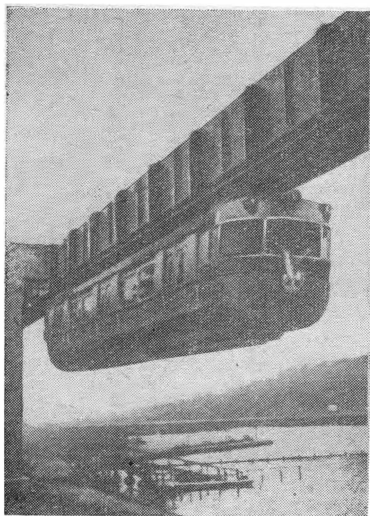


Рис. 13. Подвесная монорельсовая дорога в Нагои (Япония)

рехместных вагонов. Линии, пересекающие всю территорию выставки, расположены на эстакадах высотой 5—10 м, проходят через тоннели и выставочные павильоны и по поверхности земли (вокруг озера). Минимальный радиус закругления равен 15 м, а максимальные уклоны 70‰. При небольшой скорости движения поездов (около 13 км/ч) дорога имеет пропускную способность 5 тыс. человек в час. Отмечаются хорошая обзорность местности из поезда и бесшумность движения его. Следует отметить, что дорога не мешает пешеходному движению на выставке.

Обе линии эксплуатируются по безостановочной системе. Посадка и высадка пассажиров осуществляются на поворотных петлях с круглых посадочных платформ, около которых поезда про-

ходят со скоростью 4,25 км/ч. На дороге имеется три станции. Центральная станция является совмещенной и обеспечивает пересадку с одной линии на другую, а также дает возможность перевода подвижного состава с одной линии на другую. Под этой станцией расположены подземные депо и вагоноремонтные мастерские.

Для доставки пассажиров на территорию выставки с железнодорожной станции Севелин близ Лозанны использована монорельсовая дорога другого типа, названная Телеканале. Эстакада этой дороги имеет расщепленную путевую балку, а вагоны оборудованы продольными сиденьями. Линия обслуживается 20 десятивагонными поездами. Скорость поезда на поворотных петлях на обеих конечных станциях (у железнодорожного вокзала и на выставке) при проходе мимо посадочных дисков снижается до 4,25 км/ч, а на перегонах достигает 10,2 км/ч. Общая длина монорельсовой дороги составляет 1837 м, а ее провозная способность достигает 8000 пассажиров в час.

В качестве путевой балки используется двутавровый прокатный профиль, по нижним полкам которого передвигаются расположенные с небольшим наклоном тяговые колеса. Для питания вагонов трехфазным переменным током напряжением 380 в используется контактный рельс. Общая мощность всех тяговых двигателей поездов, курсирующих на линии (с учетом электропривода посадочных дисков), составляет 770 квт. Подвижной состав хорошо вписывается в кривые радиусом до 7 м. Безопасность движения подвижного состава на линии обеспечивается электронной системой управления, сигналы которой согласуются со скоростью впереди идущего поезда.

Основными принципами создания данной малогабаритной монорельсовой дороги являются: минимальные эксплуатационные расходы, вес вагонов и мощность электропривода; высокая устойчивость; простота и экономичность изготовления.

Монорельсовая дорога в Нью-Йорке (США). Дорога в Нью-Йорке подвесного типа, открытая для эксплуатации в 1964 г., имеет замкнутый путь длиной 1,22 км. Дорога сооружена американской фирмой Америкэн Машине энд Фондри Компани, которая приобрела лицензии у французской фирмы САФЕЖЕ и у американской фирмы Америкэн Кране энд Хойст Компани на постройку подвесных монорельсовых дорог.

Дорога двухпутная, и на каждом пути осуществляется независимое встречное движение поездов. Всего на дороге эксплуатируется семь автоматически управляемых двухвагонных поездов длиной 25,3 м и вместимостью 80 человек. Эти вагоны оборудованы системой кондиционирования воздуха. Три поезда движутся в одном направлении и четыре — в другом. Дорога оборудована совершенной системой автоблокировки и сигнализации и новыми устройствами безопасности. Система автоматического управления осуществляет остановку и отправление поездов, а также открывание и закрывание дверей вагонов на станции.

Единственная станция длиной 48,8 м представляет собой стальной каркас, покрытый снаружи панелями из стеклопластиков. Крыша станции сделана в виде обратной арки. На станции имеется три платформы длиной по 25,6 м: со средней платформы осуществляется посадка пассажиров, а две боковые платформы используются для их высадки. Станция оборудована эскалаторами для одновременной посадки и высадки пассажиров двух поездов.

Особенностью дороги в Нью-Йорке является открытая двутавровая балка, по нижним полкам которой движутся ходовые колеса тяговой тележки, в отличие от подвесных дорог системы САФЕЖЕ с закрытой коробчатой балкой. Горизонтальные стабилизирующие колеса катятся по вертикальной стенке двутавровой балки.

Советскими инженерами еще в 1950 г. при разработке проекта монорельсовой дороги для одного из северных районов страны

(автор проекта инж. О. С. Петренко) была предложена подобная же система подвесной тележки, состоящей из двух пар колес, опирающихся на нижние полки двутавровой ходовой балки и соединенных траверсой с шаровыми шарнирами.

Монорельсовая дорога Токио—Ханеда (Япония). Среди городов, испытывающих наибольшие транспортные затруднения, особое место занимает Токио. Это обуславливается тем, что ежедневно по утрам в Токио прибывает 6—10 млн. работающих в нем людей, которые вечером возвращаются к месту жительства в пригородах. Перемещение такого числа пассажиров является чрезвычайно сложной проблемой, которая с каждым годом в условиях практической невозможности дальнейшего развития наземного общественного транспорта становится все более трудно разрешимой.

Положение в Токио усугубляется еще тем, что город не располагает сквозными уличными магистралями, обычными для европейских городов и городов США, что объясняется хаотической застройкой города. Площадь улиц Токио не превышает 11% всей территории города, равной 578 км², тогда как в Лондоне площадь улиц составляет 23%, в Париже 25%, в Нью-Йорке 35%, а в Вашингтоне 45% территории, занимаемой городом. Интенсивная автомобилизация страны привела к тому, что в конце 1966 г. в столице Японии насчитывалось более 1 млн. автомобилей, причем ежемесячно число их возрастает на 10 тыс.

Ощущая невозможность разрешения транспортной проблемы с помощью существующих средств сообщения, японское правительство и токийские промышленные круги с большим вниманием следили за развитием новых видов транспорта и охотно поддержали предложение американской фирмы Локхид построить в Токио скоростную монорельсовую дорогу. Эта дорога соединила расположенную в центре города станцию Хамаматсучо японских государственных железных дорог с международным аэропортом Ханеда.

Вследствие высокого уровня грунтовых вод в Токио, удорожающих сооружение подземных линий метрополитена, монорельсовая дорога на этом направлении была признана в наибольшей степени отвечающей местным условиям. Для проектирования и строительства дороги была создана специальная компания Нихон Монорейл с главным управлением в Токио, в которую, помимо фирмы Локхид, вошли еще семь японских фирм.

Монорельсовая дорога начинается от подземной станции Аэропорт Ханеда, проходит по тоннелю длиной 700 м под взлетно-посадочными полосами и после выхода в наземную трассу у северной окраины аэропорта идет параллельно автостраде, а затем снова проходит через тоннель длиной 0,6 км под рекой Эбитори, являющейся важной судоходной артерией города. Вблизи реки на расстоянии около 3 км от Ханеда размещено депо монорельсовой дороги Сиояяма, сооруженное на искусственно намытом острове.

Затем на протяжении 8 км дорога проходит над территорией гавани и набережных вдоль берега океана (рис. 14) и пересекает несколько новых районов города. Предусмотрено, что в будущем этот участок монорельсовой дороги будет перенесен на 800 м от берега. Пассажиры поезда, который движется со скоростью 100 км/ч, могут осматривать Токийский залив с одной стороны и промышленный район — с другой.

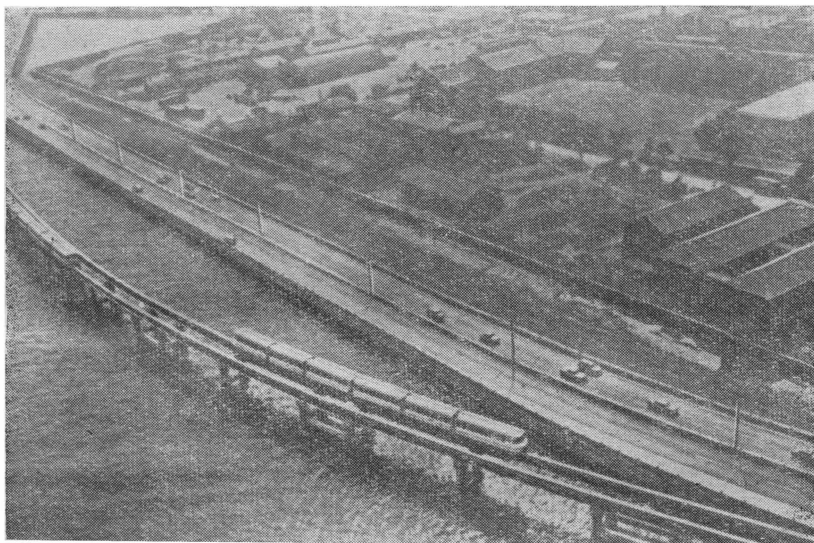


Рис. 14. Монорельсовая дорога, идущая вдоль берега океана

Далее дорога пересекает другую автостраду и восьмипутную экспрессную линию Токайдо. Оканчивается монорельсовая дорога на пятом этаже здания конечной станции Хамаматсучо, примыкающей, как уже указывалось, к одноименной станции японских государственных железных дорог.

Двухпутная линия дороги имеет две ходовые балки, расстояние между которыми равно 3,6 м. Эти балки располагаются на общих опорах высотой до 20 м, установленных на расстоянии 20—37 м друг от друга. На участках трассы, где расстояние между ходовой балкой и поверхностью земли менее 3,5 м, установлена защитная ограда.

Ходовые балки изготовлены из предварительно напряженного железобетона, но применяются также и стальные (типа мостовых) балки. Все ходовые балки имеют ширину 0,8 м и высоту 1,4 м. Одна опора каждой балки подвижна. Т- и П-образные стойки железобетонные и стальные. Тоннельные участки имеют приме-

угольные (кессонного изготовления) и круглые (щитовой проходки) сечения. Стрелочные переводы представляют собой гибкие балки на ответвлениях с главных путей и шарнирные — в вагонных депо.

Станция Ханеда подземная двухэтажная. На первом этаже размещен билетный зал с тремя проходами к зданию аэропорта, а во втором — платформа островного типа шириной 10 м и длиной 100 м. На станции Хамаматсучо имеется две платформы шириной 6—10 м и длиной по 65 м. Все пять этажей здания соединены двухсторонними эскалаторами.

Строительство монорельсовой дороги осуществлено за 17 месяцев и окончено к открытию Олимпийских игр 1964 г. С этого времени дорога находится в эксплуатации. На линии эксплуатируется пять шестивагонных поездов. Каждый поезд длиной 59,4 м вмещает 498 пассажиров. Все вагоны моторные, имеют ширину 3,02 м и высоту 4,3 м. Максимальная скорость движения 100 км/ч, средняя эксплуатационная 80 км/ч, а скорость сообщения 53 км/ч. Расстояние 15 км, на покрытие которого рейсовыми автобусами ранее затрачивалось до 1,5 ч, теперь преодолевается за 15 мин при длине спрямленного монорельсового пути 13,2 км. Интервал движения поездов равен 7,5 мин в часы пик и 15 мин в остальное время. Пропускная способность дороги за сутки составляет 101 500 пассажиров в каждом направлении. За первые четыре месяца эксплуатации дороги был перевезен 1 млн. пассажиров. Питание линии осуществляется от пяти тяговых подстанций мощностью 1000 квт с кремниевыми выпрямителями.

Опыт эксплуатации этой дороги показал, что наличие на ней только двух конечных станций составляет существенные эксплуатационные трудности, так как она не обслуживает территорию, по которой проходит, а только перевозит пассажиров аэропорта. Поэтому рентабельность дороги полностью зависит от развития аэропорта Ханеда.

Намеченный перспективный план удлинения трассы и увеличения числа станций на ней уже реализуется. В 1965 г. открыта новая промежуточная станция у ипподрома, расположенная примерно в середине трассы. Станция связывает город и аэропорт с ипподромом и с крупным промышленным районом, расположенным в зоне этой станции. Введение в эксплуатацию промежуточной станции «Ипподром» привело к увеличению пассажиропотоков на дороге, причем на этой станции останавливается только 51 поезд из 112 поездов, проходящих по дороге в каждом направлении.

В настоящее время в Токио намечено строительство еще шести линий монорельсовых дорог для обеспечения массовых перевозок пассажиров в условиях узких улиц города.

Монорельсовая дорога в Мюнхене (ФРГ). В Мюнхене на выставке в 1965 г. была построена малогабаритная монорельсовая дорога Минирэйл, которая запроектирована для осуществления

местных перевозок со скоростью движения трамвая при незначительных путях разгона и торможения. Эта дорога должна дополнять скоростную монорельсовую дорогу типа Алвег, которая может перевозить большое количество пассажиров на значительные расстояния. Дорога Минирэйл при скорости движения поездов 13 км/ч перевозит 5000 пассажиров в час. Она имеет кольцевую трассу протяжением $3,5 \text{ км}$ и сооружена Швейцарской фирмой Машинен-фабрик Хабеггер, впервые построившей аналогичную дорогу в 1964 г. на Швейцарской национальной выставке в Лозанне.

Дорога имеет навесную эстакадную конструкцию; на ней эксплуатируется 9 поездов, каждый из которых состоит из семи вагонов. Общее число мест в поезде 84. На дороге сооружено четыре станции, оснащенные эскалаторами. Поезда следуют на линии с интервалом $2,5 \text{ мин.}$ Ходовая балка имеет расщепленную конструкцию и состоит из двух продольных элементов, расположенных таким образом, что между дорожками качения колес обеспечивается расстояние 550 мм.

Управление движением поездов на дороге осуществляется дежурным по станции, который для отправления поезда нажимает соответствующую кнопку. Управление поездом на перегоне между станциями осуществляется автоматически. Если впереди идущий поезд по какой-либо причине остановился, то скорость следующего за ним поезда автоматически снижается, а при сокращении расстояния до установленного минимума (18 м) поезд останавливается. Поезда дороги Минирэйл движутся бесшумно на резиновых пневматических шинах. Все вагоны являются моторными, поэтому поезд свободно преодолевает подъемы 100% .

В головном вагоне поезда расположен преобразователь переменного тока напряжением 380 в в постоянный ток, которым питаются тяговые электродвигатели. Благодаря этому достигается очень плавное регулирование скорости движения поезда. На каждой тележке вагона установлено по два тяговых двигателя. Электроснабжение поезда осуществляется от контактного рельса, уложенного между двумя элементами расщепленной ходовой балки.

Для экстренного торможения, а также на случай разрыва электрической цепи поезд имеет электромагнитный дисковый тормоз. Помимо поворотных колес на трассе сооружены стрелочные переводы, которые позволяют переводить поезда на боковой путь и с него на передвижную платформу, служащую для перевозки вагонов в депо и в ремонтные мастерские.

Монорельсовая дорога в Блэкпуле (Англия). В 1966 г. открыта для движения навесная монорельсовая дорога в Блэкпуле протяженностью $1,6 \text{ км}$. Дорога построена в городской зоне отдыха; ее трасса имеет вид прямоугольника с малыми радиусами (до 15 м) закругления и значительными уклонами (до $1:14$). На дороге сооружено две станции: северная, расположенная на высоте $10,7 \text{ м}$ над поверхностью земли и оборудованная эскалатором, и централь-

ная, где путевая балка проходит по бетонной платформе, расположенной на земле.

Путевая балка дороги представляет собой два стальных швеллера, установленных с зазором 10 см и соединенных болтами. Между швеллерами размещается электрическое оборудование. Балка расположена на высоте до 10,7 м от поверхности земли и опирается на 170 металлических опор.

На монорельсовой дороге эксплуатируется четыре поезда, каждый из которых состоит из 15 четырехместных вагонов. Поезд имеет двенадцать тяговых электродвигателей мощностью по 1,5 л. с. (общая установленная мощность равна 18 л. с.), 32 обрезиненных ходовых колеса и 96 направляющих колес.

Скорость движения поезда равна 13 км/ч, и всю трассу он проходит за 9 мин; интервал движения 2,5 мин. Вместимость поезда 60 пассажиров. Провозная способность монорельсовой дороги 1440 пассажиров в час. Два поезда имеют полуоткрытую конструкцию с крышей, но без стенок (кроме кабины машиниста), а два других поезда — полностью закрытую конструкцию обтекаемой формы. Последние поезда эксплуатируются в основном во время плохой погоды. В депо для отстоя поездов в ночное время передача вагонов с одного пути на другой осуществляется поперечным перемещением вагонов вместе с отрезком монорельса.

Монорельсовая дорога в Питтсбурге (США). Фирмой Вестингауз вблизи Питтсбурга построен опытный участок длиной 2,85 км для испытания новой системы скоростной навесной монорельсовой дороги с расщепленной балкой. Особенности дороги являются экипажи на пневматических шинах (с электрическим приводом и шасси автомобильного типа) и сбособленная (надземная, наземная или подземная) проезжая часть, обеспечивающая не зависящее от остальных видов транспорта движение отдельных экипажей и поездов.

Дорога предназначена для освоения средних пассажиропотоков (8—20 тыс. пассажиров в час в одном направлении), и это позволило в максимальной степени упростить и облегчить конструкцию как подвижного состава, так и путевых устройств.

Основные параметры дороги получены на основе изучения транспортных затруднений как очень крупных городов (например, Нью-Йорка, Чикаго и др.), так и средних городов со значительно меньшими пассажиропотоками даже в перспективе. Изучение показало, что никакая одна транспортная система не в состоянии удовлетворить все транспортные потребности любого большого города. Для достижения максимума удобств перемещения пассажиров с минимальными затратами необходимо разумное сочетание всех видов транспорта как в отдельных районах, так и во всей транспортной системе города.

При выборе основных параметров дороги и во время испытания на опытном участке анализировались следующие факторы: харак-

теристики тяги и торможения; надежность и безопасность управления и связи; качество хода; характеристики шасси; аварийные режимы; деформации ходовых балок и эстакады; режим работы силовой передачи; работа передвижной платформы (транспортирующей тележки); изменение состояния поездов; изменение скорости движения поездов по кривым; возможность точного соблюдения скорости движения, обусловленной графиком; влияние климатических условий.

Во время испытаний осуществлялось независимое изменение всех технических и эксплуатационных параметров, а на всем протяжении проектирования и строительства опытного участка систематически учитывались все расходы.

Были отобраны четыре конструкции: продольные балки из предварительно напряженного железобетона трапециевидного и прямоугольного сечений, а также стальные продольные балки коробчатого и двутаврового сечений. Конструкция со стальными продольными балками двутаврового сечения, имеющая наименьшую стоимость и являющаяся в то же время наиболее удачной с эстетической точки зрения, была принята для надземного участка трассы.

Участок дороги длиной 213 м расположен на поверхности земли и представляет собой продольные балки из предварительно напряженного железобетона, установленные на бетонных поперечных шпалах, уложенных на балласте с шагом 3 м.

Средняя длина пролета на надземных участках равна 18,3 м, а длина наибольшего пролета составляет 39,6 м. У каждого пролета предусмотрены зазоры для теплового расширения. Ходовая дорожка наформовывается на надземных и наземных участках после монтажа продольных балок на месте. Этим обеспечивается плотная пригонка стыков и снижаются динамические усилия, передаваемые на экипаж.

Вдоль внутренней стороны одной из ходовых балок проложены медные провода для питания трехфазным переменным током при напряжении 565 в, а с другой стороны — провода цепей связи и управления. В местах расположения станций провода перекрываются предохранительными кожухами. Два трансформатора мощностью 3 тыс. *квт* расположены вблизи станций. Система питания спроектирована для регулирования напряжений в пределах 15%.

На участке имеется три опытных вагона, эксплуатируемых поодиночке или соединенными в поезда. Для возможности испытания подвижного состава в тяжелых атмосферных условиях в сочетании с наиболее неблагоприятной эксплуатационной обстановкой дорога построена с большими уклонами и многими кривыми малого радиуса. При полностью автоматическом управлении движением с единого пульта на прямом участке достигается скорость движения 80 *км/ч*, а при проходе кривой минимального радиуса (45,7 м) она снижается до 32 *км/ч*.

Монорельсовая дорога в Париже. В 1966 г. было намечено строительство подвесной монорельсовой дороги системы САФЕЖЕ в юго-восточном пригороде Парижа. Эта линия имеет протяжение около 3 км и в дальнейшем будет продлена до центральной части города. Еще пять новых маршрутов монорельсовых дорог находятся в стадии изучения и утверждения в Парижском транспортном управлении (RATR).

Основным доводом в пользу интенсивного развития монорельсового транспорта является то, что система таких дорог может быть построена не только быстро, но и дешево, так как стоимость их составляет около $\frac{1}{4}$ стоимости метрополитена той же протяженности. При этом предпочтение отдано системе САФЕЖЕ вследствие того, что у этих дорог ходовые дорожки, тележки и контактные провода расположены внутри балки и защищены от атмосферного влияния. Закрытый путь обеспечивает бесшумность и высокую маневренность движения. Конструкция дороги допускает кривые малого радиуса (до 30 м горизонтальные и до 214 м вертикальные) и значительные уклоны (до 1 : 10). Это позволяет легко приспособить трассу дороги к застройке любого города и резко изменять уровень дороги при подходах к станциям.

ПРОЕКТЫ МОНОРЕЛЬСОВЫХ ДОРОГ

В настоящее время во многих больших городах мира предусматривается совершенствование транспортной системы путем строительства монорельсовых дорог. Предназначаются они главным образом для связи центров городов с аэропортами, городами-спутниками и районами массовой застройки. Известны также проекты магистральных линий монорельсовых дорог для непосредственной связи центров крупных городов и как средства городского транспорта.

Большое количество проектов монорельсовых дорог разработано в Англии.

В Лондоне для связи центральной части города с аэропортом запроектирована двухпутная монорельсовая линия протяженностью 25,6 км с предварительно напряженными железобетонными балками шириной 0,6 м и высотой 1,37 м. Вагоны по проекту будут иметь 51 место для сидения. Кузов вагона опирается на две тележки с обрешеченными колесами. В начальный период намечено пропускать вагоны со скоростью около 110 км/ч. В дальнейшем предполагается увеличить скорость до 400 км/ч. При этом провозная способность дороги составит около 4 тыс. пассажиров в час. На каждой тележке будет установлен дизель с индивидуальным приводом. Вагоны дополнительно снабжаются колесами автомобильного типа и смогут передвигаться по обычным дорогам (например, в пределах аэропорта и вагонного депо).

Другим проектом предусмотрено строительство в Лондоне девяти подвесных монорельсовых дорог системы САФЕЖЕ, расходя-

щихся радиально из центральных районов на расстояние 32 км. Каждая дорога будет однопутной с безостановочным движением поездов и будет доставлять пассажиров утром из пригородов в центр Лондона, а вечером — из центра в пригороды. Таким образом, в часы пик отдаленные районы будут связаны со всеми вокзалами Лондона этими скоростными безостановочными линиями, а все промежуточные пункты будут обслуживаться существующей сетью железных дорог и метрополитеном. Монорельсовые дороги предполагается проложить сбоку существующих железнодорожных линий или над ними, что сведет к минимуму размеры земельных участков, необходимых для установки опор.

Пункты посадки и высадки пассажиров монорельсовых дорог в Лондоне будут расположены над существующими вокзалами, что уменьшит стоимость постройки дорог. Каждый конечный пункт на окраинах Лондона будет обслуживать пассажиров в радиусе 8 км. Под платформами каждой станции предусматривается сооружение стоянки для 2000 легковых автомобилей.

Подсчитано, что такая однопутная монорельсовая дорога при наличии двухвагонных поездов (вместимость 200 пассажиров), следующих с интервалами 40 сек, сможет перевозить 18 тыс. пассажиров в час. Для этого потребуется 90 поездов и соответствующие сооружения на вокзалах Лондона и на конечных пунктах дороги. Предполагается, что монорельсовые дороги будут полностью автоматизированы. Опоры будут устанавливаться на расстоянии 36 м.

Строительство монорельсовых дорог предполагается осуществить за 18 месяцев. Потребные капиталовложения составят 0,75—1,5 млн. руб. на 1 км пути, тогда как стоимость строительства 1 км надземной железной дороги достигает 3,75 млн. руб., а метрополитена 5 млн. руб. Предполагается, что система таких монорельсовых дорог будет иметь очень низкие эксплуатационные расходы, так как все процессы на них будут автоматизированы.

В Манчестере (Англия) при выборе скоростного общественного транспорта было установлено, что наиболее экономичным является использование монорельсовой дороги подвесного типа, которую решено построить для связи центра города с аэропортом с перспективой продления ее в пригороды. При протяженности линии первой очереди 25,6 км и расстоянии между остановочными пунктами 800 м общая стоимость монорельсовой дороги со всем оборудованием и подвижным составом равняется 18,9 млн. руб.

Для этой монорельсовой дороги предусмотрено использование новой конструкции железобетонной путевой балки закрытого типа с расстоянием между опорами 30,5—61 м и более (например, при пересечении водных преград). Опоры круглого сечения, имеющие основания диаметром 0,9 м, устанавливаются на разделительной полосе автомобильной дороги и защищаются от наезда автомобилей островками безопасности, возвышающимися над поверхностью дороги.

В Англии разработаны планы использования монорельсовых дорог системы САФЕЖЕ при реконструкции транспорта Лестера (намечено построить двухпутные линии протяженностью 11,2 км), при организации транспортного обслуживания в новом городе Бакингемшире (предполагается строительство двухпутных линий длиной 48 км), а также в ряде других городов.

В некоторых проектах предусмотрен переход от тяговых колес на пневматических шинах к обрешиненным стальным колесам. Это обуславливается тем, что сопротивление качению экипажей на пневматических шинах на 7,26 кГ/т больше, чем сопротивление качению аналогичных экипажей со стальными колесами, движущихся по рельсам в тех же диапазонах скоростей. Многие современные проекты навесных монорельсовых дорог предусматривают расположение нескольких пар направляющих колес на разных уровнях с тем, чтобы создать стабилизирующий момент сил, как в системе Алвег.

В проекте монорельсовой дороги для Каракаса (Венесуэла), помимо расположения тяговых колес с пневматическими шинами под углом 8° к вертикали, для создания стабилизирующего момента предусмотрена также пара верхних горизонтальных колес со страхующими роликами.

Подготовлен к рассмотрению проект сооружения монорельсовой дороги в Вене.

В США намечается строительство монорельсовых дорог в 17 городах, в том числе в Сан-Франциско, Нью-Йорке, Вашингтоне и т. д. Ожидается, что средняя скорость передвижения по подвесной дороге в Нью-Йорке, где намечено построить такие дороги протяженностью 80 км, будет равна 65 км/ч, тогда как скорость Нью-Йоркского метро составляет 38 км/ч, а наземного транспорта 25 км/ч. Для связи делового района Манхэттен с аэродромом Идлевилд запроектирована монорельсовая дорога подвесного типа, которая позволит сократить время поездки до аэропорта с 1 ч (на автобусе в настоящее время) до 12 мин. Предполагается использовать французскую систему САФЕЖЕ. Строительство будет вести фирма АМФ.

Фирма Вестингауз Электрик в Нью-Йорке разработала новую систему транспортного обслуживания пассажиров Транзит Экспрессвей, которая предусматривает автоматическое движение поездов со скоростью 80 км/ч. Скорости движения свыше 80 км/ч при средней длине перегонов 1,6 км признаны неэкономичными. Поезда с электрическим приводом в зависимости от интенсивности движения будут включать 1—10 алюминиевых вагонов и перевозить 5—14 тыс. пассажиров в час в одном направлении. Алюминиевый вагон при длине 7 м, ширине 2,4 м и высоте 2,7 м весит 3,9 т.

Система автоматического регулирования будет поддерживать интервал между поездами менее 2 мин.

Надземная конструкция состоит из путевой балки специального профиля и бетонных опор, располагаемых на расстоянии 13,4—30,5 м. Предполагается обеспечить минимум эксплуатационных расходов путем полной автоматизации всех процессов, связанных с работой новой транспортной системы. Движение поездов будет контролироваться размещаемыми на каждой станции контроллерами, работающими по программе, задаваемой и контролируемой центральным вычислительным и управляющим устройством. Местные контроллеры будут регулировать скорость поездов, их отправление и остановку, а также управлять закрыванием и открыванием дверей.

В Сан-Франциско составлено двенадцать различных проектов улучшения транспортной системы с применением монорельсовых дорог. Один из проектов предусматривает строительство подвесной дороги французской системы. Стоимость строительства дороги и подвижного состава по проекту составит около 2 млн. руб. на 1 км пути.

В Новом Орлеане намечается проложить монорельсовую дорогу длиной 25,4 км, которая соединит центр города с аэропортом. Будут эксплуатироваться двух- и четырехвагонные поезда, развивающие скорость до 160 км/ч. Каждый вагон предполагается оборудовать дизелями. Разрабатываются проекты дорог для большого и малого объема перевозок. Для варианта с большим объемом перевозок запроектирован вагон на 110 мест, из них 60 мест для сидения. Время проезда из центра города в аэропорт составит 14 мин. Ориентировочная стоимость сооружения 1 км двухпутной линии составляет 765 тыс. руб., а однопутной — 450 тыс. руб.

В Лос-Анджелесе для более быстрого сообщения с Сан-Фернандо, расположенным на расстоянии 70 км, намечается строительство монорельсовой дороги со скоростью движения поездов до 160 км/ч.

В одном из проектов монорельсовой дороги для Лос-Анджелеса предусмотрено устройство на путевых балках направляющих (рис. 15), к которым прижимаются специальные ролики с вертикальными осями вращения. Помимо несущих колес с пневматическими шинами обычного автобусного типа, в данной конструкции имеются расположенные с внутренней стороны стальные колеса с ребордами, используемые для контакта с переводными стрелками обычного железнодорожного типа и в качестве предохранительных колес в случае прокола шин ведущих колес.

В Вашингтоне намечается создание скоростной городской транспортной системы, включающей 185 км пригородных монорельсовых дорог.

В Детройте проектируется строительство сети монорельсовых дорог общей протяженностью 86,7 км.

В Сан-Пауло (Бразилия) намечается создание сети однорельсовых дорог для скоростного движения общей протяженностью 100 км.

Фирма Алвег (ФРГ) проектирует опытный участок монорельсовой двухпутной дороги нового типа длиной 3 км с тремя станциями. Поезда будут обращаться по одному железобетонному рельсу шириной 0,8 м и высотой 1,4 м, опирающемуся на железобетонные опоры высотой 6 м. Длина балок рельса 15 м, вес 28 т. Вагон длиной 22 м и шириной 3 м будет вмещать 100 пассажиров.

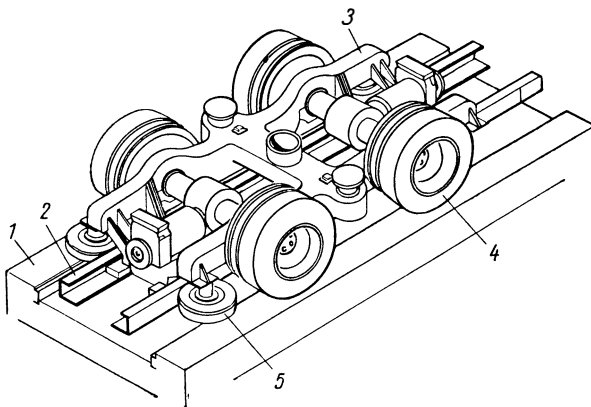


Рис. 15. Расположение ходовых частей на путевой балке монорельсовой дороги, запроектированной для Лос-Анджелеса (США):

1 — несущая балка; 2 — направляющая балка; 3 — рама тележки; 4 — несущее колесо; 5 — направляющее колесо

Каждый вагон будет иметь два тяговых двигателя мощностью по 75 квт при напряжении 1200 в. Возможное ускорение равно $1,2 \text{ м/сек}^2$, а максимальная скорость будет составлять около 80 км/ч.

В Мехико (Мексика) запроектирована монорельсовая дорога системы Алвег. Первая очередь длиной 17 км должна пройти по трассе Соколо-Центральная станция — Университетский городок. Предполагается, что однорельсовая дорога будет перевозить ежегодно при 65%-ной загрузке подвижного состава 46 млн. пассажиров, или 27% всех пассажиров, перевозимых всеми видами городского транспорта. Скорость движения предполагается около 100 км/ч. Всего на строительство первой очереди потребуется около 50 млн. руб. Ожидается, что дорога окупится за шесть лет. Дорога в пригородах будет проходить на высоте 3 м, в городах — на высоте 5 м, а над железными дорогами — на высоте 7 м от поверхности земли.

В Южной Родезии строится сеть магистральных монорельсовых дорог. Один участок уже эксплуатируется, и дорога проходит

непосредственно по поверхности земли или по эстакаде. Ходовая балка и опоры изготавливаются из предварительно напряженного бетона. Помимо ведущих колес, вагоны имеют направляющие колеса небольшого диаметра с пневматическими шинами.

В Колумбии разработан проект монорельсовой дороги длиной 40 км, так как пересеченность рельефа затрудняет применение других видов транспорта.

Кроме того, разработаны проекты монорельсовых дорог для Филадельфии, Кливленда, Денвера (США), Бирмингама (Англия), Мельбурна (Австралия), Гамбурга (ФРГ), Торонто (Канада) и ряда других городов.

В Советском Союзе проведена значительная подготовительная работа по применению монорельсовых дорог.

Значительный опыт, накопленный в процессе проектирования, строительства и эксплуатации внутривозвездных монорельсовых дорог, позволил конструкторам перейти к разработке проектов более крупных монорельсовых дорог, предназначенных для пассажирского сообщения в городах, между городами и крупными промышленными предприятиями, а также для грузового движения на территориях крупных административных районов.

Одной из таких дорог явилась подвесная дорога протяженностью 511 км, разработанная в 1954 г. для западного побережья Камчатки. Эта дорога вполне пригодна для районов с неблагоприятными климатическими условиями.

Детально разработанные исследовательские и проектные материалы данной монорельсовой дороги представляют большой интерес и наряду с другими проектами, которые будут рассмотрены ниже, свидетельствуют о глубокой проработке как общих вопросов, связанных с применением монорельсовых дорог, так и конкретных конструктивных решений их отдельных элементов.

Рассмотренные при проектировании Камчатской монорельсовой дороги вопросы в определенной степени могут считаться характерными для районов, которые расположены восточнее Урала. Эти районы, обладающие большими природными богатствами и энергетическими источниками, могли бы быть освоены значительно быстрее, если бы для них было найдено удовлетворительное решение транспортной проблемы.

Монорельсовая дорога, запроектированная для Камчатки, представляет собой металлический рельс специального профиля. По нижним полкам рельса перемещаются металлические опорные колеса тележек, поэтому дорога названа однорельсовой железной дорогой.

Для максимального облегчения рельса было признано целесообразным разгрузить его от боковых усилий, возникающих при движении подвижного состава по кривым участкам пути. С этой целью была применена гибкая подвеска рельса.

Эстакада для дороги представляет собой несущую балку 5 (рис. 16), опирающуюся на Г-, Т- или П-образные опоры. Все детали эстакады спроектированы в расчете на заводское изготовление элементов и сборку конструкции на месте из готовых узлов и деталей. Каждый портал состоит из ригеля 1, опирающегося на стойки 2, устанавливаемые в столбовые фундаменты 6. Рельс 3 подвешивается к несущей балке 5 с помощью тяг 4.

Материалом для изготовления несущей балки, ригеля и стоек может служить как сталь и железобетон, так и древесина твердых и стойких пород. Для конкретных условий западного побережья Камчатки в качестве основного материала для всех элементов

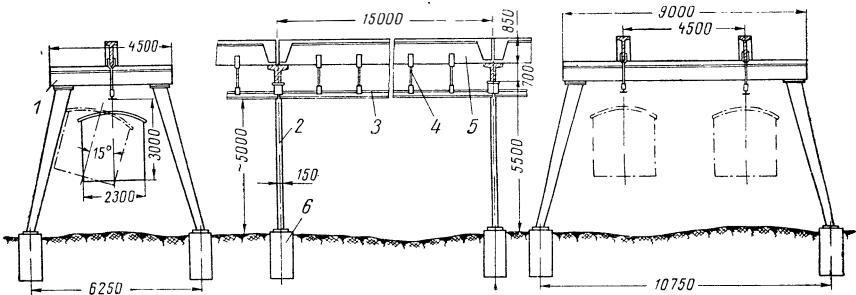


Рис. 16. Эстакада подвесной дороги для западного побережья Камчатки

эстакады принят железобетон, так как лес в этих местах является дефицитным материалом, а для изготовления железобетонных конструкций имеются местные материалы и сырье для производства цемента.

Размеры эстакады определены с учетом габаритов вагонов грузоподъемностью 10 т при ширине 2,4 м и локомотивов с силой тяги до 8000 кг. В первый период эксплуатации предполагалось использование тепловозов, которые после окончания строительства всей дороги и электростанций должны быть заменены электровозами.

Средняя высота отметки поверхностей качения рельса на перегонах запроектирована равной 5,0 м от поверхности земли; расстояние от поверхности качения рельса до низа вагона 3,0 м. Высота подвески рельса на станциях составляет 4,0—4,2 м; при этом обеспечивается высота пола вагона 1,3 м, наиболее удобная для перегрузки грузов на автомобили.

При принятой системе реализации силы тяги от нижнего тягового колеса поверхностям качения рельса удалось придать наклонное положение, при котором повышается устойчивость экипажа и создается возможность увеличения диаметра как ходовых, так и тяговых колес. При высоте профиля рельса 120 мм и изготовлении его из углеродистой мартеновской стали вес 1 м

рельса равен 24 кг. Расстояние между точками подвески рельса (между тягами), определенное по условиям прочности как рельса, так и тяг (с допускаемой нагрузкой до 5 т на тягу), принято равным 1,5 м. При высоте таврового сечения несущей балки 850 мм, ширине верхней полки 450 мм и толщине стенок 100 мм оптимальная длина пролета несущей балки определена равной 15 м.

Кривые участки пути в плане представляют собой изогнутые отрезки подвешенных рельсов. Расчетный минимальный радиус кривой по условиям вписывания одиночного вагона равен 3 м, однако практически намечалось применение минимального радиуса 10 м — для примыкания внутризаводских веток (усов), 25 м — для линий на перегонах в трудных условиях, 50 м — для линий на перегонах в нормальных условиях. Рекомендуемые радиусы составляли 100—200 м, а максимальный радиус 500 м. Для уменьшения инерционных сил сопряжение кривых предполагалось производить с использованием переходных кривых.

Результатом выводов о значительных преимуществах использования монорельсовых дорог в районах с неблагоприятными климатическими условиями и со слабо развитой транспортной сетью является предложение о развитии сети монорельсовых дорог в северных районах Западной Сибири.

Чтобы получить оптимальные рекомендации по выбору единой транспортной сети северного района Западной Сибири, была проанализирована сравнительная экономическая эффективность применения в этих условиях различных видов транспорта, в том числе монорельсовых дорог среднего и тяжелого типов с теплово-зной тягой.

Для возможности наиболее полного выявления экономически целесообразных сфер применения различных видов транспорта определены расходы по освоению каждым видом транспорта грузопотоков от 100 тыс. до 3 млн. т в одном направлении.

Стоимость основных средств и эксплуатации каждого вида транспорта рассматривалась с учетом большей частью заболоченной территории и наличия на остальной ее части глинистых и увлажненных суглинков, мало пригодных для возведения земляного полотна. Большая часть автомобильных и железных дорог должна располагаться на насыпях высотой 2—3 м, сооружаемых из привозного грунта. Дополнительную трудность представляет при этом проблема стабилизации земляного полотна, так как наличие переувлажненных грунтов приводит к деформациям полотна и верхней одежды дорог. Данный район находится в поясе высокой снежности, и в зимний период на дорогах обычны снежные заносы, для ликвидации которых необходимо устройство мощных снегозадерживающих ограждений и содержание дополнительного штата рабочих и парка специальных машин (снегочистителей, бульдозеров и т. д.). Строительство и эксплуатация монорельсовых дорог в описанных условиях связаны с меньшими

трудностями, чем строительство и эксплуатация других видов транспорта, так как для монорельсовой дороги не требуется сплошного земляного полотна и подвижной состав передвигается над землей.

Рассматривались также монорельсовые дороги с легкой эстакадой, представляющей собой горизонтальную направляющую и несущую балку, опирающуюся на железобетонные или металлические опоры, располагаемые на расстоянии 15—25 м одна от другой. Контакт эстакады с грунтом ограничивается фундаментами, имеющими небольшую площадь; при этом стабилизировать грунт под опорой значительно легче, чем обеспечить устойчивость монолитного земляного полотна железной или автомобильной дороги.

Снежные заносы не влияют на работу монорельсовых дорог, и бесперебойность движения поездов обуславливается самой конструкцией этих дорог без каких-либо дополнительных расходов.

На основании выводов, устанавливающих экономичность монорельсовых дорог, была разработана перспективная сеть магистральных дорог на территории северного района Западной Сибири. Намечаемый перспективный план строительства монорельсовых дорог предусматривает в качестве первоочередных дороги Омск—Сургут и Норильск—Салехард.

В Советском Союзе разработан ряд проектов монорельсовых дорог для ускорения пассажирских перевозок в крупных городах и для связи больших жилых массивов таких городов с территорией промышленных предприятий. При этом учитывалось, что при значительной площади многих заводов и достигнутой плотности различных видов транспорта (железнодорожного и автомобильного) на промышленных площадках крупнейших предприятий время, затрачиваемое рабочими для прохода по территории завода к своим цехам, часто превышает время езды к заводу от места жительства. Кроме того, такие переходы очень часто бывают не вполне безопасными. Применение монорельсовых дорог в этих случаях позволяет в условиях полной безопасности значительно ускорить доставку рабочих от места жительства непосредственно в цехи заводов.

При анализе возможности ускорения массовых перевозок людей в пределах крупных индустриальных центров, и особенно при необходимости доставки большего количества людей в определенных направлениях в ограниченное время (например, перед началом смен крупных предприятий), было установлено, что наиболее приемлемым в этом случае является монорельсовый транспорт, так как с помощью автобусов, троллейбусов и трамваев нельзя полностью решить проблему скоростной бесперебойной доставки рабочих из города на предприятие и, наоборот, с предприятия в город.

В 1957 г. был разработан проект постройки монорельсовой пассажирской дороги подвешенного типа для Темир-Тау и связи его с Карагандинским металлургическим комбинатом. В данных условиях требовалось найти решение транспортной проблемы для неблагоприятных обстоятельств, обуславливаемых тем, что одновременно на работу прибывало большое количество человек, причем 70% всех работающих на комбинате проживало в Темир-Тау. Сопоставлялись монорельсовая дорога (рис. 17) и трамвайная линия. Параметры вагона монорельсовой дороги выбирались из условия возможности использования серийных электродвигателей, пускового и тормозного оборудования, тяговых колес, кресел и т. п.

Выбранный маршрут монорельсовой дороги протяженностью 19,1 км должен соединять центр Темир-Тау с Карагандинским металлургическим заводом. Предусматривалось девять посадочных платформ высотой 4—5,5 м над поверхностью земли, пять из которых должны быть расположены непосредственно на территории завода.

Путевой рельс был запроектирован в виде специального таврового профиля с сечением 200×200 мм (вес 1 м рельса равен 80—85 кг). Контактный медный провод прикрепляется на

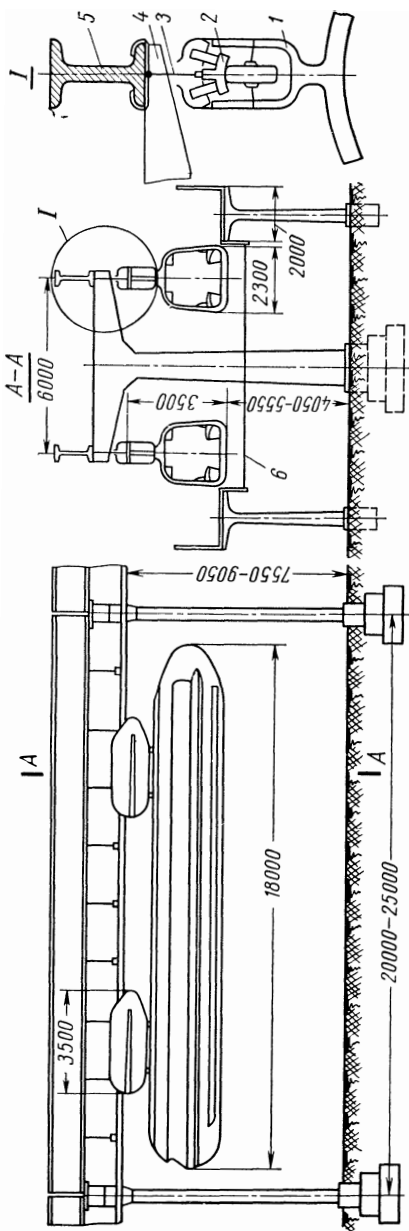


Рис. 17. Проект монорельсовой дороги для Темир-Тау:

1 — кузов вагона; 2 — ходовой рельс; 3 — подвеска; 4 — ригель; 5 — несущая балка; 6 — предохранительная сетка

изоляторах к рельсу, а отводящим проводом является сам рельс.

Предполагалось, что подвижной состав для монорельсовой дороги будет состоять из обтекаемых моторных вагонов длиной 19,0 м.

При сравнении технико-экономических показателей трамвайной линии и монорельсовой дороги было установлено, что при меньших капиталовложениях (1 км монорельсовой дороги стоит 0,241 млн. руб., трамвайной линии — 0,34 млн. руб.) монорельсовая дорога обеспечивает значительно большие удобства пассажирам как в отношении времени поездки (15,3 мин по сравнению с 42 мин), так и в отношении длины пути от станций до основных цехов (0,2 км по сравнению с 1,5 км при езде на трамвае).

В процессе выбора наиболее рациональных видов транспортных средств для перевозки пассажиров по территории крупных промышленных предприятий и для связи городов с ними институтом Промтранспроект обоснована целесообразность использования для этих целей монорельсовых дорог и разработаны проекты строительства таких дорог в Магнитогорске (1960 г.), Миассе (1961 г.) и др.

Для Магнитогорска были разработаны два варианта монорельсовой дороги протяженностью 21,6 и 16,5 км. Вследствие того, что второй вариант оказался более экономичным и обеспечивал лучшее транспортное обслуживание главных цехов комбината, он был принят в качестве основного. Была рекомендована монорельсовая дорога подвесного типа с вагонами на пневматических шинах с давлением в них 8—10 кг/см².

При выборе конструкции опор и пролетных строений исходили из необходимости использования небольшой площади, чтобы не нарушать линий городского и внутризаводского транспорта. Для того чтобы под дорогой возможно было движение наземного транспорта, высота опор была принята равной 10 м. При высоте опор до 15 м фундамент и сама опора сооружаются из одиночных железобетонных центрифугированных предварительно напряженных оболочек. Опоры высотой 23 м запроектированы пространственными, состоящими из четырех оболочек диаметром 1,0 м.

Поверх стоек укладывается балка двутаврового сечения: двухконсольная при двухпутной дороге и одноконсольная — при однопутном движении. К поперечным консольным балкам подвешивается пролетное строение в виде железобетонных предварительно напряженных балок двутаврового сечения.

Рассмотрение различных сочетаний опор и пролетных строений показало, что при высоте опор около 10 м наиболее экономично пролетное строение длиной 20 м, а при высоте 15 м и более длина пролетного строения должна приниматься равной 30 м.

Посадочные платформы располагаются на эстакадах на высоте 5—6 м и имеют длину 70 м и ширину 4 м. Такая длина позво-

ляет эксплуатировать трехвагонные поезда; при этом имеется запас 10 м на неточность остановки.

Средняя эксплуатационная скорость при расстоянии между остановками в городе около 2 км и на территории завода около 1,5 км составит примерно 50 км/ч. Вместимость двухвагонных поездов составляет 300 человек.

При разработке проекта монорельсовой дороги для Магнитогорска и Магнитогорского металлургического комбината выявилась определенная трудность, которая заключалась в необходимости пересечения многочисленных железнодорожных (в том числе электрифицированных) путей, газопроводов и реконструкции или перенесения ряда зданий и промышленных сооружений.

При разработке наиболее рациональных транспортных средств для Миасса рассматривался монорельсовый транспорт в сравнении с автобусным, троллейбусным и трамвайным сообщением.

При сравнительно больших расстояниях (10—15 км) для доставки значительного количества людей от места жительства до места работы с помощью наземных видов транспорта требовалось много времени на поездки, а при увеличении скоростей движения этих видов транспорта, как показало исследование, необходимы значительные затраты на развязку транспортных потоков в разных уровнях.

Были рассмотрены три варианта монорельсовой дороги.

Первый вариант — навесная дорога с балкой из напряженно-армированного железобетона, имеющей коробчатое сечение высотой 1,4 м и шириной 0,8 м. По верхней части балки катятся ходовые колеса, а по боковым граням — направляющие. Длина пролетов 15—20 м. Несущие балки опираются на Т-образные опоры круглого сечения; низ консолей располагается на высоте не менее 4,5 м от уровня проезжей части улиц.

Второй вариант — подвесная дорога с металлической балкой подковообразной формы, внутри которой ходят тележки вагонов и проложены токонесущие и сигнальные провода, защищенные от атмосферных осадков. Расход металла на 1 м одного пути составляет 800 кг. Балки длиной 30 м подвешиваются к консолям Т-образных железобетонных опор, имеющих круглое сечение.

Третий вариант — подвесная дорога с железобетонной балкой коробчатого сечения, состоящей из двух половин, объединяемых верхней плитой с ребрами для увеличения жесткости балки в направлении действия поперечных нагрузок. Вес одного блока длиной 30 м равен 37,5 т. Балки подвешиваются к Т-образным опорам, стойки которых изготавливаются из центрифугированных труб диаметром 1,3 м.

Наиболее дешевой и простой в изготовлении является навесная монорельсовая дорога с железобетонной эстакадой с пролетами 20 м на столбчатых фундаментах и 25 м с фундаментами на

свайном ростверке. Наибольшая скорость движения поездов была принята равной 120 км/ч.

Для монорельсовой дороги Миасса принят подвижной состав типа Алвэг.

Преимущества монорельсовых дорог при использовании их для улучшения работы общественного транспорта в крупных городах обусловили проведение научно-исследовательских работ и создание проектов монорельсовых дорог в Москве. При наличии широко развитой сети линий метрополитена необходимость создания нового вида общественного внеуличного транспорта должна обосновываться особенно тщательно, так как уменьшение капиталовложений может оказаться недостаточно эффективным по сравнению с теми возможностями, которые может дать использование имеющегося парка подвижного состава действующего метрополитена для обслуживания его новых линий.

Вопросами обоснования наиболее рациональной трассы и конструкции монорельсовой дороги для Москвы занимается несколько проектных и исследовательских организаций: Институт генерального плана Москвы, Академия коммунального хозяйства, Государственный проектно-изыскательский институт Метрогипротранс, Управление Московского метрополитена и др. Для разработки проекта подвижного состава для монорельсовой дороги были привлечены различные заводы, проектные организации и научно-исследовательские институты. Общее руководство работами по проектированию и строительству монорельсовых дорог в Москве осуществляет Транспортное управление Московского городского совета.

Изысканиями Института генерального плана Москвы обоснована целесообразность постройки в Москве разветвленной сети монорельсовых дорог к аэропортам Внуково, Шереметьево и Домодедово, в зону отдыха в районе Клязьминского водохранилища и по малому кольцу Московской железной дороги, используемому в настоящее время для грузовых перевозок. Имеются проекты строительства монорельсовых дорог и для внутригородских сообщений. На основе анализа технических показателей существующих навесных и подвесных монорельсовых дорог Институтом генерального плана Москвы сделан вывод о примерной равноценности их строительных и эксплуатационных показателей.

При разработке проекта исходили из следующих основных параметров и технических норм:

Расчетная скорость движения в км/ч	120
Максимальный уклон продольного профиля в ‰	40
Максимальный радиус кривой в плане в м	200
Вес тары одного вагона (вместимость 150 человек) в т	12
Мощность электродвигателей на один вагон в кВт	300
Расстояние между опорами эстакады в м	20

В качестве подвижного состава в проекте принята трехвагонная секция с расчетной вместимостью 450 пассажиров. Провозная способность монорельсовой дороги при частоте движения 40 пар поездов в час составит 18 тыс. пассажиров в одном направлении.

Расчетная провозная способность дороги может колебаться от 6 тыс. (при одном вагоне) до 36 тыс. (при шести вагонах в поезде) пассажиров в одном направлении.

Трассы монорельсовых дорог к аэропортам Внуково и Шереметьево разработаны с выходом непосредственно к центральному аэровокзалу на Ленинградском проспекте или к периферийным станциям метрополитена.

Сопоставление этих вариантов показывает, что вывод линии к центральному аэропорту помимо сложности, связанной с прокладкой дороги через застроенные кварталы города, влечет за собой и весьма существенное удлинение трассы: до 33,3 км вместо 14,8 км по дороге к аэропорту Внуково и до 27,1 км вместо 17,0 км по дороге к аэропорту Шереметьево.

Остальные линии имеют следующую протяженность: от ст. Каширское шоссе Замоскворецкого радиуса метро до аэропорта Домодедово 32 км; от Рижского вокзала до зоны отдыха на Клязьминском водохранилище 32 км.

При определении размеров перевозок пассажиров в аэропорты принято, что 85% пассажиров будут пользоваться услугами монорельсового транспорта и 15% — другими видами общественного транспорта.

Время следования пассажиров до пунктов назначения составит: до Внуково 7,5 мин, до Шереметьево 11 мин, до Домодедово — 20 мин и до Клязьминского водохранилища 20 мин. Наличие частых остановок на кольцевой линии снижает расчетную эксплуатационную скорость до 40 км/ч.

Управлением Московского метрополитена разработано четыре варианта монорельсовой дороги для Москвы (табл. 1), причем для подвижного состава на колесах в качестве электроприводов рекомендовано применение безредукторных тяговых двигателей мощностью $4 \times 85 = 340$ квт при 885 об/мин, обеспечивающих скорость движения вагона до 120 км/ч, или редукторных тяговых двигателей мощностью $4 \times 130 = 520$ квт при 3800 об/мин с ослаблением поля, обуславливающих скорость движения вагона до 130 км/ч. Рабочее напряжение во всех случаях рекомендовано равным 825 в.

Для бесколесного подвижного состава на воздушной подушке предлагается применять два реактивных двигателя общей мощностью 5000 л. с. и компрессор мощностью 1000 л. с. для создания воздушной подушки.

Государственным проектно-изыскательским институтом Метропротранс разработаны варианты строительства монорельсовых

Таблица 1

**Основные варианты монорельсовых дорог для Москвы,
рекомендованные Управлением московского метрополитена,
и их технические характеристики**

Основные показатели	Подвесная монорельсовая дорога		Навесная монорельсовая дорога	
	с металлическими колесами	с колесами на пневматических шинах	с колесами на пневматических шинах	на воздушной подушке
Максимальная скорость движения в км/ч	150	150	150	650
Пусковое ускорение в м/сек ²	1,5	1,5	1,5	—
Замедление при торможении в м/сек ²	1,5	3,0	3,0	4,0
Вес вагона в т	19,0	19,0	20,0	20,0
Количество пассажиров (полезная нагрузка)	60	60	60	80
Длина вагона в м	16,0	16,0	16,0	16,0
Ширина вагона в м	2,4	2,4	2,7	2,7
Высота пассажирского помещения в м	2,0	2,0	2,0	2,0
Диаметр колес в м	0,78	1,2	1,2	—

дорог от станции метрополитена Юго-Западная до аэропорта Внуково и от станции метро Автозаводская до станции Коломенское Московской железной дороги.

Проектное задание на подвесную монорельсовую дорогу к аэропорту Внуково было разработано в 1963 г.; при этом было проведено сравнение ее с наземной линией метрополитена для той же трассы. Для двухпутной линии протяженностью 15,1 км была выбрана подвесная монорельсовая дорога с коробчатой балкой, предохраняющей пути качения от воздействия атмосферных условий. При высоте опор 12—20 м оптимальное расстояние между опорами составило 30 м. Ходовые балки такой длины с поперечным сечением размером 1,72 × 1,75 м рассматривались в двух вариантах — металлические (вес около 30 т) и железобетонные (вес 75 т).

Станции с эскалаторами запроектированы как с двумя боковыми платформами, так и островного типа.

При максимальной частоте движения 40 пар поездов в час и интервалах движения между поездами 90 сек на монорельсовой дороге предполагалось реализовать максимальные скорости движения до 150 км/ч и среднюю скорость 70—100 км/ч. Провозная способность монорельсовой дороги составляла 12 тыс. пассажиров в час при трехвагонных поездах, 24 тыс. пассажиров в час при шестивагонных поездах и 31 тыс. пассажиров при восьмивагонных поездах.

При безостановочном следовании по всему участку (расстояние между станциями 15,1 км) скорость сообщения равна 114 км/ч.

При наличии промежуточных станций и расстоянии между ними 2,5 км скорость сообщения будет равна 65 км/ч, при 5 км — 85 км/ч и при 7,5 км увеличится до 100 км/ч.

Стоимость строительства 1 км двухпутной линии монорельсовой дороги для данной трассы установлена равной 1,6 млн. руб., в то время как стоимость постройки 1 км метрополитена подземной линии глубокого заложения составляет 6,0—8,0 млн. руб., подземной линии мелкого заложения 3,5—4,5 млн. руб. и наземной линии 1,2—1,5 млн. руб.

Более детально в 1964 г. был разработан проект монорельсовой дороги от станции метрополитена Автозаводская до станции Коломенское Московской железной дороги для связи Замоскворецкого радиуса метрополитена с новым крупным жилым районом Волхонка — ЗИЛ.

Линия протяженностью 8,5 км запроектирована с тремя станциями — Автозаводская, Нагатино и Коломенское. Расстояние между станциями Автозаводская и Нагатино равно 3,4 км, а между станциями Нагатино и Коломенская 4,63 км. За станцией Коломенское намечалось построить депо с подъездной веткой длиной 0,7 км.

Линия запроектирована двухпутной с путевой балкой коробчатого сечения и дорожками качения, защищенными от атмосферного воздействия. Расстояние между опорами согласно технико-экономическим расчетам принято равным 30 м на прямых участках и 20—25 м — на кривых. Максимальный уклон принимался равным 50‰, радиусы вертикальных кривых 3000 и 5000 м, радиусы горизонтальных кривых 400, 600 и 1500 м, ширина междупутья (расстояние между продольными осями балок) 5,5 м.

Коробчатые балки разработаны в двух вариантах: предварительно напряженные железобетонные из бетона марки 500 (тип 1 — постоянного сечения и тип 2 — ребристые) и сварные из прокатной стали марки М16С (также двух типов). Для изготовления 1 м железобетонных балок требовалось 0,27—0,43 т металла, а для металлических — 0,62—0,73 т. Однако, учитывая, что на 1 м железобетонных балок расходуется 1,02—1,07 м³ бетона, вес балок при длине 30 м составляет: железобетонных 77,8—83,8 т и металлических 18,70—21,60 т.

На двухпутных участках дороги применены Т- и П-образные опоры, а на однопутных — Г-образные. Т-образные опоры используются для участков, на которых расстояние от низа вагона до поверхности земли равно 4,5—9,0 м, а П-образные опоры — при большей высоте. Для всех опор приняты свайные основания.

Сопоставление разработанных вариантов балок монорельсов показало, что металлические балки обладают рядом преимуществ — они примерно в 4 раза легче железобетонных, проще в изготовлении — не требуют специальных форм и стендов, а также значительно упрощают сборочные работы, так как в этом случае не нужны специальные транспортные средства. Однако металлические балки в значительно большей степени подвержены вибрациям, поэтому окончательный выбор наиболее рационального варианта балки-монорельса можно сделать только после изготовления опытных образцов балок и экспериментальных исследований их на прочность, устойчивость и вибрацию.

Все станции монорельсовой дороги запроектированы из сборного железобетона и оборудуются необходимым комплексом санитарно-технических устройств.

Для предотвращения проникновения в зимний период холодного воздуха в надземные вестибюли предусматривается сооружение воздушно-тепловых завес. Служебные помещения вестибюлей запроектированы с отоплением, вентиляцией, водопроводом и канализацией.

Станция монорельсовой дороги Автозаводская запроектирована подземной и совмещенной с существующей станцией метрополитена. Вначале трасса в этой застроенной части города должна пройти под землей до Москва-реки. Этот участок дороги длиной 0,85 км разработан в двух вариантах: в тоннелях мелкого заложения и надземным. Далее дорога пойдет над землей до конца трассы с надземной станцией Нагатина.

Станция Коломенское спроектирована в двух вариантах — в виде станции, совмещенной на одном уровне со станцией железной дороги, и в виде надземной отдельной станции. Стоимость последней станции с пешеходным мостом к одноименной железнодорожной станции на 800 тыс. руб. меньше стоимости совмещенной станции, обеспечивающей удобную пересадку пассажиров.

Участок от станции метро Автозаводская до станции Нагатина имеет очень неблагоприятные геологические условия (трасса дороги проходит через пойму Москва-реки) и находится на направлении поселка Ленино, который становится районом массовой застройки. На этом направлении ожидаются очень крупные пассажиропотоки, освоить которые в часы пик может только метрополитен. Поэтому проектом предусмотрен и второй вариант освоения ожидаемых в этом районе пассажиропотоков путем продления существующей линии метрополитена от конечной станции Автозаводская до станции Нагатина и доведения ее в дальнейшем до поселка Ленино, а монорельсовая дорога соединит станцию метрополитена Нагатина со станцией Коломенское Московской железной дороги. Протяженность этой дороги с двумя конечными станциями составит 5,2 км.

Для второго варианта дороги станция Нагатино запроектирована в двух вариантах — надземной (с островной и боковыми платформами) и подземной. Несмотря на то, что подземная станция стоит на 1,6 млн. руб. дороже, чем надземная, она более удобна для пересадки пассажиров с других видов транспорта и улучшает архитектурный вид центра Нагатино.

Помимо указанных проектов, постройка монорельсовых дорог предусмотрена еще в 19 городах, в том числе в Киеве, Ленинграде, Харькове, Горьком, Тбилиси, Новосибирске, Волгограде и др.

Рассмотренные материалы позволяют сделать следующие основные выводы:

1. Монорельсовые дороги заняли прочное место среди других видов массового общественного транспорта и все построенные в последние годы участки их, как правило, находятся в эксплуатации.

2. Строительство монорельсовых дорог осуществляется быстро с использованием индустриальных методов и современной монтажной техники; при этом практически работа действующего транспорта не нарушается.

3. Стоимость строительства и эксплуатационные расходы монорельсовых дорог в большинстве случаев оказываются меньшими по сравнению со стоимостью строительства и эксплуатационных расходов других видов массового общественного транспорта.

4. Монорельсовые дороги имеют высокую пропускную способность, приближающуюся к пропускной способности метрополитена.

5. Современные монорельсовые дороги характеризуются высокими скоростями движения, безопасностью и надежностью в эксплуатации, независимостью как от других видов транспорта, так и от атмосферных воздействий, и по мнению многих исследователей с помощью этих дорог можно наиболее экономично разрешить транспортные затруднения современных крупных городов.

ПЕРСПЕКТИВЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ МОНОРЕЛЬСОВЫХ ДОРОГ

Помимо постоянного улучшения конструктивного выполнения всех элементов монорельсовых дорог, для которых используются хорошо отработанные узлы и блоки ходовых частей и кузовов серийно выпускаемых транспортных средств, а также повышения эксплуатационных показателей этих дорог, в настоящее время проводятся интенсивные исследования, разрабатываются проекты и создаются опытные участки монорельсовых дорог с принципиально новыми качественными и эксплуатационными характеристиками.

Определились два основных направления совершенствования монорельсовых дорог. Одно из них характеризуется пересмотром

принципов движения и тяги на монорельсовых дорогах и стремлением создать высокоскоростные дороги для междугородных перевозок. Другое направление предусматривает создание на базе монорельсовых дорог универсальных транспортных средств, отвечающих перспективным требованиям, предъявляемым к внутригородским и пригородным перевозкам в условиях максимального комфорта пассажиров и доставки их «от двери до двери».

Из основных работ первого направления следует отметить исследования, проектные разработки и мероприятия по практическому использованию на монорельсовых дорогах принципа движения на воздушной подушке и новых видов электродвигателей (так называемых линейных или развернутых асинхронных электродвигателей).

Использование принципа движения на воздушной подушке практически полностью устраняет все трудности, связанные с увеличением скорости движения колесного подвижного состава. Известно, что для рельсового подвижного состава с ростом скоростей движения значительно усложняется проблема прохождения стыков, так как при больших скоростях необходимо усложнение конструкции как подвешивания вагонов, так и путевого полотна. У подвижного состава на пневматических шинах ограничение скорости связано с интенсивным износом шин. Поэтому признано, что максимальная экономичная скорость движения подвижного состава на пневматических шинах должна быть не больше 150 км/ч.

Скорость монорельсового поезда на воздушной подушке ограничена только его аэродинамическим сопротивлением (подобно самолету). Большим преимуществом таких поездов является повышенный комфорт для пассажиров, так как давление воздушной подушки резко не меняется. Кроме того, безопасность движения в данном случае обеспечивается более простыми средствами, чем у обычного колесного подвижного состава.

Линейный электродвигатель является обычным асинхронным двигателем, как бы разрезанным и развернутым в плоскости. Ротор такого двигателя представляет собой плоскую плиту из токопроводящего материала (например, алюминия), размещаемую на ходовой балке дороги, а плоский статор с обмотками полюсов монтируется под вагоном и перемещается вместе с ним вдоль ротора. Если обычный асинхронный двигатель создает вращающий момент, то линейный двигатель создает непосредственно тяговое усилие, необходимое для поступательного движения.

Основными преимуществами такого двигателя являются: высокий к. п. д., большая мощность, приходящаяся на единицу веса, простота конструкции, обеспечение тяги на крутых подъемах, отсутствие шума и вибраций при работе, отсутствие контакта между движущимися частями, простота ремонта и ухода в эксплуатации. При этом сила тяги двигателя не зависит от сцепления

колес с поверхностью качения и поэтому она не ограничена величиной нагрузки экипажа.

Применение линейного электродвигателя на монорельсовых дорогах является значительным шагом вперед в техническом прогрессе транспорта вообще. Вследствие отсутствия ведущих колес и независимости тяги от сил сцепления появляется возможность эксплуатации дороги с расчетной скоростью при любых погодных условиях, так как ухудшение состояния пути при снегопадах и гололедах практически не отражается на условиях разгона и торможения поезда.

Сохраняя все преимущества обычного монорельсового транспорта, такие монорельсовые дороги позволяют реализовать очень высокие скорости движения (300—800 км/ч) и осуществлять беспересадочные перевозки большого количества пассажиров между центрами крупных городов.

При указанных выше скоростях основным сопротивлением движению является сопротивление воздуха, поэтому подвижной состав должен иметь хорошо обтекаемую форму и гладкую поверхность. Дороги оснащаются совершенными системами автоблокировки и электронными устройствами для автоматического вождения поездов. В качестве силовых установок на подвижном составе таких дорог используются газовые турбины авиационного типа, быстроходные дизели, а также обычные и линейные тяговые электродвигатели.

Торможение подвижного состава осуществляется с помощью воздушных винтов и непосредственного контакта между дорогой и специальными устройствами в системе, создающей воздушную подушку. При применении индукционного двигателя торможение может осуществляться изменением направления тяги и создания контакта с дорогой.

Направление движения подвижного состава и устойчивость его против смещения от среднего положения обуславливаются конструкцией дороги. Трассы таких сверхскоростных дорог проектируются с минимальным количеством горизонтальных и вертикальных кривых, так как каждое внезапное изменение положения вагона, поворот или наклон его на больших скоростях будут вызывать увеличение перегрузок у пассажиров.

Определились два типа монорельсовых дорог с использованием подвижного состава на воздушной подушке. Один тип характеризуется тем, что подвижной состав движется на воздушной подушке по ходовым балкам, имеющим обычную для монорельсовых дорог или несколько измененную форму (например, в виде перевернутой буквы Т); другой тип предусматривает использование специального бетонного пути лотковой формы.

В 1965 г. в Киеве создан электродвигатель с развернутым ротором, работающий на трехфазном переменном токе. Сила тяги в нем создается бегущим в роторе магнитным полем. Развернутый

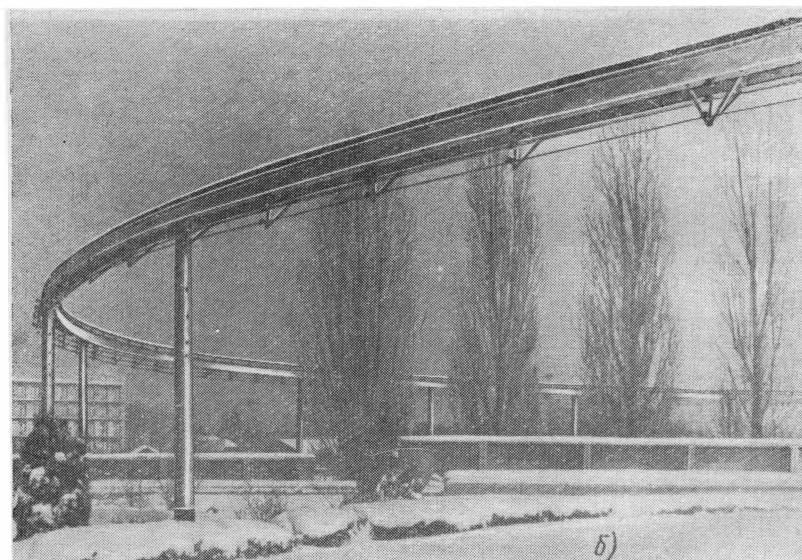


Рис. 18. Опытный участок навесной монорельсовой дороги с линейным двигателем:
а — на заводе им. Дзержинского в Киеве; *б* — на Выставке передового опыта в народном хозяйстве УССР

ротор представляет собой прямоугольный металлический стержень, монтируемый на путевой балке и являющийся частью эстакады. Неподвижный статор со специальной обмоткой монтируется под вагоном. Специальные устройства поддерживают между ротором и статором постоянный зазор 3—4 мм.

На территории завода был построен экспериментальный участок навесной монорельсовой дороги протяжением 100 м (рис. 18, а), где проводились испытания модели вагона с линейным электродвигателем мощностью 5 квт. Несмотря на ограниченную протяженность участка, вагон с нагрузкой 300 кг развивал скорость 40 км/ч, быстро разгоняясь и почти мгновенно останавливаясь. В результате проведенных испытаний в 1966 г. на заводе был создан вагон для четырех пассажиров, оборудованный линейным электродвигателем мощностью 10 квт.

В 1967 г. на Выставке передового опыта в народном хозяйстве Украинской ССР для испытания этого вагона построена кольцевая монорельсовая дорога навесного типа длиной 525 м с радиусами кривых 50 м (рис. 18, б). Для пропуска наземного автомобильного транспорта и пешеходов высота железобетонных опор монорельсовой дороги принята равной 6—9 м. Пролетные строения изготовлены из двутавровых металлических балок.

В Промтрансниипроекте в 1966 г. был разработан проект навесной монорельсовой дороги с линейным электродвигателем для Киева. Дорога пройдет от станции метро Гидропарк до моста им. Патона и будет иметь длину около 2 км. Эта дорога (рис. 19) предназначена как для экспериментальных целей, так и для регулярной перевозки пассажиров.

Ниже приведены основные проектные данные монорельсовой дороги станция метро Гидропарк — мост им. Патона в Киеве:

Длина трассы в км	1,8	Мощность линейных электро-	
Число станций	2	двигателей в квт	160
Расчетная скорость движения поездов в км/ч	120	Полный вес вагона в т	20
Радиусы кривых в м:		Высота железобетонных опор в м	6—11
на трассе	600	Длина пролетов на участках в м:	
» стрелочном переводе	200	прямых	24
Количество пассажиров, вмещааемых в вагон	120	кривых	21

На станции Гидропарк (рис. 20) запроектированы две платформы для одновременной посадки и высадки пассажиров. Стрелочный перевод имеет гибкую конструкцию. Устройства энергоснабжения, связи, сигнализации, централизации и блокировки (СЦБ) и контактной сети обеспечивают автоматическое ограничение скорости на кривых участках, при прохождении стрелочного перевода, при подходе к станциям, а также автоматическую остановку вагона на станциях независимо от внимательности машиниста. Для путевых балок принята несколько измененная

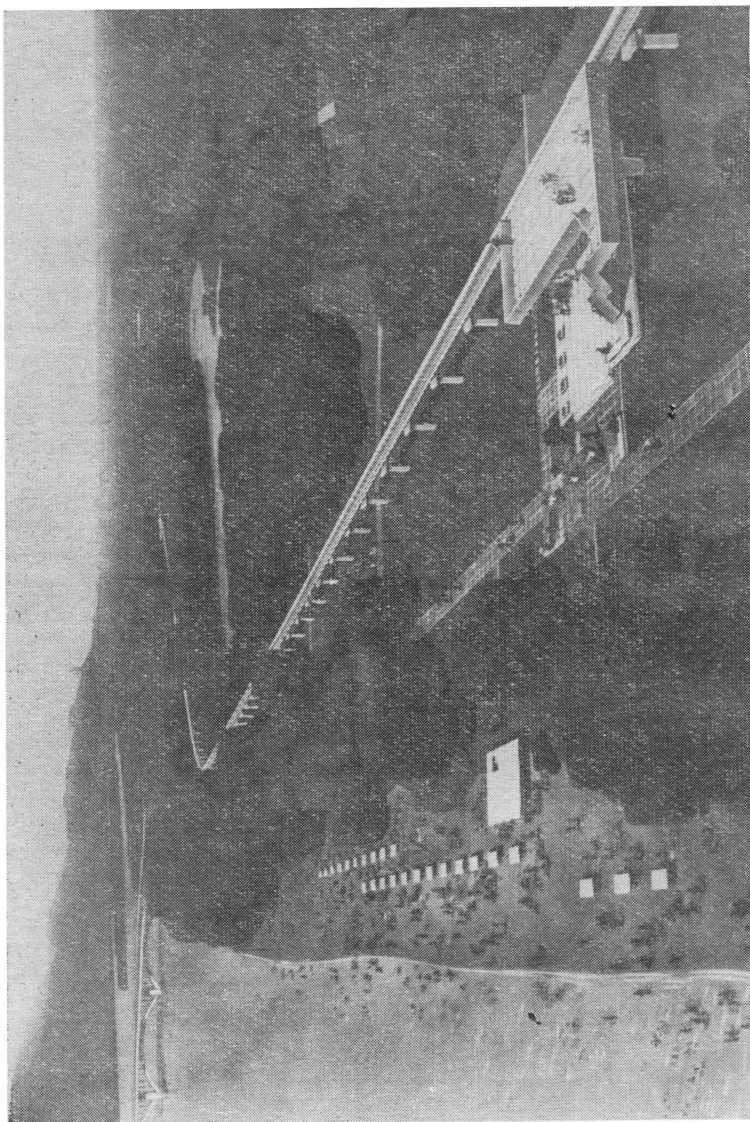


Рис. 19. Общий вид монорельсовой дороги от станции мост им. Патона до станции метрополитена Гидропарк в Киеве (проект)

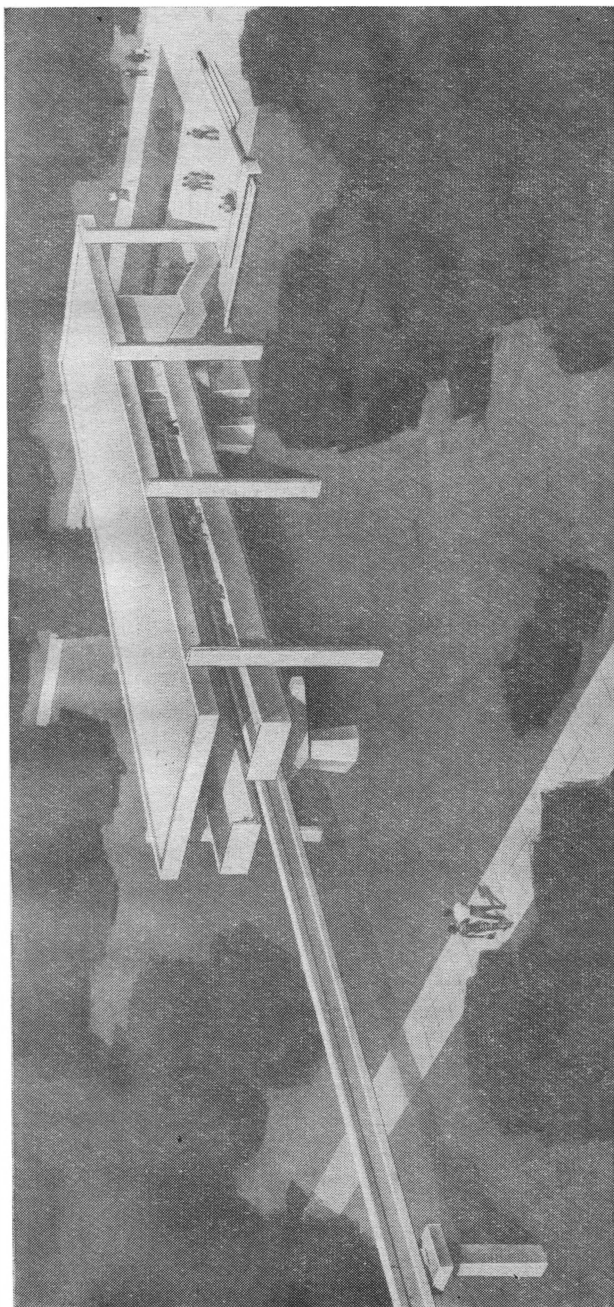


Рис. 20. Станция Гидропарк (проект)

конструкция балки типа Алвег с вмонтированным в нее развернутым ротором.

За рубежом интенсивно ведутся работы по созданию монорельсовых дорог на воздушной подушке. Практические результаты достигнуты во Франции, Англии и США.

Во Франции монорельсовую дорогу на воздушной подушке считают наиболее рациональным видом транспорта для перевозок пассажиров как на незначительные расстояния (например, около

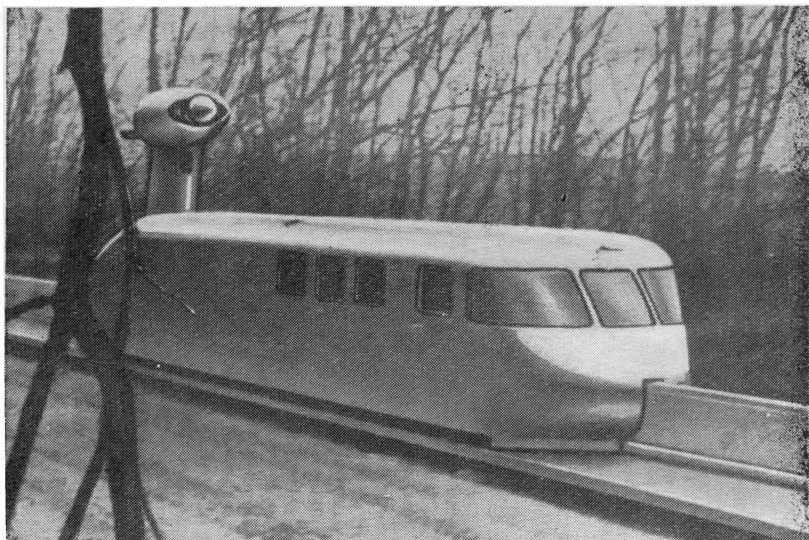


Рис. 21. Опытный участок монорельсовой дороги на воздушной подушке во Франции

12 км между центром Парижа и аэропортом Орли), так и на большие расстояния (450 км между Парижем и Лионом). Эстакада такой дороги будет проходить на высоте 4,5—5,5 м от поверхности земли и располагаться на опорах, установленных на расстояниях 15,2—24,4 м друг от друга.

Практические работы по реализации этого принципа были начаты в мае 1965 г., когда была утверждена 18-месячная программа постройки и испытаний монорельсовой дороги на воздушной подушке. Опытный участок дороги построен между Лимуром и Гомец ля Вилем (вблизи Парижа) в уменьшенном масштабе и для сокращения начальных капиталовложений расположен непосредственно на земляном полотне бездействующей ветки железной дороги (рис. 21). Через 7 месяцев экспериментальный образец вагона (названного аэропоездом) прошел по начальному отрезку пути протяжением 4 км, где впоследствии развивал

скорость 200 км/ч. В 1966 г., когда был построен весь опытный участок длиной 7 км, начались скоростные испытания аэропоезда и в особенности различных систем создания воздушных подушек и систем торможения. После установки реактивного двигателя аэропоезд развивал скорость 281 км/ч, а в дальнейшем она была увеличена до 303 км/ч, что для поезда в натуральную величину соответствует скорости 424 км/ч.

Монорельс представляет собой \perp -образную железобетонную балку, изготовляемую секциями и собираемую на трассе. Вагон как бы насажен на вертикальное направляющее ребро. Между горизонтальной плоскостью основания ходовой балки и вертикаль-

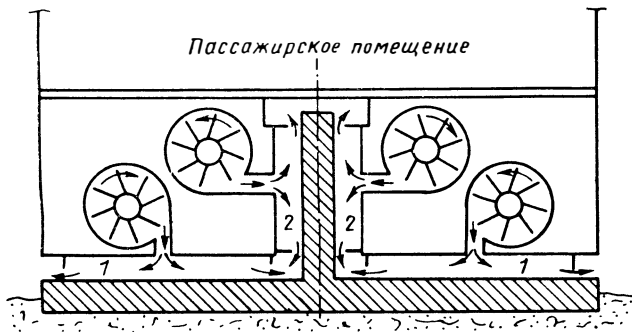


Рис. 22. Схема образования воздушной подушки

ным ребром, с одной стороны, и низом вагона и внутренним пазом в нем — с другой, создаются воздушные подушки. Воздушные подушки 1 (рис. 22) поддерживают вагон над основанием, а воздушные подушки 2 центрируют вагон во время движения относительно вертикального ребра. Воздушные подушки создаются компрессорами, монтируемыми в полу вагона. Сила тяги для движения вагона создается пропеллером, приводимым во вращение авиационным турбинным двигателем, или линейным электродвигателем. В последнем случае вертикальное направляющее ребро, изготовленное из соответствующего токопроводящего материала, будет играть роль короткозамкнутого линейного ротора. Статор этого двигателя располагается под полом вагона. Опытный участок имеет железобетонный путь. Ширина горизонтального основания пути равна 1800 мм, а высота вертикального направляющего ребра 555 мм. Опытный вагон аэропоезда имеет двухместную кабину (для машиниста и инженера-испытателя) и пассажирское помещение для четырех человек. Разворот вагона для движения в обратном направлении на опытном участке осуществляется с помощью поворотного круга.

Испытания показали стабильность системы воздушной подушки и управления аэропоездом при движении с высокими

скоростями, подтвердили легкость изменения толщины воздушной подушки и надежность работы систем ускорения и торможения поезда. Разработана и осуществляется программа дальнейших испытаний полотна и аэропоезда, выполненных в натуральную величину. После окончания этих испытаний предполагается организовать движение аэропоездов между Парижем и Орлеаном.

Ходовая балка монорельсовой дороги, спроектированной для нормальной эксплуатации, имеет основание шириной 3,45 м и толщиной 41 см; высота вертикального направляющего ребра равна 1,0 м, а толщина его 20,4 см.

Вагон для нормальной эксплуатации оборудуется турбореактивными двигателями для создания тяги и воздушной подушки между основанием вагона и ходовой балкой. При движении на воздушной подушке между основанием вагона и верхней плоскостью ходовой балки образуется зазор 10—20 мм. Движение и основное торможение вагона осуществляются с помощью пропеллеров, приводимых во вращение двигателями, располагаемыми в хвостовой части вагона. Более подробно опытный вагон и вагоны для нормальной эксплуатации описаны в следующем разделе.

Применение монорельсовых дорог подобной конструкции со скоростями движения от 200 км/ч для коротких расстояний до 320 км/ч для длинных позволит сократить время доставки пассажиров из центра Парижа в аэропорт Орли с 20—30 мин до 4—6 мин, а из аэропорта Бурже до центра с 45—60 мин до 8—10 мин. Большим преимуществом аэропоездов данной конструкции является их надежность при эксплуатации в любую погоду.

Проектные разработки показали, что дороги этого типа будут иметь низкие стоимость постройки и эксплуатационные расходы. Кроме того, указанные дороги особенно экономичны при коротких маршрутах с большими пассажиропотоками. Они обеспечат более высокий уровень комфорта пассажиров, так как вагоны при высоких скоростях движения будут иметь очень небольшие поперечные колебания и отклонения от направления движения и совершенно незначительный уровень шума в пассажирском помещении (вследствие заднего расположения двигателей и отсутствия колес).

Повышенная безопасность движения обусловлена невозможностью схода вагона с рельсов (вследствие наличия вертикального направляющего ребра значительной высоты) и нагрева букс (часто являющегося причиной серьезных происшествий на железнодорожном транспорте), а также расположением ходовых балок на эстакаде, что устраняет возможность возникновения помех со стороны других видов транспорта и каких-либо столкновений.

Оборудование линии современными электронными системами управления и контроля позволяет повысить частоту движения аэропоездов, которые могут следовать один за другим на расстоянии, равном 30—100 длинам вагона. При возрастании пассажиро-

потоков к моторному вагону можно прицеплять безмоторный вагон, благодаря чему вместимость состава удвоится. После испытания аэропоезда со скоростью 200 км/ч правительство Франции согласилось финансировать дальнейшие разработки конструкции поезда на 78 пассажиров для движения со скоростью 260—320 км/ч.

Проекты использования монорельсовых дорог с подвижным составом на воздушной подушке, движущимся по пути в виде надземного бетонного лотка V-образной формы, наиболее подробно разработаны в Англии, где подвижной состав на воздушной подушке получил наибольшее

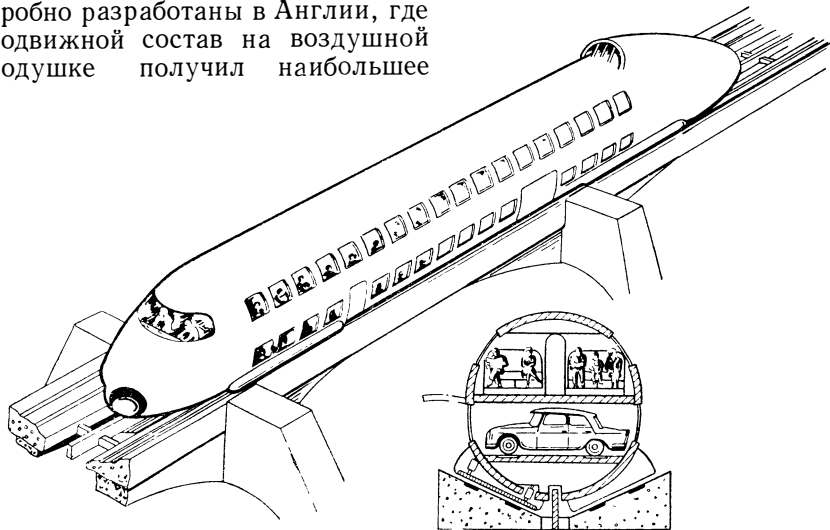


Рис. 23. Общий вид и разрез вагона ховеркар

распространение. Известно, что еще летом 1961 г. в Англии эксплуатировались аппараты на воздушной подушке, обеспечившие перевозку пассажиров по мелководным рекам и осуществлявшие выход на сушу для высадки пассажиров.

Обтекаемый многоместный вагон на воздушной подушке называется ховеркаром (рис. 23). Вагон поднимается над опорной поверхностью сжатым воздухом на высоту около 12,7 мм. В качестве источника энергии используется воздушный винт или линейный электродвигатель. Разработано несколько конструкций ховеркаров, предназначенных для перевозок 50—600 пассажиров. Имеются также большие двухэтажные конструкции для перевозки грузов и пассажиров.

Несколько проектов вагонов на тонкой воздушной подушке толщиной до 1 мм (на воздушной смазке) разработано конструкторско-экспериментальным отделом фирмы Форд (США). В США построен также ряд моделей таких вагонов (левакар), которые движутся по рельсам на специальных скользящих опорах, назы-

ваемых левападами (рис. 24). Левапады охватывают головку нормального или специального рельса. В отличие от транспортных средств на воздушной подушке, предназначенных для движения над поверхностью земли или воды, где используется очень небольшое давление воздуха (около $0,005-0,02 \text{ кг/см}^2$), в левакарах между рельсом и левападом создается давление $1-7 \text{ кг/см}^2$ и более.

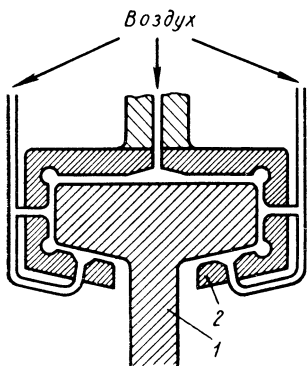


Рис. 24. Схема скользящей опоры:
1 — рельс; 2 — левапад

При наличии такой воздушной прослойки (смазки) между подвижным составом и рельсами сопротивление качению заменяется очень незначительным сопротивлением скольжению и поезда, оборудованные воздушными винтами или реактивными двигателями, легко могут достигать скорости $300-800 \text{ км/ч}$.

Наиболее подробно разработаны конструкции двух левакаров Х-3 и Х-5. Ниже приводится характеристика вагона на воздушной подушке левакара Х-3 (рис. 25), у которого горизонтальная тяга создается воздушным винтом:

Вес вагона в кг	16 000
» топлива » »	3 800
Полезная нагрузка в кг	3 900
Габаритные размеры в м:	
длина	20
ширина	3,6
высота	2,4
Число мест	40
Мощность, обеспечиваемая турбокомпрессором, в л. с.	700
Максимальная скорость в км/ч	640

Левакар Х-5 предназначается для эксплуатации на сравнительно короткие расстояния ($130-160 \text{ км}$) со скоростью движения 320 км/ч . При наличии двигателя мощностью 1800 л. с. ле-

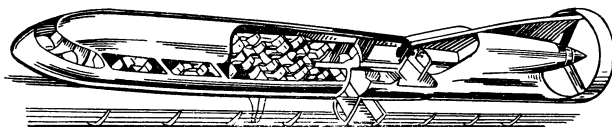


Рис. 25. Вагон-левакар вместимостью 40 пассажиров

вакар Х-5 на горизонтальных участках пути развивает скорость 320 км/ч , а на подъемах 20‰ движется со скоростью 240 км/ч .

Интересные данные получены научно-исследовательским институтом Стенфорда и Массачусетским технологическим институтом (США), выполнившими в 1965 г. исследование о наиболее рацио-

нальных методах освоения перевозок пассажиров со скоростями 320—800 км/ч на сравнительно малые расстояния (например, между городами Калифорнийского коридора, Сократомто ½ на Севере и Лос-Анджелес и Сан-Диего на юге) и на средние расстояния (между городами Северо-Восточного коридора — Бостоном и Вашингтоном протяжением 720 км, обслуживаемое население

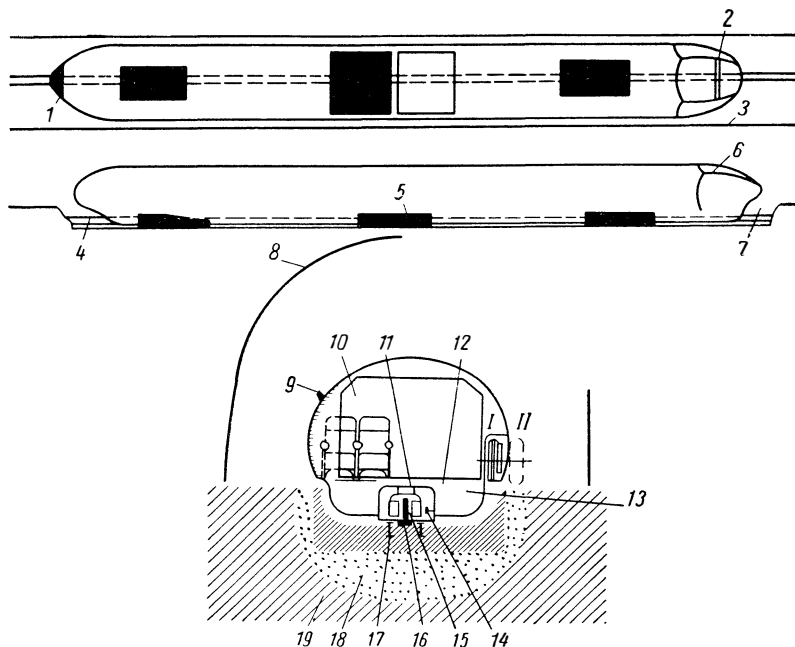


Рис. 26. Один из проектов высокоскоростной монорельсовой дороги Массачусетского института:

1 — нормальное положение колеса; 11 — положение колеса при езде по стрелке; 1 — съемная головная насадка-обтекатель; 2 — гибкое соединение с другим вагоном; 3 — направляющий путь; 4 — рельс-ротор линейного двигателя; 5 — секция статора линейного двигателя; 6 — складывающаяся часть для сочленения с другим вагоном; 7 — лоток пути; 8 — ограждение пути или тоннель; 9 — лопатки для охлаждающего воздуха; 10 — салон для пассажиров; 11 — линейный двигатель; 12 — система управления толщиной воздушной подушки; 13 — оборудование, создающее воздушную подушку высокого давления; 14 — токонесущий рельс-шина; 15 — воздушная подушка в зазоре линейного двигателя; 16 — рельс-шина линейного двигателя; 17 — направляющий путь вагона; 18 — балласт пути; 19 — основание пути

равно около 40 млн. человек). Общая цель исследования — выявление перспектив авиационного транспорта для перевозок пассажиров на расстояние 60—700 км.

Из анализа показателей наземных высокоскоростных транспортных средств и тенденций их развития и усовершенствования был сделан вывод о необходимости создания транспорта со скоростями движения около 480 км/ч. Наиболее рациональным было признано создание подвижного состава на воздушной подушке с линейным асинхронным двигателем (рис. 26). При вместимости

100 человек вагон имеет длину 33,5 м, ширину 3,65 м, высоту 3,0 м и вес брутто в рабочем состоянии 54 т. Помимо линейного двигателя, проектом предусмотрена отдельная силовая установка для маневровой работы, при которой вагон опирается на выдвигающиеся колеса. Признано, что преимущества наземного рельсового транспорта ограничены, так как по расчетам японских специа-

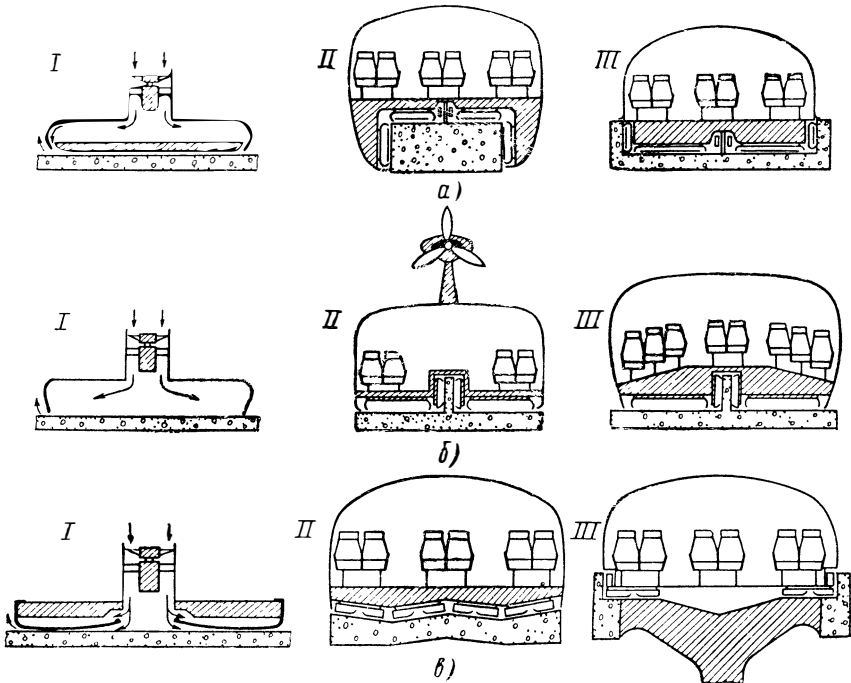


Рис. 27. Проекты поездов на воздушной подушке:

a — проект Ховеркрафт (Англия); *б* — проект аэропоезда (Франция); *в* — поезд Ховайр фирмы Дженерал Моторс (США); *I* — устройство для создания воздушной подушки; *II* — первый вариант конструкции пути и вагона; *III* — второй вариант конструкции пути и вагона

листов предельной для такого транспорта является скорость 300 км/ч, что только приближается к нижней границе желаемого диапазона 320—800 км/ч.

На рис. 27 сравниваются варианты поездов на воздушной подушке: английского Ховеркрафта (рис. 27, *a*), французского аэропоезда (рис. 27, *б*) и американского поезда Ховайр фирмы Дженерал Моторс (рис. 27, *в*).

В английском проекте воздушная подушка создается струей сжатого воздуха по периферии опорной поверхности, во французском — камера повышенного давления ограничена гибкой завесой (нейлоновой бахромой), а в проекте фирмы Дженерал

Моторы под основанием поезда расположены гибкие карманы с повышенным давлением.

Для создания тяги могут быть использованы как пропеллер, так и линейный двигатель. Проводятся также работы по созданию двигателя с новым принципом работы, названного по аналогии с линейным электродвигателем линейной турбиной; тяга в этом случае создается вследствие взаимодействия газа, выбрасываемого из сопел под вагоном, и лопаток турбины, закрепленных вдоль пути.

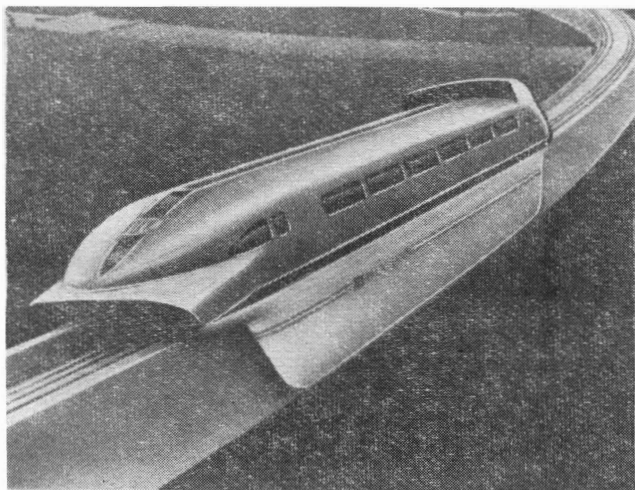


Рис. 28. Действующая модель поезда Ховеркрафт

В Ховеркрафте применен прямоугольный монорельс и линейный двигатель для тяги. Скорость движения 320—800 км/ч. Толщина воздушной подушки меняется от 10 до 25 мм в зависимости от скорости движения вагона, его веса и характера шероховатости поверхности пути. Давление в воздушной подушке равно 0,07—0,14 кг/см². Удельная мощность вентилятора 25—40 л. с./т.

Демонстрируется модель вагона (рис. 28) длиной 1,85 м, развивающего на опытном участке скорость 48 км/ч.

В описанном ранее французском аэропоезде (см. рис. 27, б) ходовая балка имеет сечение в виде перевернутой буквы Т; толщина воздушной подушки меняется от 10 до 20 мм; давление составляет примерно 0,035 кг/см²; удельная мощность вентилятора равна 20—40 л. с./т.

В проекте американского поезда Ховайр (см. рис. 27, в) воздушная подушка создается в гибких карманах и в пространстве между ними. Для тяги используется линейный двигатель или

пропеллер. Скорость движения поезда 160—640 км/ч. Зазор между гибким воздушным карманом и ходовой поверхностью равен около 0,025 мм. Давление в воздушной подушке 0,07—2,8 кг/см². Устройство для образования воздушной подушки испытывалось при движении поезда со скоростью 160 км/ч по поверхностям с разной шероховатостью. На гладкой металлической поверхности парение вагона обеспечивается вентилятором с удельной мощностью 0,2 л. с./т, а на обработанной бетонной поверхности — вентилятором с удельной мощностью 1,0 л. с./т. Преимуществом этого проекта является малая мощность вентилятора и низкий уровень шума.

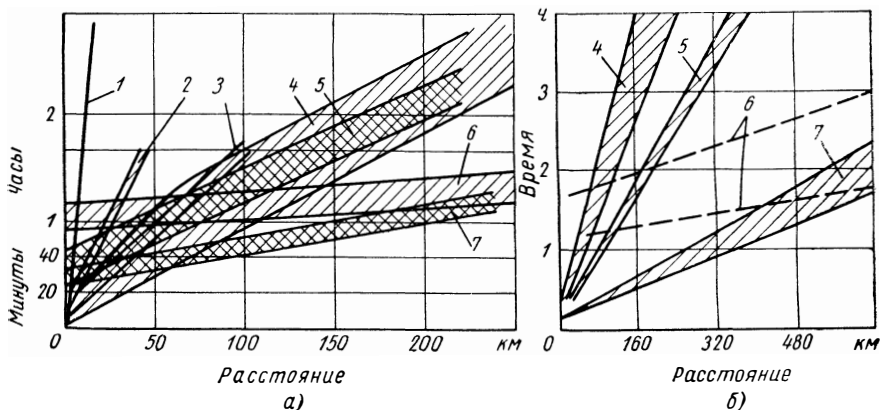


Рис. 29. Время сообщения «от двери до двери» при использовании различных видов транспорта:

а — в пределах города и пригородов; б — между центрами городов; 1 — пешеход; 2 — метрополитен; 3 — вылетные линии метрополитена; 4 — автомобили; 5 — железные дороги; 6 — самолеты; 7 — монорельсовая дорога на воздушной подушке

Положительные качества монорельсовых дорог на воздушной подушке при использовании линейных электродвигателей по сравнению с обычными видами транспорта в наибольшей степени проявляются при сопоставлении времени, затрачиваемого на поездки между центрами городов. Как видно из рис. 29, высокие скорости самолетов не дают какой-либо экономии во времени при поездках на короткие расстояния из-за того, что значительное время затрачивается на поездки к аэропортам. Из графиков видно, что при расстоянии между центрами городов 100—640 км наименьшее время поездки получается при использовании монорельсовых дорог с применением подвижного состава на воздушной подушке.

Представление о высокой энерговооруженности, необходимой для транспортных средств на воздушной подушке, является не вполне обоснованным. Из анализа установленной мощности, при-

ходящейся на одного пассажира (рис. 30), видно, что для вагона монорельсовой дороги на воздушной подушке при скорости движения 160 км/ч и более требуется самая низкая энерговооруженность, в то время как скоростные преимущества воздушного транспорта ощутимы только в результате значительного повышения удельной мощности.

В современных условиях только с помощью вертолетов возможно сообщение между центрами двух городов. Однако вертолеты имеют ряд весьма существенных недостатков — повышенная потребляемая мощность на пассажира, большой шум, малая скорость и т. п. Монорельсовые же дороги с подвижным составом на воздушной подушке и с линейным двигателем могут значительно уменьшить разрыв между скоростями наземного и воздушного транспорта и стать наиболее перспективным средством сообщения между центрами городов.

В исследованиях, ставящих своей целью создание на базе монорельсовых дорог оптимального вида транспорта, исходят обычно из перспектив развития городского и пригородного общественного транспорта. Многие исследователи утверждают при этом, что за ближайшие 7 лет плотность подвижного состава на улицах крупнейших городов возрастет не менее чем в 3 раза, и к этому нужно готовиться уже сейчас. Анализ преимуществ и недостатков существующих видов транспорта (рельсового и безрельсового) показывает, что ни один из них не удовлетворяет в полной мере требованиям, которые предъявляются к перспективным видам транспорта и которые могут быть сформулированы следующим образом:

1. Провозная способность дороги не менее 10—50 тыс. пассажиров в час в одном направлении при максимальной безопасности, регулярности движения и простоте ухода за средствами сообщения. Транспортные средства должны отличаться малым весом, возможностью изменения вместимости поездов путем быстрой, автоматически осуществляемой сцепки и расцепки отдельных вагонов.

2. Малая стоимость строительства и эксплуатации дороги.

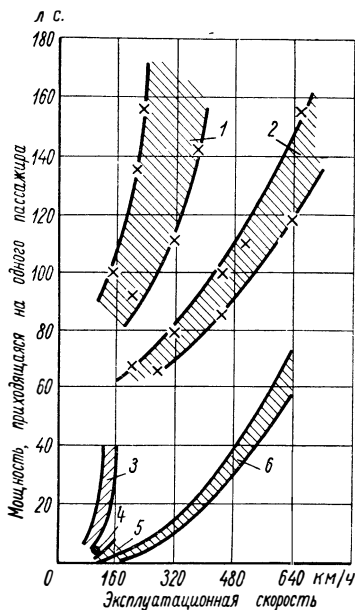


Рис. 30. Зависимость мощности, приходящейся на одного пассажира, от эксплуатационной скорости для различных видов транспорта: 1 — вертолеты; 2 — самолеты; 3 — автомобили; 4 — автобусы; 5 — поезда; 6 — монорельсовая дорога с воздушной подушкой

3. Высокий уровень комфорта и малое количество энергии, необходимой при трогании поезда с места и торможении его в условиях частых остановок, характерных для городских и пригородных участков.

4. Возможность проложения трассы дороги в тоннелях, на эстакадах или непосредственно на поверхности земли в зависимости от требований окружающей обстановки; подвижной состав дороги должен легко преодолевать кривые малого радиуса и крутые подъемы.

5. Возможность передвижения подвижного состава по обычным дорогам в качестве автономных или спаренных единиц и соединения их в поезда для движения по специальным путям при автоматическом управлении.

Таким образом, при выборе вида общественного транспорта для конкретных условий какого-либо крупного города приходится учитывать противоречивые требования и то, в какой степени им отвечают известные и технически отработанные транспортные средства.

В настоящее время наиболее распространенными являются два вида общественного транспорта: рельсовый (железные дороги и трамвай) и безрельсовый (автобусы и троллейбусы). Наличие рельсов делает железные дороги и трамвай автоматически направляемым транспортом. Автобусы и троллейбусы по сравнению с железными дорогами отличаются большей автономностью и маневренностью.

При выборе наиболее приемлемого перспективного вида транспорта исследуются возможности использования автономных экипажей, которые не являются автоматически направляемыми на обычных дорогах, но могут переходить на специально подготовленные пути или эстакады для движения по ним в качестве автоматически направляемых экипажей и поездов. Подобные экипажи вместимостью 200 человек при наличии колес с пневматическими шинами обеспечивают провозную способность 50 тыс. пассажиров в час, т. е. находятся на уровне современных городских железных дорог. Однако эта провозная способность редко используется полностью ввиду отсутствия стабильных пассажиропотоков таких размеров. Поэтому основным преимуществом перспективных автономных экипажей является возможность использования их для развозки мощных пассажиропотоков из пунктов формирования для перевозки пассажиров «от двери до двери». Существующие городские железные дороги, и особенно метрополитен, не в состоянии освоить такие потоки, так как даже при наличии широко разветвленной сети их существование целесообразно только при наличии постоянных и значительных пассажиропотоков.

Имеется в виду, что подвижной состав после прохождения надземных эстакадных участков (там, где они действительно необхо-

димы) может сходить на поверхность земли и двигаться по наземным дорогам с обособленным полотном (для высокоскоростного сообщения) или даже по обычным автомобильным магистралям и шоссе в качестве свободно управляемого экипажа с независимым двигателем.

Анализ показывает, что подобная система может превосходить в отношении эффективности и экономичности обычные подвесные и навесные монорельсовые дороги, сохраняя те преимущества, которые возникают при использовании эстакады на тех участках, где это действительно необходимо.

ПОДВИЖНОЙ СОСТАВ МОНОРЕЛЬСОВЫХ ДОРОГ

ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И КОМПОНОВОЧНЫЕ СХЕМЫ ВАГОНОВ МОНОРЕЛЬСОВЫХ ДОРОГ

На всех построенных и запроектированных пассажирских монорельсовых дорогах используется моторвагонный подвижной состав. Локомотивная тяга предусматривается только в некоторых проектах грузо-пассажирских монорельсовых дорог.

Поезда монорельсовых дорог в большинстве случаев формируются из моторных вагонов и соединяемых с ними прицепных или только из одних моторных вагонов. Поезда из одних моторных вагонов характерны для новейших монорельсовых дорог, служащих для перевозки пассажиров в напряженных условиях крупных городов. В этом случае имеется возможность увеличить пусковые ускорения во время трогания с места и разгона поезда и обеспечить высокие маршрутные скорости в городских условиях эксплуатации, где остановки расположены на небольших расстояниях.

Подвижной состав монорельсовых дорог может иметь следующие ходовые части: колеса с пневматическими шинами, колеса со стальным ободом и воздушную подушку или смазку. Вагоны с колесами, имеющими пневматические шины, применяются тогда, когда существуют ограничения по шуму, и для дорог с короткими перегонами между станциями, где для увеличения средней скорости движения стремятся получить высокие ускорения и замедления поезда, что легче сделать при резиновых шинах ввиду большего их коэффициента сцепления. Конструктивная скорость для монорельсовых дорог данного типа составляет 120—160 км/ч.

Подвижной состав, имеющий колеса со стальным ободом, требует меньше энергии для движения и допускает более высокие скорости (до 250—350 км/ч). Однако по условиям обеспечения определенного минимального уровня шума и достижения предельных значений ускорений он уступает подвижному составу с колесами на пневматических шинах.

Эстакадные монорельсовые дороги на воздушной подушке или смазке проектируются со скоростью движения 400 км/ч и выше.

Для движения подвижного состава монорельсовых дорог используются тяговые электродвигатели (постоянного или перемен-

ного тока) и двигатели внутреннего сгорания. На грузовых монорельсовых дорогах иногда применяется электрическая тяга с питанием от аккумуляторных батарей, а в проектах некоторых грузо-пассажирских дорог предусматривается использование инерционных двигателей.

Наибольшее распространение имеет система тяги от несущих колес, на которые приходится весь вес подвижного состава или его часть. На грузовом подвижном составе успешно применяется движитель в виде тягового колеса с резиновым ободом (шиной), прижатым к рельсу внутренними силами, что позволяет осуществлять тягу, не зависящую от сцепного веса локомотива или моторного вагона.

Для городских и пригородных пассажирских дорог современного типа скорость движения назначается в пределах 80—150 км/ч, а для пассажирских дорог дальнего следования она значительно выше.

По габаритам и грузоподъемности подвижной состав пассажирских монорельсовых дорог следует разделить на два класса: нормального габарита с шириной кузова вагона 2,5—3 м, рассчитанной на расположение поперек вагона четырех кресел, и малого габарита с шириной кузова вагона 1,4—2,0 м при размещении поперек вагона двух кресел.

Основными элементами вагонов монорельсовых дорог являются кузов, механическая (ходовая) часть, электрическое оборудование (в том числе размещаемые обычно на тележках тяговые электродвигатели и система привода), а также тормозные и вспомогательные устройства. Большое значение для качества хода вагонов имеют принципы подвешивания и стабилизации, которые различны у вагонов подвесных и навесных систем. Следует обращать внимание на общую компоновочную схему (расположение мест в вагоне) и характер внутренней отделки вагонов, а также материалы, используемые при изготовлении кузовов.

Ниже анализируются основные конструктивные и технико-эксплуатационные характеристики наиболее типичных вагонов ряда построенных и спроектированных монорельсовых дорог.

На Вуппертальской монорельсовой дороге за 67 лет ее эксплуатации полностью обновлен подвижной состав. Введенные в 1901 г. в эксплуатацию вагоны имели длину 12 м, ширину 2,2 м и высоту 2,6 м. При весе 11 т вагон имел 30 мест для сидения, а всего вмещал 70 пассажиров. Каждый вагон был снабжен двумя тяговыми электродвигателями мощностью по 45 квт при напряжении тока 600 в. Построенные в 1950 г. вагоны имеют длину 11,8 м, ширину 3,0 м и высоту 4,0 м. При весе 11,0 т вагон вмещает 80 пассажиров.

В 1966 г. изготовлены вагоны нового сочлененного типа (рис. 31). Число вагонов в поезде сохранено равным двум, что обусловлено несущей способностью эстакады, но между вагонами

вание всей площади моторного вагона только для размещения пассажиров. Кабина водителя располагается над передней тележкой. При наличии четырех боковых дверей посадка и высадка пассажиров на станциях осуществляются за 30 сек.

Вагон монорельсовой дороги в Далласе имел аналогичную конструкцию. При общей длине 16,5 м, ширине 2,4 м и высоте внутри салона 2,1 м вагон весил около 12 т и имел 55 мест для сидения и максимальную вместимость 110 человек.

Вагоны первой навесной монорельсовой дороги типа Алвер в Фюлингене (ФРГ) имели длину 11,0 м, ширину 3,0 м и высоту 4,0 м. При весе тары 10 т они имели 38 мест для сидения и максимальную вместимость 100 пассажиров. Максимальная полезная нагрузка принималась равной 8,0 т, а коэффициент сцепления с ходовой балкой 0,6 (при сухой погоде). В настоящее время на линии Кельн—Фюлинген эксплуатируются поезда из двух моторных вагонов с кузовами, изготовленными из легких алюминиевых сплавов.

Вагоны подвесной дороги в зоопарке в Токио, имеющие длину 9,283 м, высоту 2,256 м и ширину 1,685 м, изготовлены из алюминия с изоляцией стекловолокном. Собственный вес вагона равен 6,0 т, вместимость его 31 человек. В головной части вагонов расположена кабина водителя, а посередине вагонов с одной стороны имеется раздвижная дверь для входа и выхода пассажиров. Вагоны оснащены специальным устройством, автоматически останавливающим поезд при любой неисправности. Пассажиры в этом случае могут спуститься из подвешенного вагона по выдвинутой лестнице.

На монорельсовой дороге в Токио Зоопарк—Центр эксплуатируются двухвагонные поезда с вагонами длиной 9,3 м, шириной 1,7 м и высотой 2,3 м. Вместимость вагона 40 человек, а поезда — 80 человек. Каждый вагон оборудован двумя тяговыми двигателями мощностью по 30 квт.

На монорельсовой дороге в Диснейленде эксплуатируются вагоны сочлененного типа. Четырехвагонные поезда новой конструкции, вмещающие по 106 пассажиров, заменили поезда прежней конструкции, имевшие только 86 мест. На дороге эксплуатируются также трехвагонные поезда с двумя моторными (концевыми) и одним прицепным (средним) вагонами. В каждом вагоне размещено по три восьмиместных купе, а в головной и концевой частях вагона имеются еще две пластмассовые кабины для обозрения местности. Вагоны изготовлены из алюминиевых сплавов, нержавеющей стали и пластмасс.

Для опытного участка подвесной монорельсовой дороги в Шатонефе (Франция) автомобилестроительной фирмой Рено построен экспериментальный вагон, который находится во временной эксплуатации с 1960 г. За это время вагон (рассчитанный на 125 пассажиров) прошел более 25 тыс км с максимальной скоростью до

100 км/ч и не имел ни одной поломки. Обычно скорость движения не превышает 75—80 км/ч. Разработано несколько типов вагонов для нормальной эксплуатации.

Кузов вагона одного типа, например, имеет длину 16,9 м, ширину 3,76 м и высоту 2,96 м (рис. 32). Длина вагона по осям автосцепок равна 17,3 м. Каркас кузова состоит из усиленных продольных элементов (крыши и пола), связанных боковыми (оконными и дверными) стойками, которые с поперечными элементами крыши и пола образуют замкнутые шпангоуты. Каркас крыши вагона образован двумя продольными балками-лонжеронами из стали швеллерного профиля, соединенными набором поперечных балок-шпангоутов и усиленными вертикальными угольниками. Верхней обшивкой каркаса являются листы крыши, а нижней — потолок вагона. В местах крепления подвешивания (соединяющего вагон с тележками) поперечные элементы крыши усилены, а в концевых частях каркаса крыши установлены кронштейны крепления автосцепок. Внутреннее пространство (между обшивками потолка и крыши) использовано для размещения вспомогательного электрического и пневматического оборудования, а также для прокладки кабельных коммуникаций.

Пол вагона подвесной монорельсовой дороги подвержен воздействию в основном местных нагрузок (собственной силы тяжести и силы тяжести пассажиров); принимается, что на 1 м² приходится 9—10 пассажиров. При весе пассажира 70 кг расчетная нагрузка для опытного вагона принималась равной 675 кг/м², а для строящихся серийных вагонов установлена равной 700 кг/м². Поэтому пол вагона имеет облегченную по сравнению с крышей конструкцию. В пространстве между настилом пола и наружной обшивкой низа вагона размещается вся электрическая аппаратура, включая электропусковые устройства, а также сети электроосвещения и обогрева. Радиаторы электрического отопления установлены в пассажирском салоне под сиденьями. Для передачи нагрузки от пола крыше, которая является несущей, служат не только боковые и торцовые стенки, но и два ряда стоек, проходящих через пассажирский салон и используемых стоящими пассажирами.

Кузов изготовлен полностью из легкого алюминиевого анодированного сплава А446, имеющего предел прочности $\sigma_s = 42 \text{ кг/мм}^2$ и соответствующего дюралюминию Д16. Исключение составляют только упомянутые выше продольные лонжероны крыши и некоторые поперечные шпангоуты, а также кронштейны и башмаки, изготовленные из стали ХС18 (имеющей предел прочности $\sigma_s = 40 \text{ кг/мм}^2$). Для заклепок использован материал АНЗГ типа дюралюминия Д18П. Вес кузова вагона 3,6 т.

Вагон полностью симметричен относительно продольной и поперечной (проходящей через середину средней двери) осей. Исключение составляют только электропусковые устройства, расположенные в полу вагона в одном его конце. Капот этих устройств

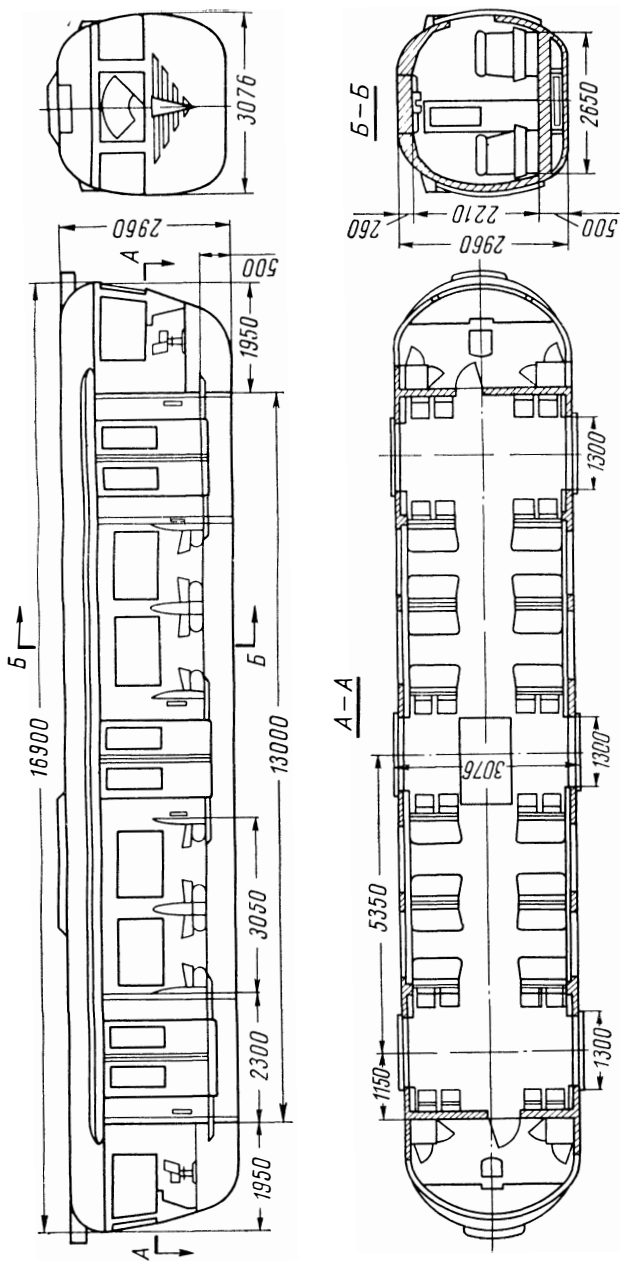


Рис. 32. Вагон подвесной монорельсовой дороги в Шатонёфе

для лучшего охлаждения воздухом несколько выступает под полом. Вес кузова с механическим и электрическим оборудованием равен 8,5 т. Из общей площади пола 40,8 м² салон для пассажиров занимает 34,4 м², а две кабины управления располагаются на 6,4 м². В салоне размещено 56 мест для сидения, из которых 24 откидных. Максимальная вместимость вагона 125 человек.

С каждой стороны вагона имеется три двухстворчатые раздвижные двери с пневматическим приводом и контрольным устройством, исключающим возможность отправления поезда с незакрытыми дверями. Окна с одинарными стеклами не открываются; стекла вставлены на резиновых прокладках в оконные проемы наглухо. Система электрического отопления поддерживает в вагоне температуру в пределах 20—24° С, а вентиляционная установка обеспечивает интенсивный обмен воздуха (зимой 8 раз в час, а летом 16). Нагрев воздуха регулируется автоматически при помощи установленных внутри вагона термостатов.

Питание системы отопления осуществляется от основной электроцепи, а для системы вентиляции используется вспомогательная цепь с напряжением 72 в. На поездах испытывается система автомашиниста, которая предназначается в качестве средства дополнительной гарантии безопасности движения поезда, но не исключает присутствие водителя.

Вагон оборудован аварийной лестницей, изготовленной из алюминиевого сплава типа дюралюминия, которая в сложенном виде в плане имеет габаритные размеры 6250 × 650 мм. При опускании на землю лестница удлиняется приблизительно на 1 м. При убирании лестницу тросами подтягивают к днищу вагона лебедкой с ручным приводом, ступени и перила лестницы складываются, вследствие чего высота ее в сложенном виде уменьшается.

Производство вагона типа II для строящейся в Париже линии Клиши—Субуа—Ливри—Гарган начато в январе 1965 г. фирмой Юрель Дюбуа. В качестве материала для вагонов использован алюминиевый сплав повышенной пластичности марки ASG, обладающий пределом прочности $\sigma_b = 33 \text{ кг/мм}^2$ и сходный с авиалем.

При разработке вагонов этого типа повышена жесткость верхней части конструкции (потолка—крыши) путем увеличения ее высоты с 300 до 600 мм. Это позволило также разместить в верхнем пространстве все оборудование и большую часть системы подвешивания вагона. При этом внутренняя высота помещения (расстояние между полом и потолком) сохранена равной 2,17 м. Это достигнуто за счет уменьшения высоты конструкции нижней (половой) части вагона с 500 до 250 мм и незначительного увеличения высоты кузова вагона (с 2,9 до 3,0 м).

Установлено, что для обычных эксплуатационных скоростей в трехвагонном поезде один вагон может быть прицепным; поэтому вагоны имеют унифицированные кузова и оборудуются съемными кабинами машиниста, что упрощает производство вагонов. Для

линий, требующих повышенных скоростей и пусковых ускорений, все три вагона поезда будут моторными.

Интересные данные получены в результате исследования степени шумности движущегося вагона. Замеры показали, что внутри звукоизолированного вагона при скорости движения его 75 км/ч уровень шума не превышает 65 дцб , а вне вагона на расстоянии 7 м от плоскости движения и на высоте $1,6 \text{ м}$ от поверхности земли (уровень головы стоящего человека) уровень шума от проходящего с указанной скоростью вагона не превышает 75 дцб .

Для освещения вагона использованы люминесцентные трубки, расположенные в два ряда по потолку вагона и перекрытые плафонами-абжурами из прозрачного пластика. Освещенность на уровне глаз сидящего пассажира равна 140 лк . Аварийное освещение, автоматически включающееся при любой неисправности основного освещения, состоит из ламп накаливания, попарно расположенных в люках для люминесцентного освещения и питаемых от аккумуляторной батареи.

Основные параметры монорельсовых дорог в Шатонефе и Париже приведены в табл. 2.

Для подвесных монорельсовых дорог Англии разработана усовершенствованная конструкция вагона и его компоновка.

Кузов вагона (рис. 33) имеет стальную раму с обшивкой из легких сплавов. Верхняя рама оборудована автосцепками Шарфенберга и может воспринимать буферную нагрузку 50 т . Единичный кузов вагона с кабинами машиниста в обоих концах имеет общую длину $17,983 \text{ м}$, ширину $2,438\text{—}2,515 \text{ м}$ и высоту $3,048 \text{ м}$ (снаружи) и $2,134 \text{ м}$ (внутри). Вагон с кабиной машиниста в одном конце имеет длину $16,763 \text{ м}$, а прицепной вагон $15,696 \text{ м}$. С каждой стороны вагона расположены три раздвижные двери с пневматическим приводом. В вагоне имеется 48 мест для сидения, максимальная вместимость его 150 человек. Вес тары вагона, включая тележки, равен 23 т . У вагона другой конструкции имеется четыре двери и 64 места для сидения.

Разработан проект вагона для высокоскоростной связи с аэропортом. В центральной секции вагона длиной $2,895 \text{ м}$ размещено отделение для багажа, а в двух крайних расположены сиденья для 50 пассажиров. Время поездки на расстояние 64 км равно 33 мин .

Постоянство уровня пола обеспечивается принятой системой пневматического подвешивания. Освещение люминесцентное. Окна не имеют открывающихся элементов, поэтому установлена мощная система вентиляции. Наружный воздух засасывается через люки в крыше и подводится по каналам ко всем частям внутреннего помещения вагона. Для подогрева воздуха в холодное время года предусмотрен электрический отопитель мощностью 20 квт , работающий с термостатическим управлением. Двери вагонов имеют пневматический привод, заблокированный с системой управления

**Основные технико-экономические параметры вагонов
монорельсовых дорог в Шатонефе и Париже**

Параметры	Опытный вагон для Шатонефа, тип I	Серийные вагоны для Парижа	
		тип II	тип III
Габаритные размеры вагона в м:			
длина по осям автосцепок	17,3	16,86	13,96
» кузова	16,9	16,07	13,17
высота	2,96	3,0	2,8
ширина	3,076	2,5	2,5
Общая площадь (с учетом сидений) в м ²	34,4	32	25
Число мест:			
постоянных для сиденья	32	48	48
откидных для сиденья	24	—	—
для стояния (свободно)	69	100	72
общее	125	148	120
Вес кузова вагона в кг	3600	—	—
Вес вагона в кг	21 800 *	22 000	—
Вес двух тележек в кг	2×4800	—	—
Вес пассажиров в кг:			
нормальный	7000	10 360 (148 чел.)	—
при перегрузке	—	17 640 (250 чел.)	—
Вес груженого вагона в кг:			
нормальный	28 800	32 380	—
при перегрузке	—	40 000	—
Наибольшее усилие при сцепке в кгГ	30 000	50 000	—
Боковая нагрузка от ветра в кгГ	2100	3 000	—
Двигатели: число и мощность в л. с.	4×93/115 **	4× ×148/160 **	—
Напряжение в в	300—360	360	—

* В том числе вес электрического и механического оборудования 2860 кг и внутренней отделки 2000 кг.

** В числителе указана часовая мощность, в знаменателе — максимальная мощность при шунтированном силовом поле. К. п. д. трансмиссии принят равным 0,92.

поездом таким образом, что исключается возможность трогания поезда с места, пока открыта хотя бы одна дверь.

Каждый вагон оборудован аварийной лестницей, располагаемой в нише под полом и закрытой снаружи обтекателем. Для электрического и пневматического оборудования вагонов, спроектированных для монорельсовых дорог Англии, используются наиболее отработанные системы, применяемые на моторвагонном подвижном составе Британских железных дорог.

Такой же вагон запроектирован для монорельсовой дороги, которая должна связать центр Манчестера с аэропортом. Вагон

предназначен для движения со скоростями до 120 км/ч. Движение с более высокими скоростями технически осуществимо, однако считается неэкономичным вследствие чрезмерного нагрева и быстрого износа шин.

Трехвагонный сочлененный поезд монорельсовой дороги системы Алвег в Турине имеет длину 29,4 м и вес 38,1 т (рис. 34).

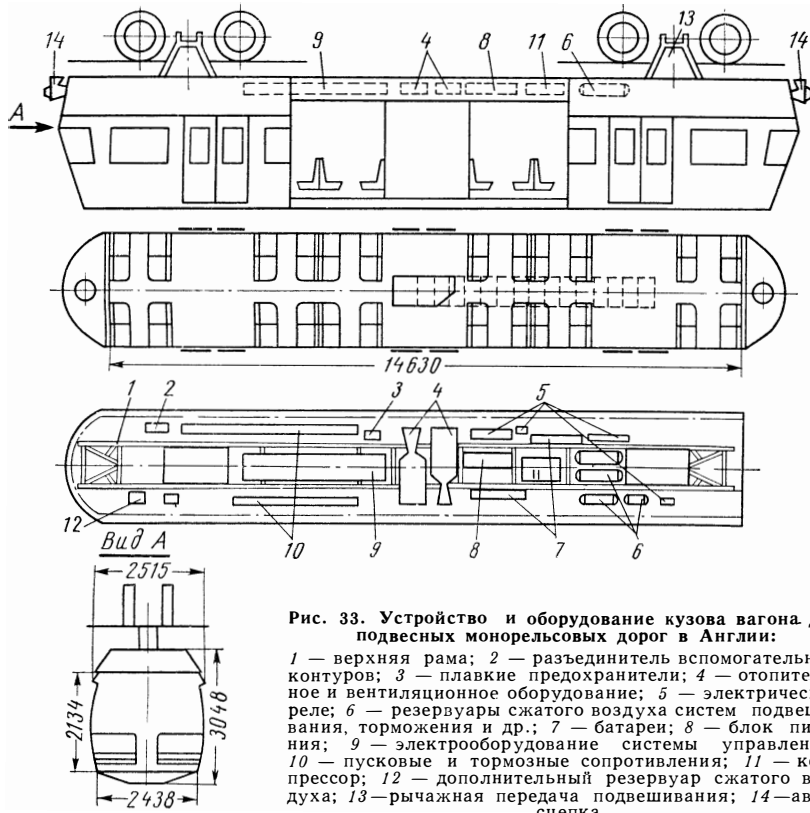


Рис. 33. Устройство и оборудование кузова вагона для подвесных монорельсовых дорог в Англии:

- 1 — верхняя рама; 2 — разъединитель вспомогательных контуров; 3 — плавкие предохранители; 4 — отопительное и вентиляционное оборудование; 5 — электрические реле; 6 — резервуары сжатого воздуха систем подвешивания, торможения и др.; 7 — батареи; 8 — блок питания; 9 — электрооборудование системы управления; 10 — пусковые и тормозные сопротивления; 11 — компрессор; 12 — дополнительный резервуар сжатого воздуха; 13 — рычажная передача подвешивания; 14 — автоцепка

Он составлен из вагонов шириной 3,02 м и высотой 4,15 м. Каждый вагон имеет три купе на 8 пассажиров каждое. Поезд имеет 74 места для сидения; общая вместимость его 264 пассажира.

Все механическое оборудование вагонов располагается ниже уровня пола в боковых отсеках, что способствует увеличению устойчивости вагонов при движении (вследствие более низкого положения центра тяжести). Кроме того, в этом случае облегчается осмотр и ремонт оборудования в эксплуатации (рис. 35), что приводит к снижению эксплуатационных расходов. Почти равномерное распределение по длине поезда опорных и приводных осей

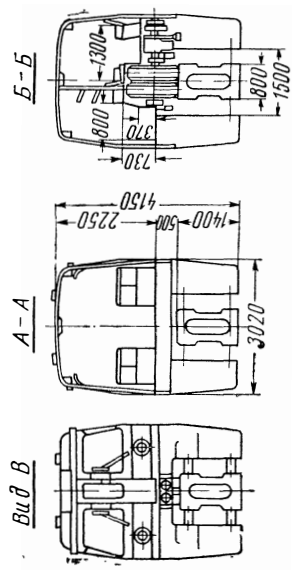
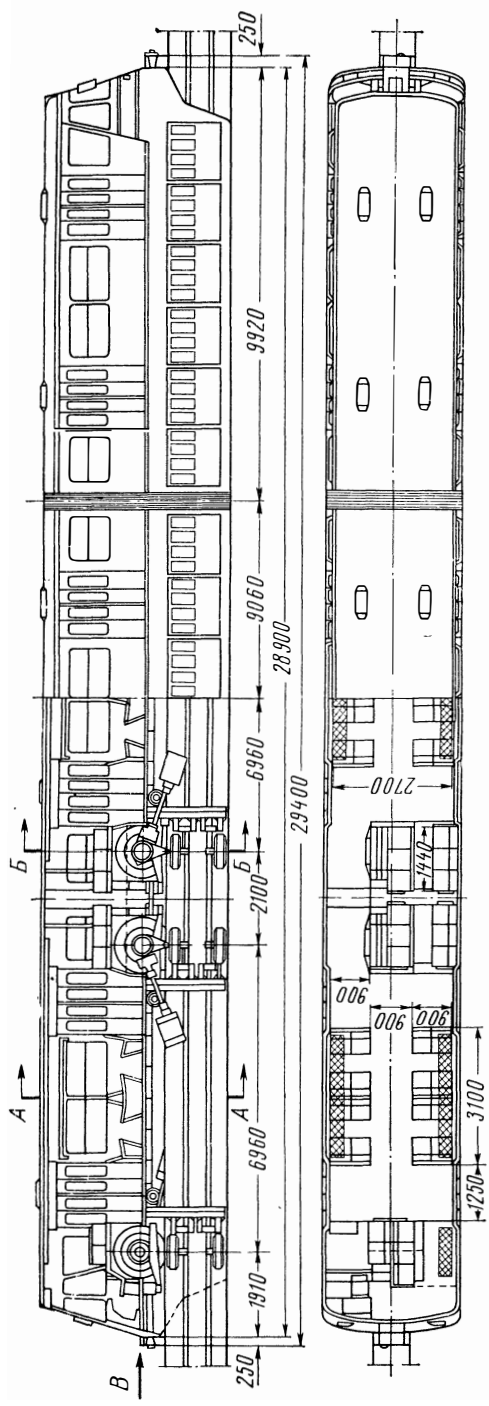


Рис. 34. Трехвагонный поезд монорельсовой дороги системы Алвег в Турине

способствует уменьшению воздействия подвижного состава на ходовую балку.

Особенности положения вагона системы Алвег (как бы седлающего ходовую балку) требуют тщательных расчетов по вписыванию в кривые участки пути. Для облегчения прохождения кривых малого радиуса длина отдельных вагонов не должна быть слишком большой и обычно принимается равной 10—11 м. Требуемая вме-

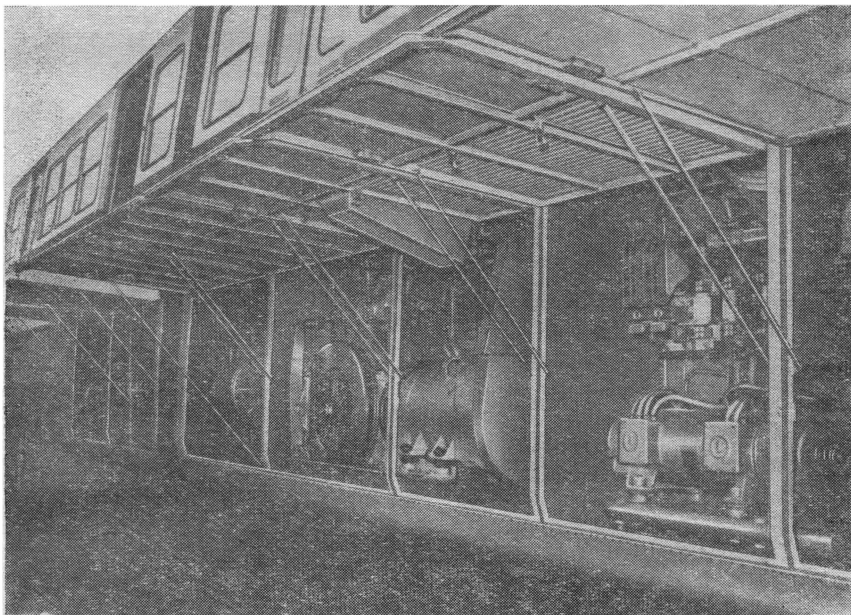


Рис. 35. Расположение электрического и пневматического оборудования вагонов системы Алвег (боковые обтекатели открыты)

стимость поезда и необходимая провозная способность дороги достигаются путем включения в состав поезда соответствующего числа вагонов. При обеспечении достаточно эластичного соединения сочлененных вагонов число вагонов в поезде может быть весьма большим, и ограничивается оно только отрицательным влиянием увеличенной массы при трогании поезда с места и его торможении; в этом случае необходимо усиление конструкции эстакады.

На навесной дороге в Наре (Япония) эксплуатируются трехвагонные поезда общей длиной 31 м. Вагоны имеют ширину 2,33 м и высоту 3,0 м. В поезде размещено 88 мест для сидения, из которых 56 мест приходится на концевые вагоны и 32 места — на средний. Вагоны установлены на колеса с пневматическими шинами, при повреждении которых вагон опирается на монолитные

резиновые шины. Энерговооруженность поезда равна 80 *квт* (четыре тяговых двигателя мощностью по 20 *квт* работают при напряжении в контактной сети 220 *в*). Поезда эксплуатируются со скоростью 16 *км/ч* при максимальной расчетной скорости 40 *км/ч*.

Трехвагонный поезд навесной монорельсовой дороги в Инуяме (Япония) имеет длину 30,8 *м*, вес 39,3 *т* и оборудован четырьмя тяговыми электродвигателями мощностью по 70 *квт*, обеспечивающими максимальную скорость движения поезда 75 *км/ч* и среднюю скорость 45 *км/ч*. Ширина вагонов 2,95 *м* и высота 4,3 *м* (с нижними боковыми декоративными щитами). Вагоны сочлененные, на каждый устанавливается по две тележки. Из шести тележек поезда четыре средние являются моторными.

Для подвесной монорельсовой дороги в Лос-Анджелесе построены вагоны, в которых широко использованы легкие сплавы, пластмассы и стекло. Это позволило снизить вес вагона длиной 9,4 *м*, имеющего 24 места для сидения, до 2 *т*. Снижению веса тары вагона способствовала также значительная остекленная поверхность его, которая обеспечивает очень хорошую обзорность местности. Монорельсовые дороги с подобным подвижным составом могут быть рекомендованы для районов с большим количеством туристических и экскурсионных поездов. Вагоны оснащены фрикционным колесным приводом. Опорные и фрикционные колеса малого диаметра снабжены пневматическими шинами. Опорные колеса катятся по верхней поверхности нижней полки двутавровой путевой балки, а снабженные электроприводом фрикционные колеса прижимаются к ее нижней поверхности.

На монорельсовой дороге в Лозанне (Швейцария) эксплуатируются 24 поезда, каждый из которых состоит из 16 открытых четырехместных вагонов. Скорость движения поездов колеблется в пределах 5,4—12,8 *км/ч*. Вагоны, отличающиеся простотой конструкции и применением прокатных профилей из алюминия, состоят из основания, двух боковых и двух лобовых стенок. При длине 1,7 *м*, ширине 1,242 *м* и высоте 0,65 *м* вагон весит 48 *кг*. Первоначально вагон был запроектирован из стали; в этом случае он весил 97 *кг*.

Для монорельсовой дороги центр Токио — аэропорт Ханеда в 1962 г. было построено два опытных вагона, разработанных американской авиатранспортной фирмой Никсон—Локхид (рис. 36) и прошедших испытания на опытном участке. Каждый вагон был снабжен двумя тележками, колеса которых имели металлические бандажы. При длине вагона 13,2 *м*, ширине 3,05 *м* и высоте без тележек 2,86 *м* каждый вагон имеет 48 мест для сидения и общую вместимость 120 пассажиров. Вес тары вагона 11,8 *т*, а вес вагона с пассажирами 18,5 *т*. Высота вагона внутри в месте прохода равна 2,01 *м*, ширина прохода 0,864 *м*. Двухместные сиденья имеют ширину 96,5 *см*, глубину 35,6 *см*, высоту 33,0 *см* и высоту спинки 76,2 *см*.

Все тяговое электрическое и пневматическое оборудование, расположенное в вагонах ниже уровня пола, имеет хорошую доступность и обеспечивает низкое положение центра тяжести вагона. Тормозная система вагона состоит из четырех тормозов, работающих от тяговых электродвигателей.

На монорельсовой дороге эксплуатируются трех-, шести- и девятивагонные поезда типа Тошиба (фирмы Токио—Шибатура) с колесами на пневматических шинах, состоящие только из мо-

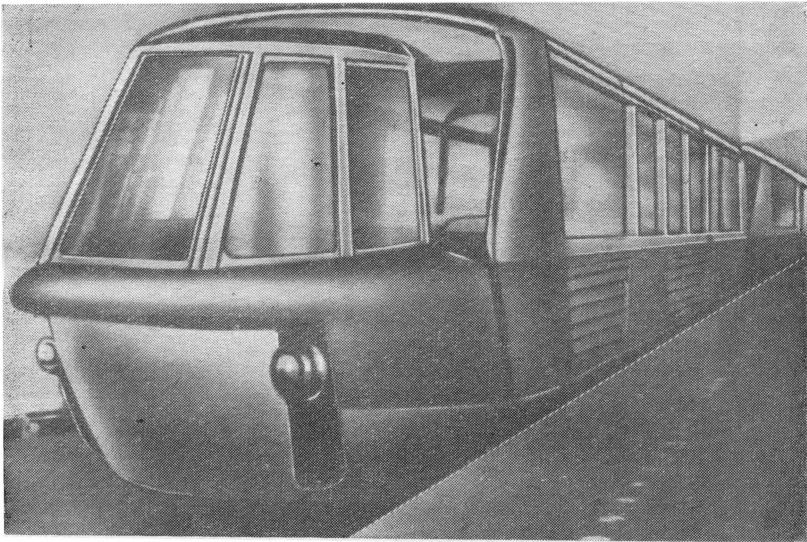


Рис. 36. Опытные вагоны монорельсовой дороги для связи центра Токио с аэропортом Ханеда

торных вагонов. Расположение сидений в вагоне поперечное по схеме 3+2. Вагоны длиной около 10 м, шириной 3,02 м и высотой 4,31 м имеют тяговые электродвигатели постоянного тока напряжением 750 в и мощностью 130 квт. На трехвагонном поезде установлено четыре электродвигателя, а на шестивагонном — восемь. Трехвагонный поезд имеет длину 29,6 м, вес тары 41,0 т и вмещает 240 пассажиров (104 сидячих места и 136 стоячих), а шестивагонный — длину 59,4 м, вес 82,0 т и вмещает 498 пассажиров (214 сидячих мест и 284 стоячих). Максимальное число вагонов в поезде девять; длина такого поезда равна 88,8 м, а вместимость 738 пассажиров.

Для навесной монорельсовой дороги с автоматическим режимом движения в Питтсбурге (США) из соображений экономии и удобства обслуживания пассажиров в течение 24 ч были созданы легкие вагоны относительно малых размеров. Каждый вагон имеет 28 мест

для сидения и 42 стоячих места (площадь, приходящаяся на одного стоящего пассажира, равна $0,23 \text{ м}^2$). При изготовлении вагона широко применялись алюминиевые профили и листы и при длине 9,3 м, ширине 2,59 м и высоте 2,9 м весит 8165 кг. Энерговооруженность вагона — два электродвигателя постоянного тока мощностью по 60 л. с. Вагон устанавливается на двух ведущих осях со спаренными пневматическими шинами. Управление движением

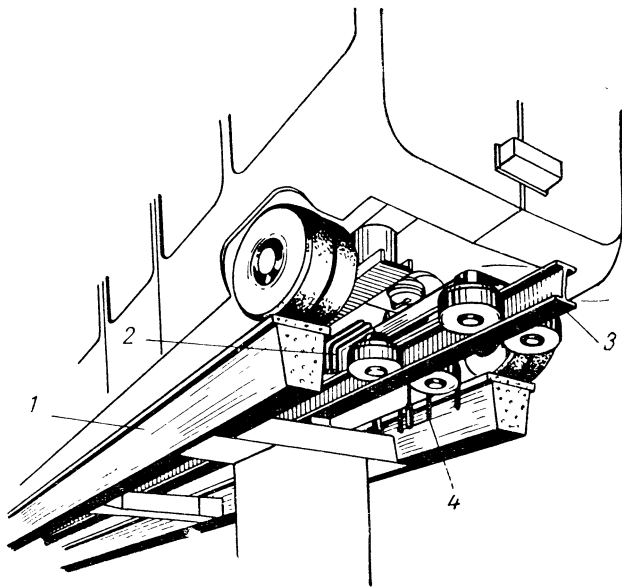


Рис. 37. Расположение вагона на ходовой балке скоростной дороги в Питтсбурге:

1 — ходовая балка; 2 — токосъемная система; 3 — направляющая балка; 4 — цепи управления

осуществляется путем изменения напряжения тока, подаваемого к электродвигателям кремниевыми управляемыми выпрямителями. Тормоза рекуперативные и пневматические.

Тип вагона, системы его подвешивания, кондиционирования воздуха и освещения, а также сиденья выбраны так, чтобы было обеспечено очень высокое качество хода, сравнимое с качеством хода лучших автомобилей на новой автостраде.

У каждого направляющего колеса смонтирован стальной диск (рис. 37), который препятствует выходу направляющей шины из балки двутаврового сечения и запирает вагон на пути в случае возникновения опрокидывающих сил. Для уменьшения пробуксовывания колес при наиболее неблагоприятном состоянии поверхностей качения служат дополнительные тяговые оси. Для обнаружения и измерения пробуксовывания колес имеется комплект

дифференциальных тахометров, которые автоматически снижают крутящий момент.

Система привода состоит из двух электродвигателей постоянного тока мощностью по 60 л. с., каждый из которых приводит в движение одну ось через ведущий вал с типовым карданным соединением и дифференциалом. Бесступенчатое изменение количества подводимой к электродвигателям энергии достигается использованием управляемых кремниевых выпрямителей в виде трехфазного моста.

Рекуперативное торможение осуществляется реверсированием поля электродвигателей путем использования второго комплекта управляемых кремниевых выпрямителей. Рекуперативный тормоз служит для снижения скорости, а пневматический — для полной остановки экипажа. Для нормального служебного торможения замедление ограничено величиной $1,1 \text{ м/сек}^2$.

Вагоны с обоих концов имеют одиночные оси (одноосные тележки). При движении по кривой каждая одноосная тележка должна поворачиваться относительно кузова вагона. В случае минимального радиуса кривой 45,7 м угол поворота тележки составляет почти $3^\circ 30'$. Для обеспечения этого угла была разработана новая оригинальная система подвешивания. За основу принята ось автомобильного типа с направляющим устройством, включающим витые и пневматические пружины, направляющие колеса, антенну, токосниматели и амортизаторы.

Ось имеет две пары направляющих колес с пневматическими шинами малого диаметра. Одна пара монтируется впереди, а другая — за ней. Соединение с кузовом вагона осуществлено с помощью шарнирного устройства, допускающего поворот тележки и вертикальные поперечные перемещения кузова относительно нее.

Кузов опирается на систему механических и пневматических рессор автомобильного типа. Частота собственных вертикальных колебаний находится в пределах 60—90 *гц*. Особенностью рессорной системы является то, что она позволяет одноосной тележке поворачиваться относительно кузова вагона с помощью пружин. Основание каждой пружины опирается на направляющее устройство таким образом, что может иметь поперечное или горизонтальное перемещение относительно верха пружины, на который опирается кузов. При повороте оси в направляющих колесах не возникает заметных реактивных сил.

Конструкция обеспечивает также поперечное перемещение кузова относительно осей. Поперечная жесткость подвешивания относительно низкая, что сделано для уменьшения влияния на ось отклонений направляющей балки. Для смягчения ударов в поперечной и вертикальной плоскостях служат амортизаторы автомобильного типа.

Опытные вагоны имеют съемные секции пола над осями, чтобы можно было осматривать подвешивания.

Для этой же дороги разработана еще более облегченная конструкция вагона на 20 пассажиров, который при длине 7 м, ширине 2,44 м и высоте 2,75 м весит 3,9 т.

Для французской монорельсовой дороги на воздушной подушке, опытный участок которой описан в предыдущем разделе, разработано несколько вариантов подвижного состава—аэропоездов.

Опытный вагон с двухместной кабиной и четырьмя местами для пассажиров имеет пневматическую систему, состоящую из четырех воздушных подушек для подъема и четырех воздушных подушек для направления движения. Давление воздуха в системе составляет 0,025—0,035 кг/см^2 ; максимальный расход воздуха 10 $\text{м}^3/\text{сек}$. Толщина создаваемой воздушной подушки равна 10—20 мм. Удельная мощность вентилятора 20—40 л. с./т.

Два центробежных вентилятора приводятся во вращение через коробки передач с двумя двигателями мощностью 70 л. с., которые развивают мощность 50—55 л. с. каждый. Вентиляторы и двигатели сидят на одном валу, поэтому при неисправности одного из двигателей другой приводит во вращение оба вентилятора. Для тяги использован авиационный шестицилиндровый двигатель мощностью 250 л. с., который вращает трехлопастный пропеллер диаметром 1855 мм. Торможение обеспечивается изменением направления вращения пропеллера и тормозными колодками, прижимаемыми к обеим боковым стенкам вертикального ребра ходовой балки.

Вагон имеет длину 10 м, ширину 2 м и высоту кузова 1,6 м. Полная высота вагона, включая пропеллер, равна 3,7 м от опорной плоскости эстакады. Вес вагона равен 2,5 т. На создание его израсходовано 180 тыс. руб. Кузов вагона клепаной конструкции полумонокок с алюминиевой обшивкой и элементами жесткости, входящими до основания вагона, представляет собой гладкую и открытую раму, в которой размещается все оборудование для создания воздушной подушки и имеется прорезь для прохода вертикального направляющего ребра ходовой балки.

Кузов вагона был испытан в аэродинамической трубе и имеет форму, исключаящую отрыв вагона от опорной поверхности ходовой балки при высокой скорости. Кабина машиниста оборудована органами управления и контрольно-измерительной аппаратурой.

Для междугородных сообщений на расстоянии 48—480 км имеется проект вагона-аэропоезда, вмещающего 100 пассажиров и развивающего скорость 300—400 км/ч. Такой вагон имеет длину 24,5 м, ширину 4,4 м, высоту 5 м и весит 30 т. Он оборудуется тяговым двигателем мощностью 4000 л. с. и двигателем для создания воздушной подушки мощностью 160 л. с. На трассах предполагается иметь минимальное расстояние между остановочными пунктами 9,6 км. Путь от Парижа до Лиона (450 км) такой поезд будет проходить за 70—80 мин, в то время как поезд-экс-

пресс сейчас проходит это расстояние за 4 ч, а самолет — за 2 ч 45 мин (включая время поездок к аэропортам).

Для пригородных сообщений и для связи городов с аэропортами, располагаемыми на расстояниях 10—100 км от центра города, спроектирован аэропоезд, рассчитанный на 150 пассажиров. Этот поезд будет иметь длину 19,8 м, ширину 4 м и высоту 5 м и развивать скорость 160—240 км/ч. Для создания тяги вагон оборудуется двигателем мощностью 1500 л. с., а для образования воздушной подушки — двигателем мощностью 120 л. с. Этот вариант аэропоезда предполагается использовать для связи Лиона с Греноблем, расстояние между которыми, равное 86,5 км, будет покрываться за 20—26 мин.

Для внутригородского сообщения создается вагон-аэропоезд вместимостью 80 пассажиров, оснащаемый двумя небольшими колесными тележками с обеих сторон центрального направляющего ребра. Этот вагон оборудуется электродвигателем или двигателем внутреннего сгорания мощностью 200 л. с., будет иметь вес 20 т и развивать скорость 80 км/ч. Вагон запроектирован со следующими размерами: длина 15 м, ширина 3 м и высота 3,2 м.

Длина каждого вагона аэропоезда устанавливается в зависимости от минимального радиуса кривых на трассе. При наличии на трассе кривых радиусом 1000 м возможна эксплуатация вагонов вместимостью 70—100 пассажиров.

Все вагоны оснащаются несколькими системами торможения. Реверсированием вращения пропеллера достигается торможение при замедлении 1,5—4 м/сек²; это торможение обычно используется для остановки аэропоездов у станций. Кроме того, предусмотрены так называемые линейные дисковые тормоза, которыми вагоны сжимают (как кронциркулем) боковые стенки направляющего ребра. В качестве аварийного тормоза использованы специальные колодки в основании вагона, которыми он опускается на ходовой рельс; при этом производится торможение с замедлением до 5 м/сек². При использовании всех тормозных средств вагон может получить замедление более 10 м/сек².

Для испытания со скоростью 200 км/ч, а затем 260—320 км/ч разработан вагон-аэропоезд на 78 пассажиров. Вагон имеет вес тары 12 т и полезную нагрузку 8 т. Пассажирский салон длиной 12,2 м имеет четыре двери — по две с каждой стороны. Кресла для сидения расположены по шесть в каждом из 13 рядов (по схеме 3+3) с шагом 0,95 м. Ширина сиденья между подлокотниками 47 см. Ширина прохода между креслами 59 см.

Кабина водителя с двумя креслами изолирована от пассажирского салона перегородкой и имеет приподнятый на 46 см пол (для лучшего обзора). Головной части аэропоезда придана обтекаемая форма по типу современных самолетов.

В хвостовой части вагона с обеих сторон установлено два турбовальных двигателя. Движение от них передается через коробку

передач на пропеллер диаметром 1,47 м (для движения вперед) и на центробежный компрессор (для создания воздушной подушки). В случае выхода одного двигателя из строя работа обеспечивается другим двигателем. Окончательно тип двигателя еще не выбран; возможно, будут использованы турбореактивные или турбовентиляторные двигатели для тяги и создания воздушной подушки. Предполагается, что для создания тяги потребуется мощность 3400—4000 л. с., а для образования воздушной подушки 80—270 л. с.

Аэропоезд для города оборудуется группой поршневых или электрических двигателей мощностью 100 л. с. каждый, что позволит избежать большого шума, создаваемого реактивными двигателями и воздушным винтом. При 80 пассажирах такой аэропоезд, перемещаясь на колесных тележках, сможет развивать скорость до 145 км/ч. Колеса делаются управляемыми, что позволит аэропоезду маневрировать на конечных участках и на разветвлениях ходовой балки, где снимается центральное вертикальное направляющее ребро балки.

Приподнимаемая на 5,5 м ходовая балка состоит из элементов длиной 20 м, образующих секцию длиной 120 м. Опорные колонны имеют регулирующее устройство, допускающее перемещение в некоторых пределах элементов ходовой балки в вертикальном и горизонтальном направлениях, что облегчает поддержание ровности ходовых и направляющих поверхностей балки в процессе эксплуатации.

Разрабатываются также проекты монорельсовой дороги с поездами на воздушной подушке с тяговыми линейными асинхронными двигателями. При этом возможно применение электропривода и для вентиляторов, создающих воздушную подушку.

В разработанных в Советском Союзе проектах вагонов для монорельсовых дорог использованы все достижения отечественного вагоностроения, автомобильной промышленности и электротехники.

При создании подвижного состава для построенной под Москвой дороги С. С. Вальднер исходил из необходимости придания ему высоких аэродинамических качеств при движении над поверхностью земли. По расчетам автора при скорости движения 250 км/ч воздушное сопротивление рельсового наземного транспорта составляет 92—95% общего сопротивления движению, а при подъеме подвижного состава хотя бы на двойную его высоту сопротивление воздуха падает почти вдвое. Поэтому эстакадная дорога обеспечивает не только независимость движения поездов, но еще и большую экономию энергии.

Было разработано два варианта вагонов (аэропоездов) на 80 и 300 пассажиров. Вагон на 80 пассажирских мест (рис. 38) состоял из двух параллельно соединенных вагонных секций сигарообразной формы длиной 30,75 м. Вес вагона с пассажирами равен 30 т.

Соединительные фермы были перекрыты обтекателями. Толкающие пропеллеры размещались на заднем конце вагонных секций и приводились в движение двумя авиационными двигателями мощностью по 500 л. с., что обеспечивало максимальную скорость движения 250—280 км/ч. Кабина машиниста помещена в голове вагона, за ней следует пассажирское и багажное помещения, уборные, отделение для механика и машин.

Вагон опирается соединительными фермами на две двухосные тележки, движущиеся по ходовому рельсу с помощью двухребордных колес. Нижние горизонтальные боковые бегунковые тележки (по две с каждой стороны) заключены в обтекатели. Корпус каждой вагонной секции состоит из продольных стрингеров (по два вверху и внизу), соединенных между собой вертикальными стойками и шпангоутами. Обшивка вагона сделана из легкого металла. Между внутренней и наружной обшивками проложена тепло- и звукоизоляция.

Сочлененный трехвагонный поезд на 300 мест (рис. 39) имел длину 63 м и состоял из переднего вагона с кабиной машиниста длиной 20,5 м, среднего вагона длиной 17,0 м и концевого вагона длиной 25,5 м с машинным отделением и двигателями мощностью 1500 л. с.

Наиболее подробно был разработан проект вагона на 42 пассажира длиной 18,75 м. Обе верхние тележки в нем были перекрыты общим сплошным обтекателем. В передаточный механизм от двигателя к пропеллеру было введено реверсивное приспособление для торможения. Для трогания с места и маневровой работы на малых скоростях в задней тележке был установлен электродвигатель, работающий от аккумуляторных батарей, расположенных под полом вагона.

Для монорельсовой дороги на Камчатке разрабатывался подвижной состав с локомотивной тягой. Грузовые вагоны шириной 2,4 м и грузоподъемностью 10 т имели дизель-электрический локомотив (тепловоз) с силой тяги до 8000 кг. Тепловоз (рис. 40), имеющий первичный двигатель 9 (дизель ЯАЗ-206) мощностью 165 л. с., обеспечивает конструктивную скорость 35 км/ч и максимальную силу тяги 4500 кг. При оптимальной скорости движения 20—25 км/ч тепловоз имеет силу тяги 1500 кг и расход дизельного топлива 250 г/(л. с. ч). Каждая из четырех ходовых тележек 2 снабжена тяговым электродвигателем с редуктором и тяговым колесом диаметром 1000 мм, прижимаемым резиновым ободом к нижней поверхности рельса. Расположенные на расстоянии 1100 мм друг от друга (база тележки) две пары опорных и грузонесущих стальных колес диаметром 300 мм катятся по наклонным поверхностям ходового рельса. Генератор 10 мощностью 30 квт приводится в движение двигателем через эластичную муфту.

Кузов 8 тепловоза, имеющий ширину 1900 мм и высоту 1850 мм, подвешивается к тележкам с помощью двух рессорных шарнирных

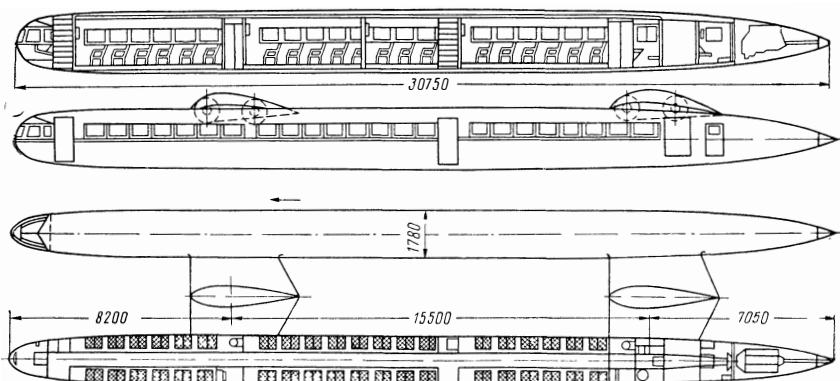


Рис. 38. Вагон дороги Вальднера на 80 пассажиров

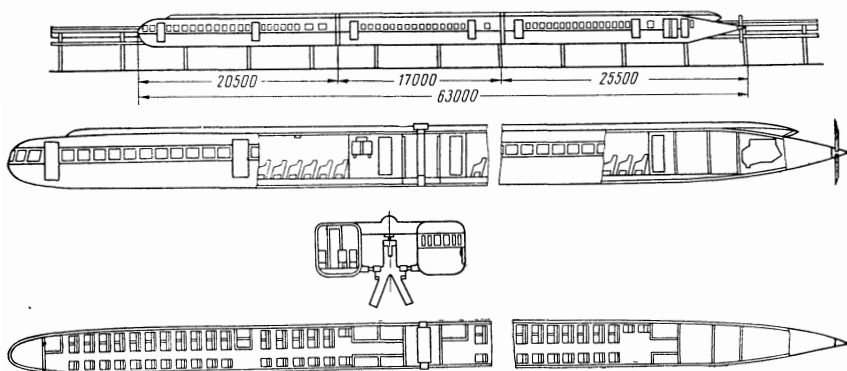


Рис. 39. Трехвагонный поезд дороги Вальднера на 300 пассажиров

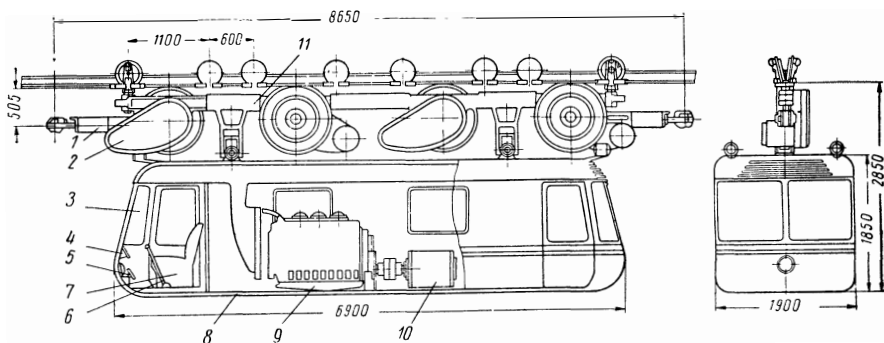


Рис. 40. Тепловоз, запроектированный для подвесной монорельсовой дороги на западном побережье Камчатки

подвесок 11. В обеих концевых частях кузова расположены кабины 3 машиниста, оборудованные щитами 4 управления с приборами и реверсом, педалью 5 управления дроссельной заслонкой и рычагом 6 управления пневматическим тормозом, а также сиденьем 7 для машиниста. Автосцепки 1 расположены на расстоянии 505 мм от нижней поверхности рельса по оси тяговых колес. Сухой вес тепловоза равен 4,2 т.

Для этой дороги были спроектированы саморазгружающиеся вагоны двух типов: вагон среднего типа грузоподъемностью 10 т

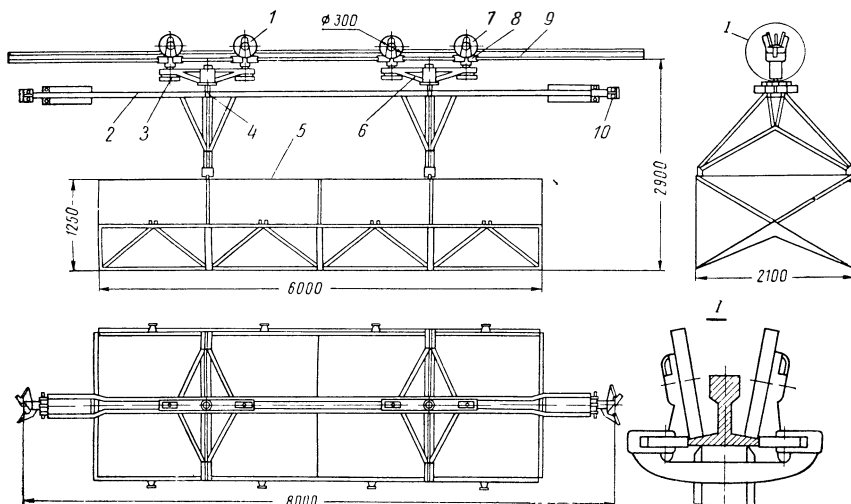


Рис. 41. Саморазгружающийся вагон грузоподъемностью 10 т:

1 — пневматический тормоз; 2 — хребтовая балка; 3 — рессора тележки; 4 — шарнир на хребтовой балке; 5 — кузов вагона; 6 — мост тележки; 7 — ходовое колесо; 8 — направляющий ролик; 9 — рельс; 10 — автосцепка

и весом 2,5 т имел общую длину 8,0 м, ширину 2,10 м и высоту 1,25 м; вагон тяжелого типа грузоподъемностью 25 т и весом 5 т имел длину 11,8 м, ширину 2,25 м и высоту 1,6 м. Вагон грузоподъемностью 10 т показан на рис. 41. Хребтовая балка 2, которая несет автосцепки 10, расположена над кузовом 5. Вагон шарнирно подвешен к двум тележкам.

Для монорельсовой дороги в Темир-Тау в 1957 г. были спроектированы обтекаемые моторные вагоны. При длине 18,0 м и ширине 2,3 м вагон имеет 60 мест для сидения, обладает максимальной вместимостью 150—160 человек и очень малым удельным весом на одно место — всего 200 кг. Кузов вагона трубчатой конструкции имеет каркас из тонколистовой профилированной стали с обшивкой из дюралюминия.

Для монорельсовой дороги в Магнитогорске были спроектированы вагоны на пневматических шинах с давлением в них 8—10 кг/см². Вагоны имели следующие основные параметры: длина

18,0 м, ширина 3,0 м, высота 3,0 м, вес тары полностью оборудованного вагона 8,5 т. В вагоне размещалось 60 мест для сидения; максимальная вместимость вагона равна 110 пассажирам при общей площади пола 40 м².

Каждый вагон оборудовался двумя моторными тележками с общей мощностью тяговых электродвигателей 160—250 квт. Кузов вагона запроектирован обтекаемой формы из легких сплавов весом 3,5 т.

Пассажирские вагоны для монорельсовой дороги в Миасе проектировались на основе анализа конструкции вагонов типа Алвег и технического задания на проектирование вагонов для монорельсовой дороги в Москве, разработанного Управлением московского метрополитена. Вагон длиной 16,0 м и вместимостью

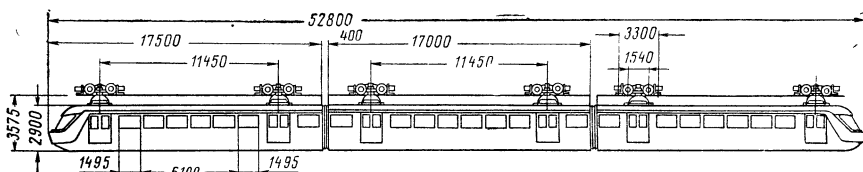


Рис. 42. Трехвагонный поезд монорельсовой дороги для Москвы (проект Мытищинского машиностроительного завода)

150 пассажиров (нагрузка 10,5 Т) весил 19 т. Мощность двигателей одного вагона 240 квт. Вагон имел две ходовые тележки с двумя осями и четырьмя ведущими и восемью направляющими колесами.

Наиболее подробно разработаны проекты вагонов для московских монорельсовых дорог.

Мытищинским машиностроительным заводом для монорельсовой дороги от станции метрополитена Юго-Западная до аэропорта Внуково разработан трехвагонный поезд (рис. 42), состоящий из моторных вагонов. Головные вагоны длиной по 17,5 м имеют кабины машиниста, а средний вагон длиной 17,0 м весь занят салоном для пассажиров. Такой поезд рассчитан на движение со скоростями до 150 км/ч. Допускается сочленение двух головных вагонов, однако в этом случае вследствие увеличения удельного аэродинамического сопротивления максимальная скорость движения ограничивается 135 км/ч.

Размеры поперечного сечения всех вагонов одинаковы: ширина 2,7 м и высота 2,9 м (рис. 43). Такая ширина вагона допускает расположение сидений поперек вагона по схеме 2+2 (рис. 44), при котором в головных вагонах размещается по 72 места для сидения, а в среднем — 80. Всего в поезде расположено 224 места для сидения (в том числе 48 откидных), а общая вместимость равна 315 пассажирам. Откидные сиденья расположены в проходах дверей и позволяют в период максимальных пассажиропотоков увеличивать площадь, отводимую стоящим пассажирам.

При выборе материала для изготовления кузова вагона были проанализированы физико-механические и технологические свойства выпускаемых отечественной промышленностью алюминиевых сплавов (табл. 3). Для несущих элементов кузова наиболее приемлемым был признан алюминиево-магнийевый сплав АМгб-1, отличающийся наибольшей прочностью. Для обшивки вагона предполагалось использовать сплав АМгб, а для средних и малонагруженных деталей — сплав АМг5В.

Кузов вагона (рис. 45) имеет такую форму, что возникающие усилия воспринимают все элементы каркаса кузова и обшивочные листы. Этому способствуют также наклонные боковые стены и определенная кривизна обшивочных листов верхней и нижней частей кузова. Максимальная ширина кузова вагона, равная 2610 мм, получена из условия расположения с каждой стороны центрального прохода (шириной 600 мм)

двух сидений шириной по 450 мм с зазором у боковых стен по 35 мм и толщины стен по 70 мм. Все параметры соответствуют требованиям ГОСТа 10022—62 на планировочные размеры пасса-

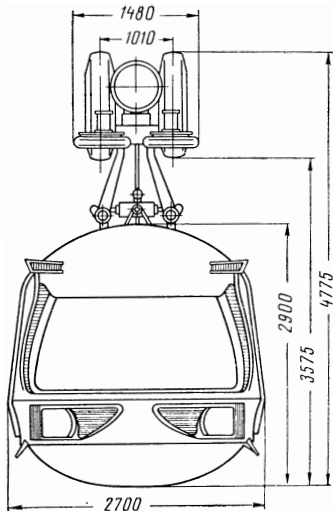


Рис. 43. Основные размеры вагона

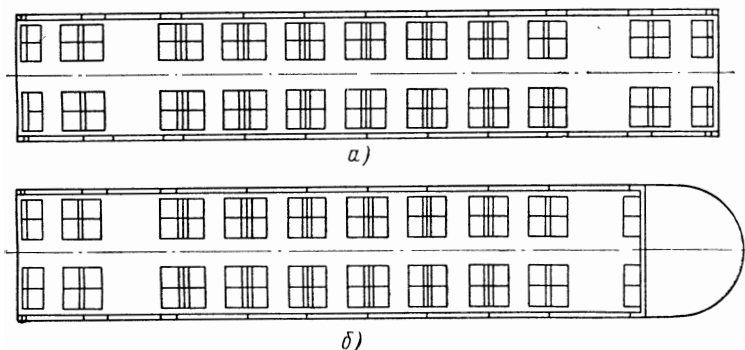


Рис. 44. Планировка вагонов:
а — среднего; б — головного

жирских помещений в автобусах и троллейбусах. Высота дверного проема 1900 мм и пассажирского помещения в проходе 2100 мм. При наличии наружных накладных дверей габаритная ширина вагона равна 2700 мм.

Основные механические и технологические свойства некоторых алюминиевых сплавов

Параметры	Термические неупрочняемые сплавы					Термические упрочняемые сплавы				
	AMг-5B	AMг-6M	AMг-6-1	Д16П	Д18Т	Д18М	В95Т	В95М	AK6, AK6-1*	AK8
Предел прочности при растяжении в $кг/мм^2$	30	30—32	38—41	31	30	16	60	26	36—42	42—48
Предел текучести в $кг/мм^2$	15	14—16	19—22	—	17	6	55	13	30	37—38
Относительное удлинение в %	18	11—12	11—17	25	24	24	12	15	12—13	10
Предел выносливости в $кг/мм^2$	—	—	12,5	—	—	—	16	—	9,5	12,5
Твердость по Бринеллю	65	—	—	—	—	—	150	—	105	130
Пластичность	Высшая	Высшая	—	Высокая	—	—	Удовлетворительная	—	Высокая	Низкая
Обрабатываемость резанием	Низкая	Хорошая	—	»	—	—	То же	—	Удовлетворительная	Хорошая
Коррозионная стойкость	Высшая	Высокая	Высокая	»	—	—	Средняя	—	Высокая	Низкая
Свариваемость	Хорошая	Хорошая контактной и аргоно-дуговой сваркой	—	—	—	—	Хорошая — контактной сваркой, плохая — газовой	—	—	—
	Удовлетворительная	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	атомно-водородной сваркой	—	—	—	—	—	—	—	—	—

* Свойства сплава АК6-1 аналогичны свойствам сплава АК6, но первый не имеет столбчатой структуры.

Кузов вагона состоит из каркаса и обшивки. Каркас собран из штампованных алюминиевых листов, редко расставленных шпангоутов, предназначенных для сохранения геометрических размеров поперечного сечения, и продольного силового набора. Продольный набор состоит из двух Z-образных балок крыши, надоконного и подоконного поясов и двух балок, связывающих

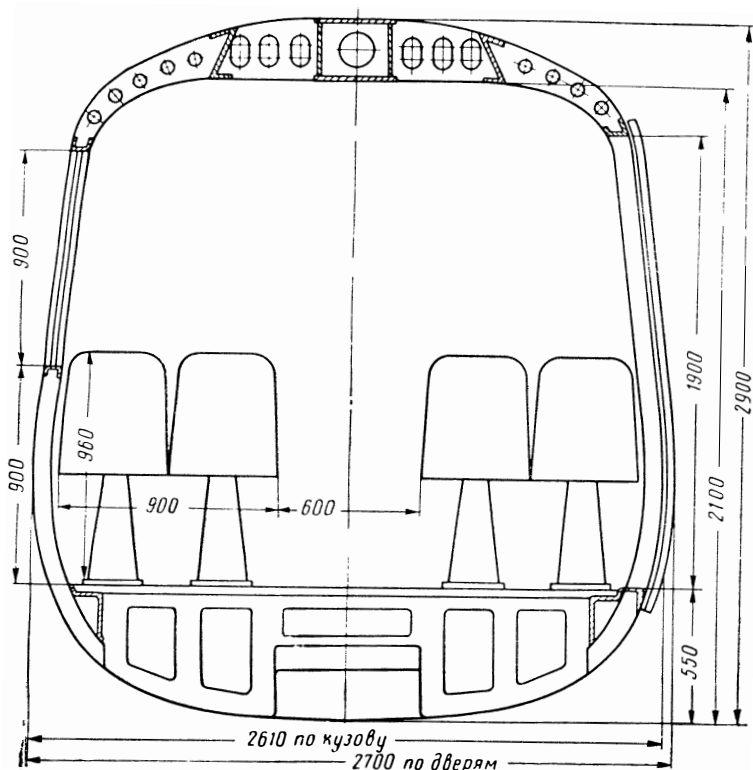


Рис. 45. Основные размеры поперечного сечения кузова вагона

под полом шпангоуты. Соединение деталей каркаса вагона осуществляется аргоно-дуговой сваркой. Листы алюминиевой обшивки толщиной 3 мм приклепываются к каркасу; вследствие этого исключаются деформации листов наружной обшивки и легко достигается более красивый внешний вид вагона без окраски.

Кабины машиниста изготовлены формовкой из стеклопластика и соединяются с основным кузовом болтами. Тепло- и звукоизоляция вагонов достигается нанесением на внутреннюю поверхность листов наружной обшивки полиуретановой пены. Толщина слоя пеноизоляции в подоконном поясе равна 30 мм, так как пространство между листами внутренней обшивки и изоляцией пред-

назначено для прохода подогретого воздуха системы отопления и вентиляции, который нагнетается вентиляторами из-под пола вагона к дефлекторами в подоконной балке. После подогрева листов внутренней обшивки воздух направляется к стеклам окон. Наносимая на внутреннюю поверхность листов обшивки полиуретановая пена защищает металл от коррозии, увеличивает жесткость тонколистовых элементов кузова вагона и уменьшает их вибрацию.

Внутри пассажирский салон отделан декоративным слоистым пластиком толщиной 0,5—2,0 мм различных расцветок. Стыки листов перекрываются алюминиевыми анодированными раскладками (штабиками). Раздвижные двери с гидравлическим приводом, расположенные по две с каждой стороны вагона, имеют накладную конструкцию. Герметизация дверных проемов осуществляется с помощью наполняемых воздухом резиновых уплотнителей трубчатого сечения. Уплотнители расположены по контуру дверного проема. Управление системой герметизации совмещено с управлением открывания и закрывания дверей. Кабина машиниста соединена с пассажирским салоном створчатой дверью.

Т а б л и ц а 4

Основные элементы кузова вагона монорельсовой дороги по проекту Мытищинского машиностроительного завода и их весовые характеристики

Наименование элементов	Количество на вагон	Вес на вагон в кг
Кузов с оборудованием	1	3760
Подвеска	2	1130
Переходная площадка	1	300
Автосцепка	2	200
Лестница с редуктором	1	140
И т о г о		5530
Пневматическое оборудование	—	850
Гидравлическое оборудование	—	350
Электрооборудование без электродвигателей	—	1200
И т о г о		2400
Тележки без электродвигателя	2	5220
Электродвигатели	4	3600
И т о г о		8820
Неучтенный вес	—	250
В е с в а г о н а		17 000

Пассажирам предоставляется возможность свободного перехода из одного вагона в другой, для чего вагоны оборудованы широкими переходными площадками с гибкими ограждениями. Вагоны оборудованы системой принудительной вентиляции с полуавтоматическим регулированием количества подаваемого воздуха. Освещение — лампы дневного света. Отопление вагона — электрокалориферное с автоматическим термостатическим регулированием температуры внутри пассажирского салона и кабины машиниста. Подогретым воздухом обдуваются и стекла салона,

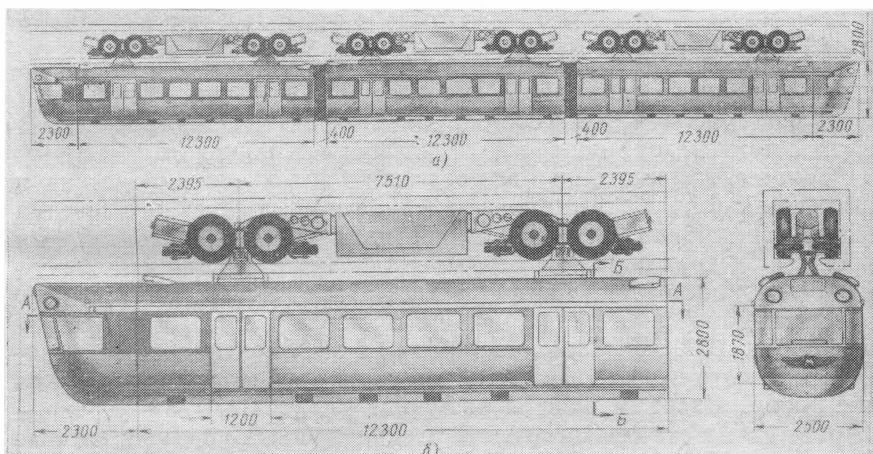


Рис. 46. Опытный поезд монорельсовой дороги Москвы:
а — общий вид поезда; *б* — внешний вид вагона

что предохраняет их от обмерзания в зимнее время. Весовые характеристики основных элементов кузова вагона приведены в табл. 4.

В 1964—1965 гг. КБ был разработан проект поезда для монорельсовой дороги от станции метрополитена Автозаводская до станции Коломенское Московской железной дороги.

Опытный поезд состоит из трех моторных вагонов (рис. 46, *а*). Кузова всех вагонов одинаковы, но к переднему и заднему вагонам крепится приставная кабина машиниста. Размеры вагонов (рис. 46, *б*): длина 12,3 м, ширина 2,5 м, высота 2,8 м, высота салона 2,1 м, длина кабины 2,3 м. Во всех вагонах принято продольное расположение мест для сидения. При этом в каждом вагоне расположено по 44 места. Максимальная вместимость вагона 115 человек. Вес вагона 14,0 т, вес вагона с пассажирами 22,0 т. В перегрузочном варианте, рассчитанном на обеспечение перевозок пассажиров в дни массовых мероприятий, вес

вагона принят равным 25,0 т. В каждом вагоне с обеих сторон имеются двухстворчатые двери.

Цельносварной кузов вагона изготавливается из шести узлов: четырех продольных панелей (крыша, боковые стены и пол) и двух торцовых шпангоутов. Панель крыши вагона состоит из двух сплошных по всей длине продольных балок швеллерного сечения, дуг и обшивки. На концах панели крыши по оси вагона установлены кронштейны крепления автосцепок. Обшивка крыши сделана из гофрированных листов алюминиевого сплава и имеет два продольных стыка. Соединение листов обшивки с каркасом и между собой осуществляется с помощью электрической точечной сварки.

Каждая боковая панель имеет три части, разделяемые дверными проемами: две крайние и одну среднюю.

Панель пола вагона состоит из сплошных по длине вагона продольных балок, поперечных диафрагм и обшивки.

Торцовые шпангоуты являются торцовыми стенами вагона и выполнены в виде отштампованной по форме поперечного сечения вагона армировки, каркаса из вертикальных и горизонтальных профилей и двух обшивок. Пространство между обшивками заполнено пенопластом.

В каждой боковой стене вагона имеется по шесть окон размером 800×1200 мм. Стекла толщиной 5 мм смонтированы в резиновых уплотнителях. С каждой стороны вагона расположено по две двери. Дверные проемы размером 1200×1870 мм перекрываются двумя створками дверей, расположенных снаружи вагона. Зазор между створками дверей и наружной обшивкой вагона равен 3—5 мм и в закрытом положении дверей перекрывается резиновыми уплотнителями. Управление открыванием и закрыванием дверей осуществляется с помощью одного гидроцилиндра и системы тросов, обеспечивающей синхронность открывания и закрывания обеих створок каждой двери.

Кабина машиниста, в которой размещено все оборудование управления поездом, изготовлена из высокопрочных алюминиево-магниевых сплавов типа АМгб с помощью аргоно-дуговой и точечной электросварки. Кабина крепится болтами к концевым шпангоутам головных вагонов. В верхней части кабины расположены убирающаяся аварийная автосцепка и фары, а в нижней — пульт управления, сиденье машиниста и приборы отопления и вентиляции. Внутренняя облицовка кабины сделана из алюминиевых листов марки Д16Т толщиной 0,5—0,8 мм, прикрепляемых к каркасу винтами и заклепками. В кабине машиниста предусмотрена установка комплекса приборов локомотивной сигнализации и регулирования скорости, а также аппаратуры автоматического ведения поездов.

Вагоны комфортабельны и имеют современный внешний и внутренний вид. Вдоль стен вагона установлены продольные мягкие

диваны. Для перехода из одного вагона в другой в торцах вагона имеются широкие двери с переходной площадкой.

Вагоны оборудованы электро-гидропневматической системой, выполняющей операции стабилизации положения вагона при подходе к платформам, поддержания постоянства уровня пола вагона при различных нагрузках, управления дверями, линейными контакторами и тормозами. Для уменьшения длины трубопроводов и обеспечения быстрого действия тормозов использовано электрическое дистанционное управление. Для повышения надежности и безопасности движения тормоза колес и система стабилизации вагона по крену дублированы второй независимой системой, автоматически включающейся при неполадках в основной рабочей системе.

Полезная нагрузка (вес 115 пассажиров и машиниста) принята равной 8000 кг, вес вагона с полной загрузкой 22 000 кг. Ниже приведены весовые характеристики основных элементов вагона монорельсовой дороги (в кг на вагон):

Кузов с внутренним оборудованием	2730	Четыре электродвигателя	2400
Автосцепка	150	Оборудование	2200
Переходная площадка	60	Гидрооборудование	300
Лестница с редуктором	80	Система вентиляции и обогрева	180
Подвешивание	800	Вес пустого вагона	14 000
Две тележки без электродвигателей	5100		

Установленная на вагонах автосцепка производит автоматическое сцепление вагонов при относительной скорости движения их 0,5—1,5 км/ч и смещении головок на 30 мм в любом направлении. Сцепленные вагоны могут проходить кривые радиусом до 50 м.

Для изготовления вагонов использованы обычные материалы, серийно выпускаемые отечественной промышленностью. Для кузова вагонов использованы алюминиевые сплавы АМг6, Д16Т, В95, АК6 и АК8. Обшивка вагонов и некоторые элементы конструкции запроектированы из листов сплава АМг6, обладающего достаточной прочностью, хорошей свариваемостью и антикоррозионной стойкостью (табл. 5).

Для внутренней обшивки и деталей внутреннего оборудования вагонов применены листы, профили и трубы из сплава Д16, имеющего высокие прочностные характеристики. Для деталей и узлов подвески, лонжеронов и др. использованы высокопрочные деформируемые сплавы АК6 и АК8, из которых получают высококачественные поковки и штамповки.

Детали высоконагруженных узлов поезда изготавливаются из легированных и углеродистых сталей марок 30ХГСА, 30ХГСМА, 35ХГСЛ, 40. Для деталей механизма передач выбраны цементуемые легированные стали 20ХНЗА и 18ХНВА, обладающие высокой поверхностной твердостью и высокой вязкостью сердцевины.

**Физико-механические свойства алюминиевых сплавов,
использованных в конструкции вагона**

Сплав	Вид поставки	Механические свойства		
		Временное сопротивле- ние в $кг/мм^2$	Предел текущей в $кг/мм^2$	Относитель- ное удлинение в %
Д16АТ	Лист	41,5	27,5	13
В95АТ	Профиль	49	41	7
АК6	Поковка	36	—	4
АК8	»	39	—	6
АМг6	Лист	32	16	15

Т а б л и ц а 6

Материалы, использованные для тепло- и звукоизоляции вагонов

Наименование элементов	Материал	Вес в $кг$ на $1 м^2$	Площадь на вагон в $м^2$	Вес на ва- гон в $кг$	Общий вес в $кг$
Боковые стенки	АТМ-1	0,3	52,5	18,8	83,8
	Пенопласт ФК-50	0,9	42,2	39	
	Повинол на поролоне	0,62	42,2	26	
Потолок	АТМ-1	0,3	19,3	5,8	19,5
	Пенопласт ФК-50	0,9	9,15	8	
	Повинол на поролоне	0,62	9,15	5,1	
Торцовые стенки	Пенопласт ПХВ	2,5	10	25	40,2
	Пенопласт ФК-50	0,9	10	9	
	Повинол на поролоне	0,62	10	6,2	
Пол	Армированный пенопласт	—	24	—	—
	Резина	3,7	1,4	5,2	
	Пластик релин	3,7	18,4	68	
Воздуходувы	АТМ-1	0,15	22,5	3,3	—

Для внутренней отделки вагонов широко используются современные синтетические материалы (поролон, стеклопластик, заменители кожи). Пол вагона покрывается армированным пеноматериалом марки ПХВ-1 с поверхностным слоем линолеума.

Звуко- и теплоизоляция (рис. 47) осуществляется с помощью современных синтетических материалов (табл. 6). Для

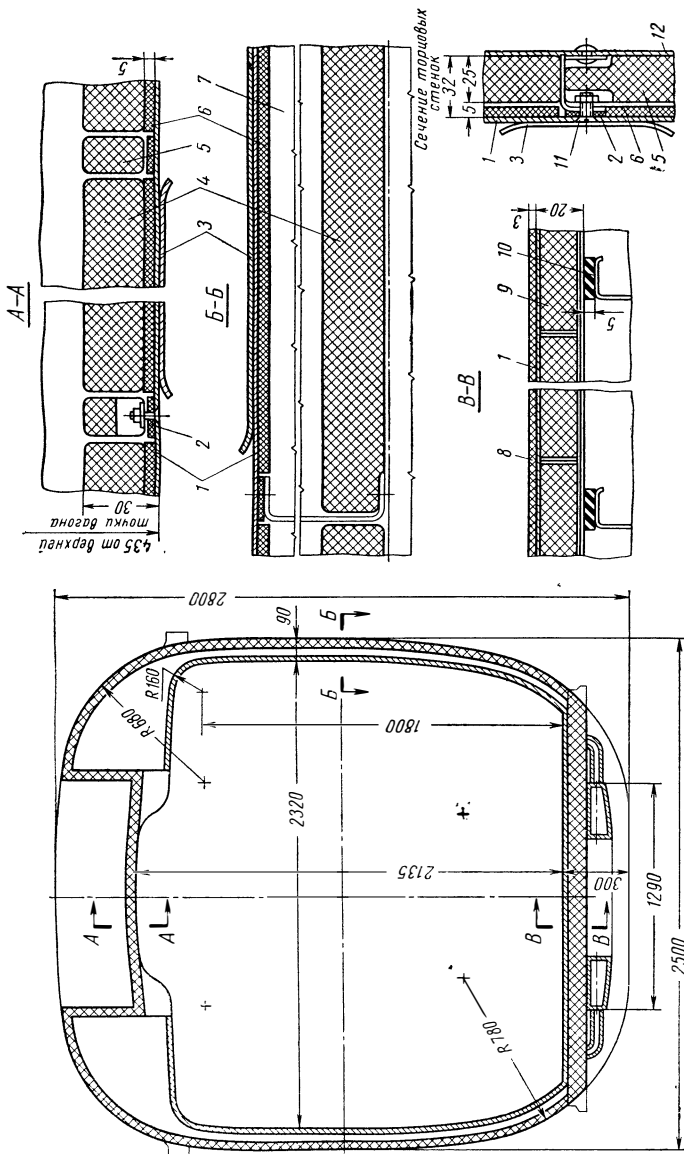


Рис. 47. Тепло- и звукоизоляция вагона монорельсовой дороги:

1 — алюминиевый лист внутренней обшивки; 2 — войлочная прокладка; 3 — декоративный павинол на поролоне; 4 — стекловолокно; 5 — пенопласт; 6 — пенопласт (вибродемпфирующий материал); 7 — шпалгут; 8 — декоративный пластак релин; 9 — армированный пенопласт; 10 — резина; 11 — капроновый винт; 12 — алюминиевый лист наружной обшивки

Основные технико-экономические параметры

Город, страна	Тип дороги	Размеры вагонов в м		
		Длина	Ширина	Высота
Вупперталь, ФРГ Хаустон, США Даллас, США Фюлинген, Кельн, ФРГ Токио, зоопарк Токио, зоопарк—центр Диснейленд, США	Подвесная 1901 г.	12,0	2,2	2,6
	1950 г.	11,9	3,0	4,0
	1966 г.			
	Подвесная	16,8	2,8	2,4
	»	16,5	2,4	2,4
	Навесная	11,0	3,0	4,0
	Подвесная	9,3	1,68	2,3
	»	9,3	1,6	2,3
Навесная	33,9 ¹⁾	2,2	2,7	
Шатонеф, Франция	Подвесная: опытная	17,3	3,07	2,96
	тип 1	16,9	3,08	2,96
	» 2	16,07	2,5	3,0
	» 3	13,17	2,5	2,8
Турин, Италия Нара, Япония Сизтль, США Инуяма, Япония Лос-Анджелес, США Кавасаки, Япония	Навесная	30,3 ³⁾	3,10	4,0
	»	31,0 ³⁾	2,33	3,0
	»	40,0 ¹⁾	3,0	4,0
	»	30,8 ³⁾	2,95	4,3
	Подвесная	9,4	—	—
	Навесная	26,4 ³⁾	2,45	3,5
Токио — Ханеда, Япония	Навесная	29,6 ³⁾	3,02	4,31
		59,4 ⁴⁾	3,02	4,31
Питтсбург, США	Навесная: тип 1 » 2	9,3	2,59	2,9
		7,0	2,44	2,75
Москва, СССР	Подвесная: проектное задание 1962 г. проект 1963 г. проектное задание 1964 г. проект 1964—1965 гг.	17	2,7	2,9
		52,8 ³⁾	2,7	2,9
		17,0	2,7	2,9
		41,5 ³⁾	2,5	2,8
Лимур, Франция	Навесная на воздушной подушке: опытная дальнего следования пригородная внутригородская опытная	10,0	2,0	1,6(3,7 ⁶⁾)
		24,5	4,4	5,0
		19,8	4,0	5,0
		15,0	3,0	3,2
		22,6	4,1	3,4(4,2 ⁶⁾)

1) Для поезда из четырех вагонов.

2) В том числе 24 откидных

3) Для поезда из трех вагонов.

4) Для поезда из шести вагонов.

5) Для поезда из шести вагонов; из общего числа мест 48 откидных.

6) В числителе — высота кузова, в знаменателе — полная высота с пропеллером.

Таблица 7

вагонов пассажирских монорельсовых дорог

Вес вагона в т	Площадь горизонтальной проекции в м ²	Количество мест		Вес в кг, приходящийся на:				Площадь горизонтальной проекции в м ² , приходящаяся на одного пассажира при максимальном заполнении	Отношение мест для сидения к максимальной вместимости в %
		для сидения	максимальное	1 м длины	1 м ²	на одно место			
						для сидения	при максимальном заполнении		
11,0 11,0	26,4 35,4	30 31	70 80	917 930	417 310	367 355	157 137	0,377 0,443	43 39
12,0 12,0 10,0 6,0 6,0 20,2 ¹⁾	47,0 39,6 33,0 15,4 15,4 74,5 ¹⁾	70 55 38 31 31 96 ¹⁾	110 110 100 37 40 106 ¹⁾	715 730 910 650 650 600	256 304 303 390 390 272	172 218 263 194 194 210	109 109 100 162 150 185	0,428 0,36 0,33 0,417 0,385 0,684	64 50 38 84 78 88
17,0 21,8 22,0 18,0	53,0 52,0 40,0 33,0	32 56 ²⁾ 48 48	132 125 148 120	985 1300 1370 1370	322 420 550 545	530 390 460 376	129 175 149 150	0,40 0,415 0,270 0,275	24 45 33 40
38,1 ³⁾ — 51,0 ¹⁾ 39,3 ³⁾ 2,0 27,9 ³⁾	94,0 ³⁾ 72,0 ³⁾ 120,0 ¹⁾ 91,0 ³⁾ — 64,5 ³⁾	74 ³⁾ 88 ³⁾ 124 ¹⁾ — 24 76 ³⁾	264 ³⁾ — 424 ¹⁾ — 24 182 ³⁾	1260 — 1260 1280 213 1060	406 — 425 432 — 433	515 — 410 83,5 368	144 — 120 83,5 154	0,357 — 0,284 — 0,354	28 — 29 100 42
41 ³⁾ 82 ⁴⁾	89,0 ³⁾ 180 ⁴⁾	104 ³⁾ 214 ⁴⁾	240 ³⁾ 498 ⁴⁾	1380 1360	462 450	395 378	171 163	0,372 0,362	43,5 43,0
8,2 3,9	24,1 17,1	28 20	70 52	880 557	340 228	293 195	117 75	0,344 0,33	40,0 38,0
17,0 51,0 ³⁾ 15,0 42,0 ³⁾	45,8 142,6 ³⁾ 45,8 103,8 ³⁾	60 224 ⁵⁾ 60 132 ³⁾	100 315 ³⁾ 100 345 ³⁾	1000 965 880 1010	372 358 328 405	284 228 250 319	170 162 150 122	0,458 0,452 0,458 0,300	60 71 60 38
2,5 30,0 — 20,0 12,0	20,0 107,8 79,2 45,0 92,7	6 100 150 80 78	6 100 150 80 78	250 1224 — 1333 531	125 278 — 444 129	417 300 — 250 154	417 300 — 250 154	3,3 1,08 0,528 0,562 1,2	100 100 100 100 100

герметизации применяется погодоустойчивый и долговечный герметик 430 МЭС5.

Для защиты от коррозии элементы конструкции анодируют или покрывают грунтом АЛГ-14 с последующим нанесением лакокрасочного слоя на детали из алюминиевых сплавов и цинкованием и кадмированием деталей из углеродистых сталей. Нижняя часть наружной обшивки вагона полируется по заданному образцу чистоты поверхности или покрывается эпоксидными или хлорвиниловыми эмалями заданного колера. Верхняя часть наружной обшивки окрашивается эмалями, обеспечивающими отражение солнечных лучей, влагостойкость и долговечность обшивки. Детали и узлы тележек и других механизмов покрываются влагостойкими эмалями принятого колера и т. п.

Основные технико-экономические параметры вагонов пассажирских монорельсовых дорог приведены в табл. 7.

ПРИНЦИПЫ ПОДВЕШИВАНИЯ И СТАБИЛИЗАЦИИ ВАГОНОВ

Принципы подвешивания и стабилизации вагонов для навесных и подвесных монорельсовых дорог различны. У навесных дорог эти системы сложнее, так как вагон и ходовая балка представляют собой неуравновешенную систему (центр тяжести вагона обычно расположен выше точки опоры ходовых колес на балку). Вагоны подвесных монорельсовых дорог являются уравновешенными, и необходимость в стабилизации их связана в основном с обеспечением прямолинейности движения тележек по ходовым дорожкам балок и уменьшением боковых раскачиваний вагонов.

Для стабилизации вагонов навесных монорельсовых дорог применяются следующие схемы расположения ходовых и направляющих колес (рис. 48). При использовании металлического ходового рельса появляется возможность применения двухребордных грузонесущих и тяговых колес, обуславливающих направление движения вагона. В этом случае требуется установка только одной пары стабилизирующих колес, катящихся по специальным боковым рельсам (рис. 48, а) или непосредственно по боковым стенкам ходовой балки (рис. 48, б).

При использовании безребордных колес для стабилизации вагона необходимы две пары дополнительных колес. Верхняя пара колес прижимается непосредственно к боковым кромкам рельса (рис. 48, в) или к дополнительным боковым рельсам, размещаемым в верхней части ходовой балки (рис. 48, г), и служит для направления движения тележек и вагона. Нижняя пара колес прижимается к рельсам, располагаемым на боковых полках балок в нижней их части (рис. 48, в и г), и служит для стабилизации заданного положения вагона относительно ходовой балки (вертикального на прямых участках пути). Эффект стабилизации во всех случаях

зависит от расстояния в вертикальной плоскости между направляющими и стабилизирующими колесами и возрастает с увеличением этого расстояния.

При применении ходовых или направляющих рельсов используются стальные, стальные обрешиненные или цельнолитые резиновые колеса. Для качения непосредственно по верхней или боковым поверхностям ходовой балки (или по специальным накладкам, создающим требуемую ходовую поверхность) обычно применяются колеса с пневматическими шинами.

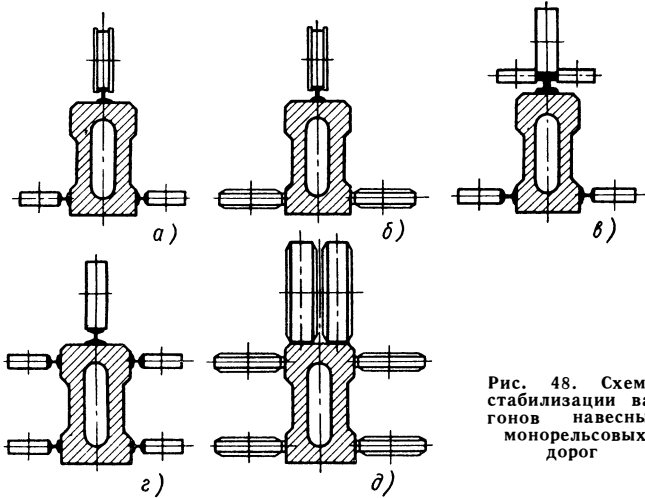


Рис. 48. Схемы стабилизации вагонов навесных монорельсовых дорог

В навесных монорельсовых дорогах типа Алвег, получивших в последние годы наибольшее распространение, применяются только колеса с пневматическими шинами: вертикальные — тяговые и для восприятия нагрузок и две пары горизонтальных для стабилизации положения вагона на ходовой балке (рис. 48, г). В этом случае вагон опирается на тележки через пружинные или другие амортизирующие устройства. Тяговое и прочее оборудование располагается в непосредственной близости от колес.

Опытные вагоны навесной монорельсовой дороги для связи центральной части Токио с аэропортом Ханеда имели колеса с металлическими бандажами, и принцип их подвешивания и стабилизации виден из рис. 49. Особенностью этой конструкции является наличие на несущей железобетонной балке *б* обычного стального рельса *4*, по которому движутся тяговые колеса *3* диаметром 610 мм со стальными бандажами и резиновыми прокладками между бандажом и ступицей. Прокладки служат для смягчения толчков, возникающих от неровностей пути, снижения уровня шума при движении и мягкой передачи тягового усилия.

Помимо двух вертикальных колес, воспринимающих всю нагрузку от кузова вагона 1 и передающих тяговые усилия, к головке рельса прижимаются четыре (по два с каждой стороны) горизонтальных стабилизирующих колеса 8 такого же устройства, исключая возможность схода с рельса тяговых колес. Кроме того, внизу тележек расположено по два уравнивающих колеса 7 (по одному с каждой стороны), перемещающихся по металлическим шинам, проложенным в боковых стенках балок. Эти колеса служат для поддержания в вертикальном положении рамы тележки на ходовой балке и обеспечения общей безопасности движения.

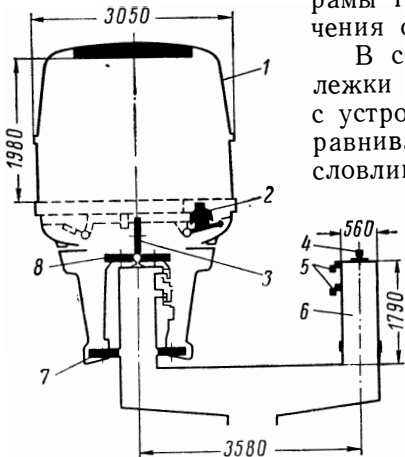


Рис. 49. Схема расположения на ходовой балке опытного вагона монорельсовой дороги Токио—Ханеда

В систему опирания кузова на тележки введены пневматические рессоры с устройством 2 для автоматического выравнивания вагона. Это устройство обуславливает также постоянство уровня пола при различных нагрузках и разном их распределении. На боковых поверхностях балок установлены токонесущие рельсы 5.

Указанные выше системы обеспечивают полную стабилизацию движения вагонов только в нормальных условиях движения, когда все колеса исправны. При использовании колес с пневматическими шинами, которые легко повреждаются (разрыв, прокол), применяются дополнительные ко-

леса или ролики безопасности, чтобы поврежденный вагон или состав мог доследовать до ближайшей станции или конечного пункта. Колеса безопасности обычно представляют собой металлические диски, насаживаемые рядом с пневматической шиной. Наружный диаметр этих колес делают таким, чтобы колесо входило в контакт с ходовой поверхностью только в случае повреждения пневматической шины.

Подвесные монорельсовые дороги могут иметь асимметричное или симметричное подвешивание вагонов.

При асимметричном подвешивании вагоны могут свободно подвешиваться к ходовому рельсу или при помощи специальных направляющих колес. В зависимости от этого различаются и способы стабилизации движения вагонов.

У подвесных дорог со свободным асимметричным подвешиванием вагонов практически нет никаких устройств для стабилизации движения вагона (рис. 50, а). Тележки соприкасаются только с ходовым рельсом. Все боковые усилия, в том числе и возникающие при движении вагона по кривым участкам пути, восприни-

маются ребрами ходовых колес. Вагоны под действием ветра или центробежных сил при движении по кривым участкам принимают наклонное положение, так как, подвешенные ниже точки опоры они могут свободно раскачиваться, как маятник. Для ограничения наклона вагонов в конструкции подвески делают специальные выступы, которые при предельных отклонениях вагона трутся о направляющий рельс и тормозят движение.

Более совершенными являются вагоны с асимметричным подвешиванием и направляющими колесами, снабжаемые специальными стабилизирующими устройствами. В этих системах используются как металлические безребордные колеса, движущиеся

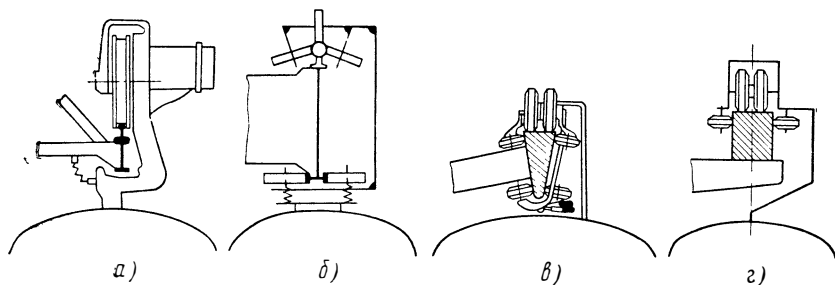


Рис. 50. Схемы подвешивания и стабилизации монорельсовых дорог с асимметричным подвешиванием вагонов

по специальным вертикальным и горизонтальным металлическим рельсам (рис. 50, б), так и колеса с пневматическими шинами, перемещающиеся по ходовым балкам треугольной (рис. 50, в) или прямоугольной (рис. 50, г) формы. Грузонесущие и тяговые колеса у этих дорог всегда располагаются вертикально, а направляющие и стабилизирующие могут размещаться как горизонтально, так и наклонно.

Принцип свободного асимметричного подвешивания успешно применяется на Вуппертальской монорельсовой дороге, хотя конструктивно это подвешивание за 67 лет значительно изменилось.

Для сочлененных вагонов, построенных в 1966 г., была разработана новая конструкция подвешивания (рис. 51), в которой стабилизация кронштейнов достигнута путем жесткого соединения их с поперечными балками крыши кузова через двойную несущую балку Т-образного сечения. Эта конструкция по существу имеет форму рамы вагона и воспринимает все приходящиеся на нее нагрузки, способствуя, кроме того, хорошему направлению тележек и хорошему подвешиванию кузовов вагонов. В качестве упругих элементов использованы резиновые рессоры, эластичные во всех направлениях. Частота колебаний, замеренная во время хода вагонов, составляет 1 *гц*, что соответствует очень высокому уровню комфорта.

Примером реализации асимметричного подвешивания вагонов с направляющими колесами может служить монорельсовая дорога в Далласе (США), где система подвешивания и стабилизации имеет следующую конструкцию. Кузов 7 вагона (рис. 52) с помощью скобы 4 и пневматических рессор 11 подвешен к раме 3 тележки. Боковые перемещения кузова ограничиваются специальным приспособлением 6. Рама тележки, помимо грузонесущих и тяговых колес 2 с пневматическими шинами, имеет также направляющие 10 и стабилизирующие 8 колеса, которые перемещаются по бо-

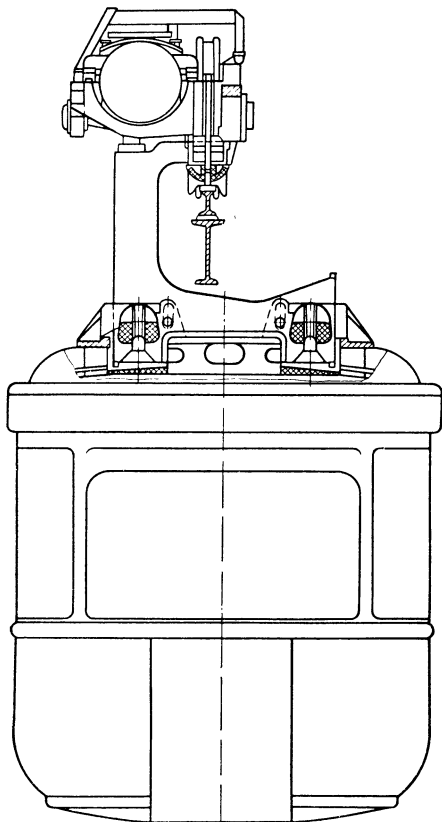


Рис. 51. Система подвешивания новых сочлененных вагонов Вуппертальской дороги

ковым поверхностям балки. Все колеса — с пневматическими шинами. Тележки с ходовыми и направляющими колесами, тяговыми двигателями и прочим оборудованием защищены от атмосферных осадков кожухом 1. Ходовая балка 5 крепится на опорах с помощью консолей 9.

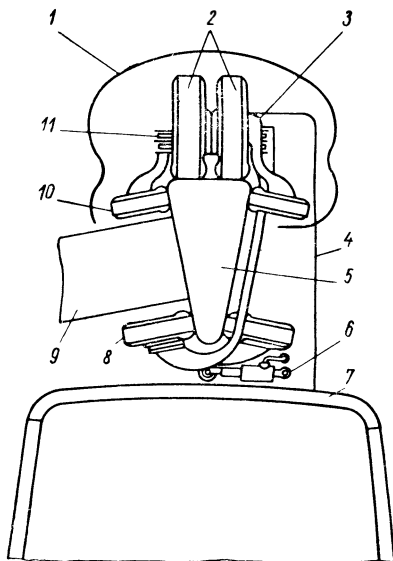


Рис. 52. Система подвешивания и стабилизации вагона монорельсовой дороги в Далласе (США)

ковым поверхностям балки. Все колеса — с пневматическими шинами. Тележки с ходовыми и направляющими колесами, тяговыми двигателями и прочим оборудованием защищены от атмосферных осадков кожухом 1. Ходовая балка 5 крепится на опорах с помощью консолей 9.

В монорельсовых дорогах с симметричным подвешиванием вагонов применяются как закрытые коробчатые ходовые балки, так и открытые (обычно двутаврового профиля). Устройства стабилизации включают направляющие колеса для обеспечения

заданного положения тележек относительно ходовых дорожек балки и специальные устройства, ограничивающие боковую качку и предельные отклонения от вертикали подвешенных вагонов.

В дорогах с коробчатой балкой (рис. 53, *а*), помимо вертикальных грузонесущих и тяговых колес 2, в тележках монтируются боковые направляющие колеса 3 меньшего диаметра, которые катятся внизу по внутренним боковым станкам балки и обеспечивают стабилизацию относительного положения тележки внутри балки во время движения.

В дорогах с открытой двутавровой ходовой балкой в качестве тяговых колес используются верхние грузонесущие колеса 2

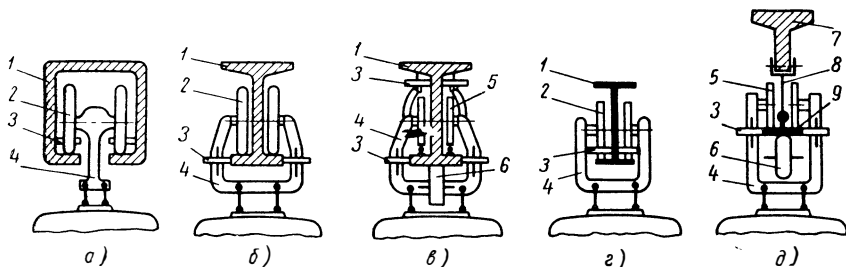


Рис. 53. Системы симметричного подвешивания и стабилизации вагонов монорельсовых дорог:

1 — ходовая балка; 2 — грузонесущие и тяговые колеса; 3 — направляющие колеса; 4 — подвеска вагона (серьга тележки); 5 — грузонесущее колесо; 6 — специальное тяговое колесо; 7 — несущая балка; 8 — тяга подвески ходового рельса; 9 — ходовой рельс

(рис. 53, *б*) или специальное располагаемое под ходовой балкой колесо 6 (рис. 53, *в*). В качестве грузонесущих колес применяются как колеса с пневматическими шинами, так и металлические колеса, движущиеся по дополнительным рельсам, размещенным на нижних полках ходовой балки. Использование в этом случае ребордных колес позволяет отказаться от направляющих колес 3. Кроме того, в этом случае разделяются функции грузонесущих и тяговых колес: катящиеся по рельсам стальные колеса 5 являются грузонесущими и обладают очень малым сопротивлением (вследствие малого сопротивления качения стали по стали). Тяговое усилие передается на балку с помощью специального колеса 6, прижимаемого снизу к ходовой балке. Благодаря этому сила тяги не зависит от веса подвижного состава и более или менее постоянна (вследствие защиты поверхности качения от непосредственного воздействия атмосферных осадков).

Наряду с направляющими колесами, движущимися по кромкам нижней полки двутавра, на некоторых монорельсовых дорогах направляющие колеса перемещаются по вертикальной стенке двутавра (рис. 53, *г*).

Система с закрытой коробчатой балкой (рис. 53, *а*) применяется на дорогах, построенных по проекту французской фирмы САФЕЖЕ.

Схемы подвешивания и стабилизации, изображенные на рис. 53, б и в, предложены в 1950 г. инж. О. С. Петренко (СССР). Эти схемы подвешивания осуществлены во многих конструкциях грузовых монорельсовых дорог как в СССР, так и за рубежом. Схема подвешивания и стабилизации, показанная на рис. 53, г, реализована в монорельсовых дорогах, построенных в 1963 и 1964 гг. американской фирмой Америкэн Кран Энд Хойст.

Принцип подвешивания и стабилизации вагонов в дороге системы С. С. Вальднера сочетает в себе преимущества симметричных подвесных и навесных монорельсовых дорог. Так же как в подвесных монорельсовых дорогах, в этой системе центр тяжести

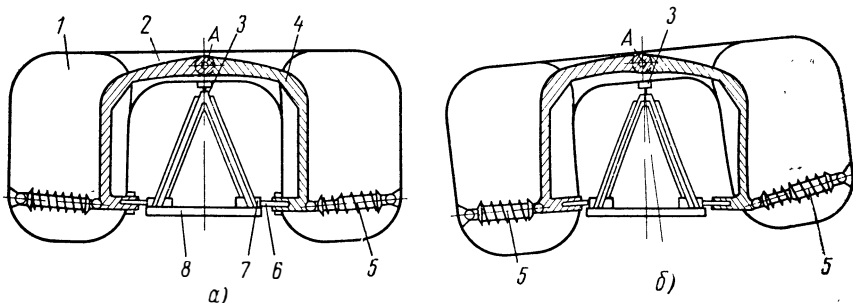


Рис. 54. Схема треугольника устойчивости подвижного состава дороги Вальднера: а — при симметричном расположении вагона на ходовой балке; б — при наклоне вагона (при движении по кривой или вследствие неравномерной нагрузки)

вагонов расположен ниже точки опоры на ходовую балку, что повышает устойчивость движения на прямых и особенно на кривых участках пути. Возникающая при движении по кривой центробежная сила наклоняет вагон таким образом, что увеличивается вертикальная нагрузка на него, пассажиров и эстакаду и уменьшаются горизонтальные нагрузки, которые в этом случае могут даже не ощущаться пассажирами. При этом упрощается устройство эстакады на кривых участках, на которых наклон ходовой балки может быть очень небольшим вследствие наклона самого вагона.

С. С. Вальднер использовал оригинальный метод крепления бегунков, допускающий возможность наклона вагона при отсутствии вертикальных перемещений боковых направляющих бегунков. Эта система, названная треугольником устойчивости, работает следующим образом (рис. 54). Расположенные с обеих сторон ходовой балки 8 две секции 1 вагона соединены в одно целое фермами 2, которые опираются на поворотные двусосные тележки с двухребордными колесами, движущиеся по рельсу 3, укрепленному на верхнем продольном поясе ходовой балки 8. При такой системе опирания вагон находится в устойчивом равновесии.

Для восприятия боковой нагрузки, обусловливаемой неравномерным заполнением секции вагона, боковым ветром и центро-

бежной силой, секции опираются на горизонтальные тележки с колесами-бегунками *б*, движущимися по направляющим *7*, укрепленным на нижних продольных поясах ходовой балки. Для того чтобы вагон, проходя кривые участки пути, мог наклоняться относительно эстакады, а положение бегунков *б* оставалось неизменным относительно нижних поясов ходовой балки, бегунки прикреплены не к боковым стенкам вагона, а к особым дугам-стабилизаторам *4*. Эти дуги проходят внутри вагонных секций *1* и шарнирно соединяются со связывающими их фермами *2* в точке *А*, почти совпадающей с центром боковых качаний вагона. Вследствие того, что перемещения дуг происходят только за счет смещения точки *А*, смещение боковых бегунков с нижних поясов будет весьма незначительным (15—20 мм при максимальном наклоне вагона). Таким образом, положение бегунков по отношению к боковым направляющим можно считать неизменным.

Вагонные секции соединены с бегунковыми тележками и опираются на них через гидравлические рессоры *5*, позволяющие вагону наклоняться под действием центробежной силы. При выходе вагона на прямой участок гидравлические рессоры возвращают вагон в исходное положение и не допускают дальнейшей его раскачки.

Чтобы обеспечить безопасность движения поезда в случае возникновения усилия, которое может приподнять вагон и вызвать сход его с рельсов, у верхних кромок боковых направляющих полос сделан гребень. При приподнимании вагона бегунки прижмутся к гребню, и опасность схода вагона с рельсов будет устранена. Было признано, что применение треугольника устойчивости полностью разрешило проблему равновесия поезда при его движении по ходовой балке на прямых и кривых участках пути.

Оригинальная система подвешивания и стабилизации была предложена в проекте монорельсовой дороги для полуострова Камчатки и реализована на построенном там опытном участке. На этой дороге было осуществлено гибкое соединение несущей балки *7* (рис. 53, *д*) с ходовым рельсом *9*, что обеспечивалось путем подвески рельса к балке на тягах *8*. Благодаря этому несущая балка была разгружена от большей части изгибающих моментов. По верхней полке основания рельса движутся металлические грузонесущие колеса *5*, а к боковым кромкам прижимаются направляющие колеса *3*.

Симметричная система подвешивания вагонов САФЕЖЕ характеризуется возможностью значительных перемещений в соответствии со степенями свободы, которые имеет соединение кузова с тележками, что облегчает прохождение вагонами вертикальных и горизонтальных кривых. Так, значительные углы наклона β осей тележек относительно продольной оси вагона (рис. 55, *а*), ограничиваемые только размерами ходовой балки и геометрическим вписыванием вагона в кривую (на эскизе для ясности

построения дано несколько искаженное изображение), позволяют иметь на трассе очень крутые подъемы и спуски.

Величина угла γ поворота тележек относительно продольной оси вагона в горизонтальной плоскости (рис. 55, б) определяется внутренними размерами ходовой балки и позволяет вагонам или поезду проходить по горизонтальным кривым весьма малых радиусов (до 35 м).

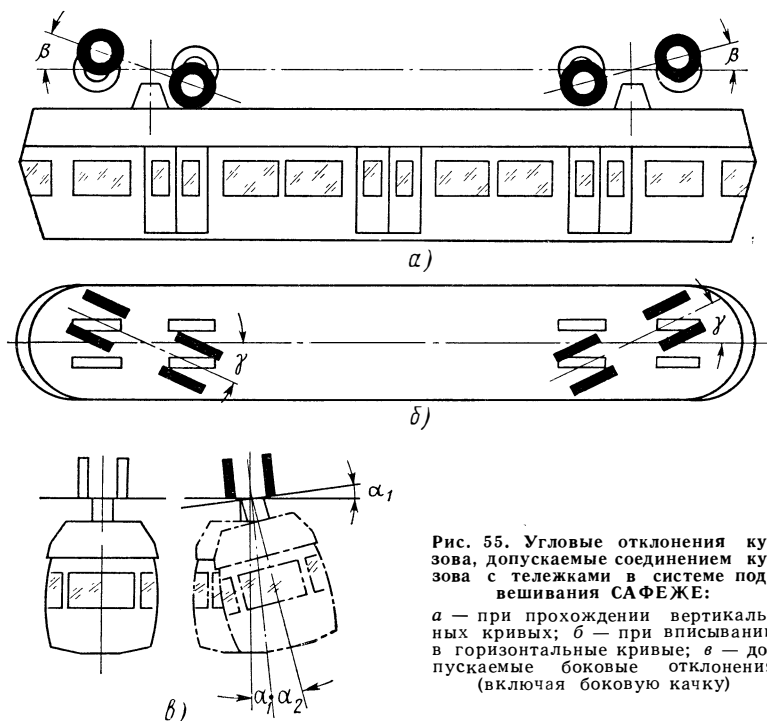


Рис. 55. Угловые отклонения кузова, допускаемые соединением кузова с тележками в системе подвешивания САФЕЖЕ:

a — при прохождении вертикальных кривых; *б* — при вписывании в горизонтальные кривые; *в* — допускаемые боковые отклонения (включая боковую качку)

Наконец, возможность устройства возвышения наружной ходовой дорожки (с обеспечением угла наклона α_1 к горизонту, рис. 55, в) в сочетании с маятниковой подвеской вагона, допускающей свободное отклонение на угол α_2 , позволяет вагонам монорельсовой дороги САФЕЖЕ преодолевать кривые малого радиуса со сравнительно большими скоростями движения без снижения уровня комфорта пассажиров.

Свобода боковых отклонений вагона и относительная независимость вертикальных перемещений тележек (как вследствие наличия упомянутых выше углов, так и вследствие установки колес с пневматическими шинами) имеют большое значение для комфорта пассажиров.

Подвешивание кузова вагона к тележкам монорельсовой дороги системы САФЕЖЕ выполнено по маятниковому принципу, благодаря чему снижено воздействие на балку крутящих моментов. Кроме того, в системе подвешивания предусмотрено устройство, автоматически устанавливающее вагон в вертикальное положение при подходе к станционной платформе с расположением пола вагона точно на уровне платформы при любом изменении нагрузки. В результате этого исключается возможность удара низа вагона о кромки платформ и облегчаются посадка и высадка пассажиров.

Уменьшению раскачиваний вагона под воздействием боковых нагрузок способствует и высокое положение центра вращения вагона, расположенного значительно выше точек опоры колес тележек на ходовые рельсы. Вследствие этого отклонение вагона от вертикали даже под суммарным воздействием неравномерной нагрузки и центробежной силы и давлении силы ветра до 85 кг/м^2 не превышает $7^\circ 30'$.

Маятниковое подвешивание допускает определенные отклонения вагона на кривых участках пути под действием центробежной силы. Это уменьшает воздействие на пассажиров центробежной силы, сохраняет естественное положение их на сиденьях и снижает передаваемые на ходовую балку крутящие моменты.

Принятая для вагона конструкция соединения кузова с тележкой может быть охарактеризована как система двойного рессорно-пружинного подвешивания. Первичным подвешиванием является центральный трубчатый шкворень 5 (рис. 56), упруго закрепляемый на поперечном брусе 3 тележки через резиновую муфту 2. Поперечный брус 3 опирается на раму тележки через пневматические рессоры 4. Таким образом, в первичное подвешивание вагона последовательно включены два упругих элемента — пневматические рессоры 4 и резиновая муфта 2. Последняя допускает и боковое смещение центрального шкворня (в одном из вариантов на $+4^\circ 20'$).

В систему первичного подвешивания включено устройство, поддерживающее постоянным и не зависящим от нагрузки уровень пола вагона. Это обеспечивается путем изменения давления воздуха в пневматических рессорах, которое поддерживается в пределах $6—10 \text{ кг/см}^2$. Питание системы подвешивания сжатым воздухом осуществляется от компрессорной установки с двигателем мощностью $5,5 \text{ квт}$.

Вертикальные перемещения центрального шкворня в нижней части рамы тележки не ограничены, так как он свободно проходит внутри кольцевой прокладки 6 и поддерживающих ее нижних тяг 7. Боковые смещения центрального шкворня возможны только при смещении кольцевой прокладки 6 и преодолении предварительного натяжения удерживающих ее тяг. Нижний конец центрального трубчатого шкворня входит в шарнирную головку 8.

Вторичное подвешивание вагона состоит из двух пар шарнирных рычагов-тяг *10* и расположенных между ними гидравлических домкратов *11*. Верхние концы рычага *10* шарнирно соединены с головкой *8*, средние — со штоками домкратов *11*, а нижние — с крышей вагона. Упоры *12* служат для ограничения предельных отклонений кузова вагона, установленных равными $\pm 5^\circ$

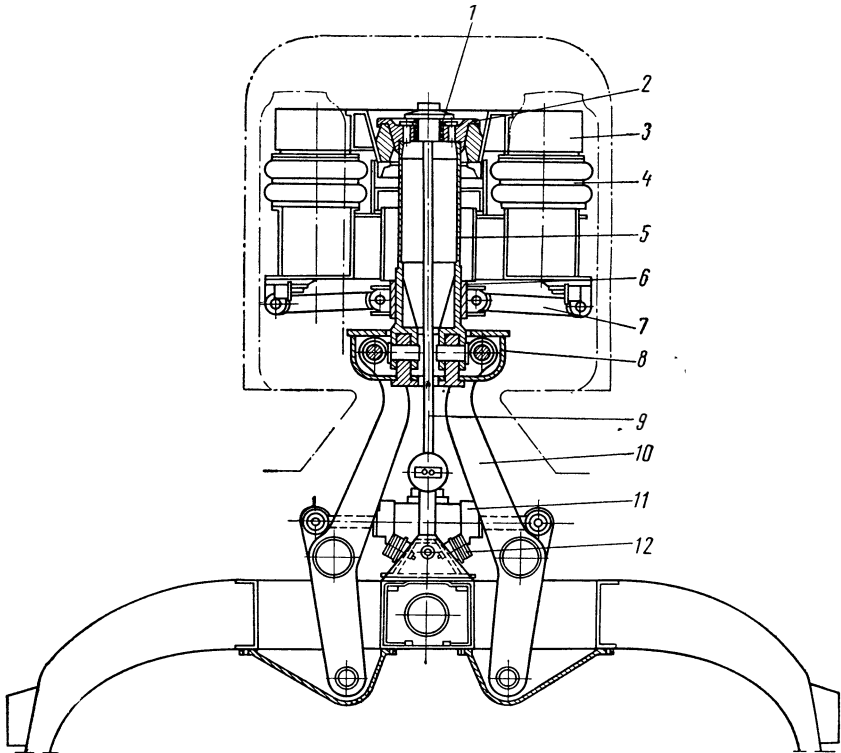


Рис. 56. Схема подвешивания опытного вагона монорельсовой дороги в Шатонефе

(по другому варианту $\pm 3^\circ 10'$). Гидравлические домкраты *11* служат для выравнивания вагона после отклонения его вправо или влево. Имеющиеся в шарнирной головке *8* поперечные шарниры не допускают перегрузок отдельных колесных пар вследствие перераспределения нагрузок при ускорении или торможении вагона. На случай обрыва подвешивания предусмотрен аварийный стальной трос *9*, под головку которого подложена пружина *1*, предназначенная для смягчения мгновенных нагрузок, передаваемых на раму тележки.

Таким образом, вторичное подвешивание вагона предназначается в основном для стабилизации поперечных отклонений кузова и уменьшения его раскачивания. Наряду с отклонением

в системе первичного подвешивания, которое пропорционально действующей на вагон боковой силе, дополнительное отклонение во вторичном подвешивании контролируется гидравлическими домкратами 11, работа которых регулируется контрольными клапанами в зависимости от угла отклонения в системе первичного подвешивания. Вследствие линейного закона изменения обоих отклонений они суммируются при следовании вагона на перегоне. Однако при подходе к станции вагон приводится домкратами 11 в вертикальное положение независимо от распределения в нем нагрузок. Давление масла в домкратах достигает 70 кг/см^2 .

В процессе испытания опытного вагона была обнаружена повышенная склонность рам тележек к галопированию, в особенности при разгоне и торможении. Поэтому для серийных вагонов принята несколько измененная система подвешивания, в которой ось продольных качаний приподнята и значительно увеличено подрессоривание верхней опоры центрального трубчатого шкворня на поперечный брус рамы тележки.

При разработке вагонов для подвесных монорельсовых дорог Англии была реализована усовершенствованная конструкция подвешивания (рис. 57).

При разработке Мытищинским машиностроительным заводом проекта вагона для Московской монорельсовой дороги была применена аналогичная система подвешивания вагона маятникового типа с гидравлической стабилизацией колебаний. Эта система обеспечивала соблюдение максимального угла отклонения $6^\circ 30'$ при самом неблагоприятном сочетании центробежной силы при движении по кривой, ветровой нагрузки и возможной неравномерной нагрузки. При подходе к станциям, где необходим определенный зазор

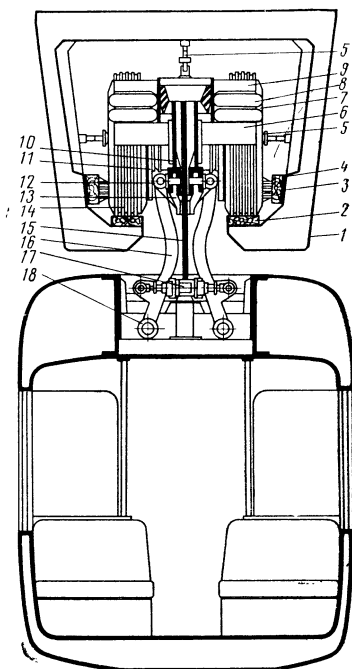


Рис. 57. Вагон системы СА ФЕЖЕ, спроектированный для Манчестера, и его система подвешивания:

- 1 — ходовая балка-монорельс; 2 — путевые дорожки для ходовых колес; 3 — горизонтальные направляющие колеса; 4 — путевые дорожки для направляющих колес; 5 — контактный провод; 6 — рама ходовой тележки; 7 — пневматическая аппаратура и автоматическое устройство для выравнивания уровня пола вагона; 8 — амортизирующая система подвешивания; 9 — поперечная траверса тележки; 10 — тяговый электродвигатель, редуктор и дифференциал; 11 — тормозные диски; 12 — направляющая траверса; 13 — главная система подвешивания кузова вагона к ходовым тележкам; 14 — ходовые колеса с пневматическими шинами; 15 — стальной трос безопасности системы подвешивания; 16 — маятниковая система подвешивания; 17 — гидравлическая амортизационная система; 18 — шарнирное крепление системы подвешивания на кузове вагона

между вагоном и платформой, гидравлические домкраты системы стабилизации возвращают вагон в вертикальное положение.

Подвешивание опирается на поперечную балку тележки через резиновый подпятник 1 (рис. 58), который позволяет тележке поворачиваться относительно кузова вагона при движении по кривой. При этом подвешивание поворачивается на подпятнике без скольжения и после прохода вагоном кривой возвращается

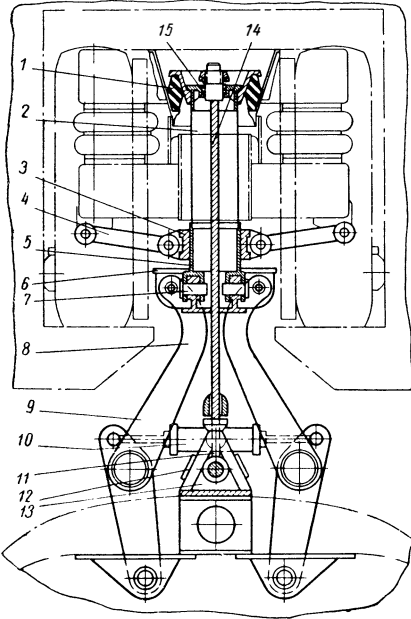


Рис. 58. Схема подвешивания вагонов монорельсовой дороги в Москве (проект Мытищинского машиностроительного завода)

с радиальным зазором 2—3 мм. Таким образом, максимальное линейное отклонение верхней части подвешивания зависит от величины сжатия резинового подпятника и зазора между кольцевыми упорами и соответствует наклону подвешивания примерно на 1°.

Нижняя часть подвешивания представляет собой стальную отливку 5, жестко соединенную с трубой 2 и имеющую приливы с отверстиями для двух пальцев 7, с помощью которых к ней крепится коробка шарниров 6 с рычагами 8 маятниковой подвески. Криволинейная форма рычагов 8 позволяет им беспрепятственно отклоняться в прорези ходовой балки на необходимый угол.

Расположение верхних и нижних шарниров рычагов 8 таково, что при продолжении их осевых линий они пересекаются на вер-

в первоначальное положение. Верхняя часть подвешивания представляет собой трубу 2, имеющую сверху замковое устройство для фиксирования подвески. Труба охватывается направляющим хомутом 3, который позволяет ей совершать вертикальные и вращательные движения и ограничивает возможность горизонтальных перемещений.

Подвешивание может наклоняться в пределах поперечных деформаций резинового подпятника 1 и пневматических рессор тележки, опирающихся на раму тележки, с которой хомут 3 соединен четырьмя крестообразно расположенными рычагами 4, установленными на сайлент-блоках. Относительные горизонтальные смещения поперечной балки и рамы ограничиваются кольцеобразными выступами, входящими один в другой

тикальной оси симметрии ходовой балки на высоте 850 мм от поверхности качения, т. е. в центре изгиба ходовой балки. Благодаря этому на балку передаются наименьшие усилия и для нее создаются наиболее благоприятные условия работы.

Для возвращения вагона в вертикальное положение при подходе к платформам в подвешивании установлен гидравлический цилиндр 10, шарнирно соединенный с кузовом вагона. Штоки 9 гидравлического цилиндра шарнирно соединены с нижними рычагами подвешивания. Аварийный трос 14, установленный на случай выхода из строя (обрыва) подвешивания, поддерживается

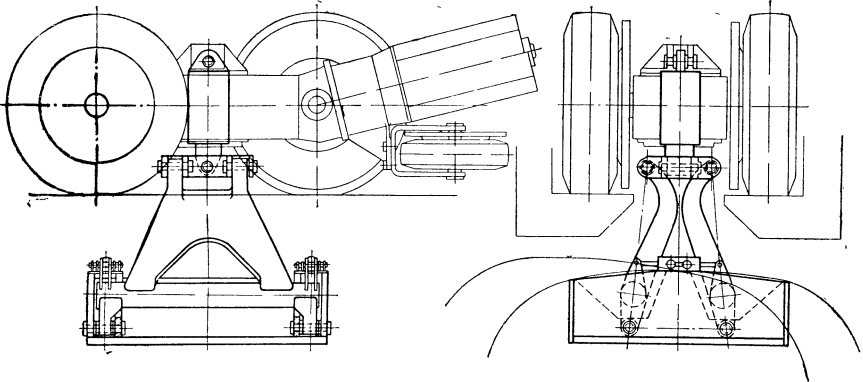


Рис. 59. Схема подвешивания вагонов (проект КБ)

в натянутом состоянии пружиной 15. Нижний конец троса соединен с крышей вагона двумя серьгами 11 и кронштейном 13.

Конструкция подвешивания дает возможность кузову отклоняться в стороны на угол до $6^{\circ}30'$ относительно оси симметрии ходовой балки. При этом действующие на вагон горизонтальные силы уравниваются возвращающим усилием, и происходит только перераспределение усилий по рычагам. В том случае, если горизонтальные силы не могут быть полностью уравновешены возвращающими усилиями, избыточная сила передается на подвешивание через упругие упоры 12, установленные на крыше вагона.

В разработанном КБ проекте маятникового подвешивания вагона основными элементами являются центральная рессора (рис. 59), рычаги подвешивания, гидравлические цилиндры стабилизации вагона и трос безопасности.

Центральная рессора-амортизатор размещается в вертикальном отверстии поперечной балки рамы тележки и служит для смягчения вертикальных толчков, передаваемых кузову колесными парами при качении по неровностям пути. Конструктивно центральная рессора разработана в двух вариантах: гидропневматической и пружинной. В гидропневматической рессоре упругим

элементом является азот, заключенный в замкнутый объем, а усилие на него передается жидкостью АМГ-10 через разделительный поршень. В пружинной рессоре использованы две работающие на сжатие пружины, причем внутренняя пружина включается в работу только после сжатия наружной пружины на 20 мм. Получаемая двухступенчатая характеристика жесткости пружины обеспечивает требуемую частоту собственных колебаний вагона при любых нагрузках.

К нижней части центральной рессоры с помощью пальца крепится коробка шарниров, в которой укреплены рычаги маятникового подвешивания криволинейной формы. Нижние части их шарнирно крепятся к крыше вагона, а два короткоплечих рычага, жестко закрепленных на той же оси, соединены верхними концами с гидравлическими цилиндрами стабилизации. На каждом подвешивании устанавливается по два цилиндра, корпуса которых шарнирно соединены с кузовом вагона, а штоки — с короткоплечими рычагами подвешивания. На корпусе цилиндра расположена следящая система, обеспечивающая по сигналу подачу жидкости в нужную полость гидроцилиндра для выравнивания положения вагона. Наибольшие отклонения кузова ограничены упорами, установленными внутри гидроцилиндра.

ХОДОВЫЕ ЧАСТИ ВАГОНОВ

Ходовые части вагонов монорельсовых дорог обычно выполняются в виде тележек. Устройство тележек вагонов монорельсовых дорог существенно отличается от распространенных конструкций тележек обычных железнодорожных и трамвайных вагонов. По общей компоновочной схеме и конструктивному оформлению тележки сходны с устройством ходовых частей автомобилей. Тележки часто не имеют рам принятой для обычных вагонов конструкции, а элементом жесткости, объединяющим всю тележку, иногда являются отливки, соединяющие корпуса осей или передаточных механизмов. Каждая тележка обязательно имеет грузонесущие (ходовые) и тяговые колеса, а большинство тележек современных конструкций имеют еще направляющие и стабилизирующие колеса. Колеса применяются металлические или металлические обрешиненные (ребордные и безребордные), а также с пневматическими шинами или с литыми резиновыми бандажами.

В зависимости от типа дороги (навесная или подвесная), тележки существенно отличаются друг от друга. У подвесных монорельсовых дорог конструкции тележки зависят также от типа подвешивания: симметричного или асимметричного. Простейшей тележкой монорельсовой дороги с асимметричной системой подвешивания вагонов является тележка вагонов Вуппертальской дороги (рис. 60). Каждая из этих тележек имеет два стальных двухребордных колеса, тяговый электродвигатель и раму-скобу,

к которой по принципу свободного подвешивания крепится вагон.

Построенные для этой дороги в 1966 г. сочлененные вагоны имеют усовершенствованные тележки. Особенностью этих вагонов

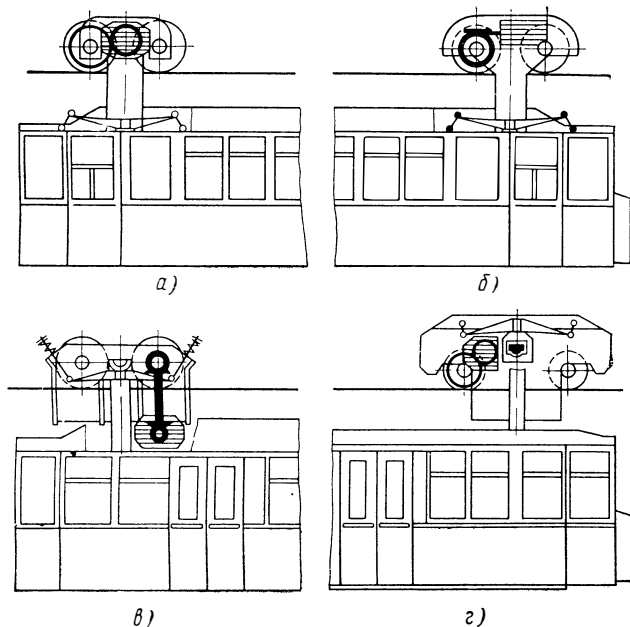


Рис. 60. Схемы тележек вагонов Вуппертальской монорельсовой дороги с различными способами передачи тягового усилия:

а и *г* — с помощью цилиндрических шестерен при поперечном расположении двигателя; *б* — с помощью червячного редуктора при продольном расположении двигателя; *в* — с помощью двух пар конических шестерен при поперечном расположении двигателя под ходовым рельсом

являются все четыре ведущих колеса при одном тяговом двигателе на каждую двухколесную тележку. Вал электродвигателя *1* тележки (рис. 61) обоими концами соединен через карданные передачи *2* с червячными редукторами *3*. Для механического торможения на каждой тележке предусмотрен только один дисковый тормоз *4* с гидравлическим управлением. В качестве диска тормоза использовано тело двухребордного ходового колеса *5*. Несмотря на наличие одного тормозного устройства, оба колеса являются тормозными, так

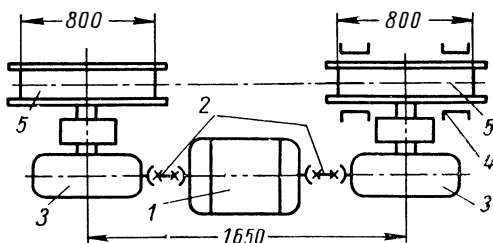


Рис. 61. Схема привода новой тележки сочлененного подвесного вагона

как между ними имеется постоянная связь через вал электродвигателя. Благодаря этому для торможения используется сила трения с рельсами всех колес вагона.

Все тормозное оборудование новых тележек монтируется на специальной раме, которая в собранном виде устанавливается на тележке и соединяется болтами с продольными балками тележки. Мощность каждого тягового электродвигателя 50 *квт*, максимальное число оборотов 3700 в минуту, передаточное число редуктора 1 : 9,75, диаметр ходовых колес 0,8 м, ток постоянный. Конструктивная скорость движения поезда сохранена равной 60 *км/ч*. Число пусковых позиций 20. В схеме управления электродвигателями предусмотрено последовательное и параллельное включение двигателей и две ступени ослабления поля.

Тележки подвесной дороги в зоопарке Токио с асимметричным подвешиванием вагонов имеют базу 1,4 м. На каждой тележке установлено по два ведущих колеса с пневматическими шинами. Для того чтобы ходовые колеса двигались по середине балки, каждая тележка оборудована четырьмя направляющими колесами также с пневматическими шинами. Подобное подвешивание в сочетании со спиральными пружинами достаточно хорошо гасит возникающие колебания.

Для вагонов конструкции С. С. Вальднера были разработаны верхняя ходовая и боковые бегунковые тележки оригинальной конструкции.

Верхняя тележка (рис. 62) состоит из следующих основных узлов:

1) центральной части 1, на которую опираются соединительные фермы вагона с помощью шпинделя 2 и подпятника 3 поперечной соединительной фермы 4 вагона;

2) двух балансиров 5, соединенных с центральной частью шарнирами 12;

3) рессор 10, опирающихся концами на кронштейны балансиров 7;

4) двухребордных колес 6 с осями 13, закрепленными непосредственно на балансирах, а в суппортах 11. Такое крепление колес позволяет точно крепить подшипник на оси, проверять и регулировать положение колеса по отношению к тележке и снимать или заменять в случае необходимости колесо вместе с буксами без разборки балансира.

Снизу тележки на нижнем поясе поперечной несущей фермы вагона между передним и задним колесами укреплена лыжа 9 в виде опрокинутого желоба. Она закреплена с помощью резиновых амортизаторов 8 и предохраняет поезд от схода с рельсов в случае поломки оси или колеса, а также при поломке рессоры. В этих случаях тележка падает на рельс лыжей, которая удерживает поезд на пути, скользя по рельсу. Резиновые амортизаторы смягчают удар; торможение при падении первое время не будет силь-

ным, так как коэффициент трения скольжения на больших скоростях очень мал. Расчеты показали, что нагрев лыжи будет небольшим, тем более что нижнюю поверхность лыж намечено изготовлять из фрикционного металла с низким коэффициентом трения скольжения.

Нижняя бегунковая тележка состоит из стальной отливки, жестко соединенной со штангой стабилизатора; на ней с помощью шкворня укреплена коробчатая рама из листовой стали. Рама может качиваться на шпинделе, обеспечивая равномерное нажатие обоих колес тележек на направляющую полосу или рельс даже

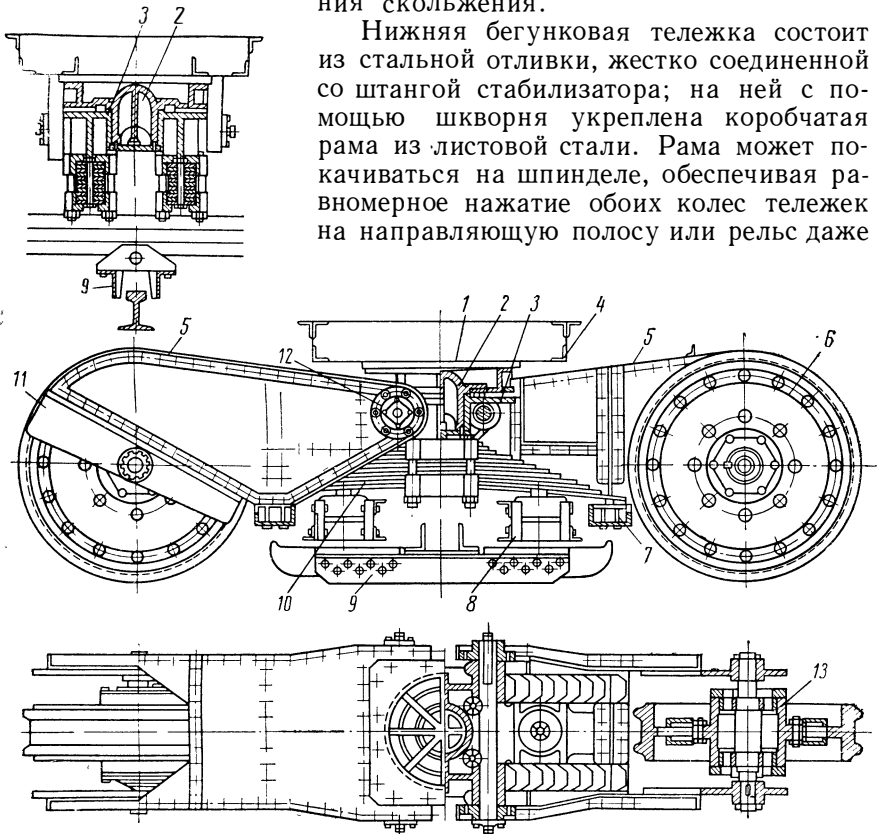


Рис. 62. Верхняя тележка вагона дороги Вальднера

при наличии на них местных неровностей. По концам тележки закреплены колеса-бегунки, вращающиеся на роликоподшипниках. Оси закреплены в буксах, а последние — в раме, причем между буксой и рамой установлены резиновые прокладки, смягчающие незначительные удары.

С вагоном тележка соединена гидравлической пружинной муфтой, поршневой шток которой прикреплен к тележке с помощью шарнира. Другим концом муфта шарнирно соединена с основными штангоутами вагона. Внутри муфты расположены витая пружина и поршень, которые ходят во внутреннем цилиндре, наполненном маслом. Поршень имеет канал для масла. При движении поршня

масло протекает из одной части цилиндра в другую. Сечение канала для масла регулируется иглой.

Поршень и пружина работают одновременно. При давлении на тележку (под действием горизонтальных сил, на кривых участках пути) пружина сжимается и вместе с ней перемещается поршень, при этом масло протекает через канал. При выходе поезда на прямую тележка под действием пружины возвращается в исходное положение. При этом масло перетекает через поршень из одной части цилиндра в другую, вследствие чего поглощается реакция рессоры и прекращается раскачивание вагона.

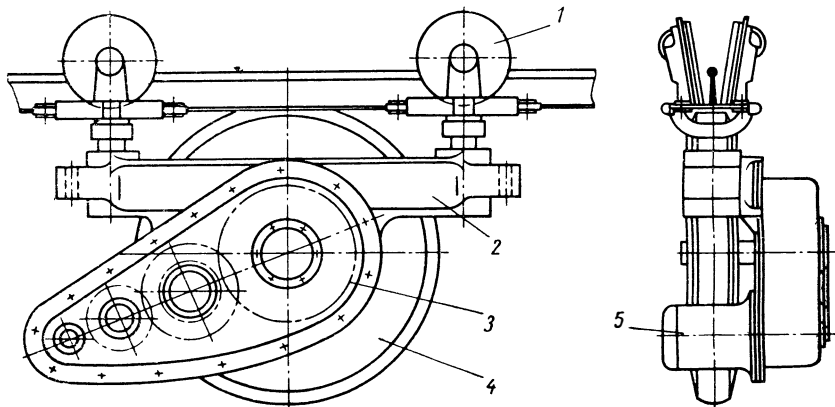


Рис. 63. Тяговая тележка тепловоза для Камчатской подвесной дороги:

1 — ходовое колесо; 2 — рама тележки; 3 — редуктор; 4 — колесо с пневматической шиной; 5 — электродвигатель

Тяговая тележка тепловоза, спроектированного для монорельсовой дороги на Камчатке (см. рис. 40), имеет ведущее колесо 4 (рис. 63) с пневматической шиной, прижимаемое снизу к рифленной поверхности нижней полки рельса. Локомотив может иметь различное количество таких тяговых тележек, в зависимости от требуемой силы тяги, которая в локомотиве этого типа зависит не от его сцепного веса, а от силы прижатия колеса к рельсу. Последняя легко может автоматически поддерживаться в определенных пределах, например, путем оснащения каждого вагона небольшим баллоном сжатого воздуха и распределителем с двухрежимным клапаном порожнего и груженого режимов.

Тележки подвесной монорельсовой дороги для Темир-Тау спроектированы только моторными. Они имеют ходовые безребордные колеса, катящиеся по рабочим дорожкам (уклон 1 : 6) нижних полок двутавровой балки, и четыре направляющих ролика. Каждый вагон подвешивается к двум тележкам. На каждой тележке установлено по одному тяговому электродвигателю постоянного тока последовательного возбуждения с часовой мощ-

ностью 80—100 квт, передающему тяговое усилие через нижнее тяговое колесо с пневматической шиной высокого давления.

Тележка грузового вагона грузоподъемностью 10 т имеет две пары ходовых безребордных колес и четыре пары направляющих роликов, прижимаемых к боковой поверхности рельса пружинами.

Тележки вагонов навесных монорельсовых дорог системы Алвег, построенных в разных городах, несколько отличаются одна от другой, однако конструктивное устройство их остается одинаковым. Тележка охватывает монорельсовую балку с трех сторон. Обычно под вагоном устанавливается по две тележки, в каждой из которых размещается по два вертикальных (опорных и ведущих) колеса и по четыре горизонтальных направляющих и стабилизирующих колеса. Помимо ведущих колес с пневматическими шинами, предусмотрены еще и страхующие колеса со сплошным резиновым или стальным ободом. Эти колеса предназначены на случай повреждения колес с пневматическими шинами.

Рамы тележек цельносварные, изготовлены из штампованных и листовых элементов трубчатого сечения. Конструктивно рама представляет собой хомут, охватывающий ходовую балку сверху таким образом, что ведущие колеса катятся по верхней поверхности балки, а четыре горизонтальных колеса — по ее боковым поверхностям.

Два вертикальных ведущих колеса с пневматическими шинами диаметром 1100 мм, наполненные азотом под давлением 8,0 кг/см², воспринимают всю нагрузку и через них осуществляется как передача тягового усилия, так и торможение. Шины ведущих колес имеют конструкцию фирмы Мишлен со стальным кордом. Четыре горизонтальных колеса диаметром 600 мм (из которых два верхних являются направляющими, а два нижних — стабилизирующими) воспринимают все боковые нагрузки и обеспечивают сохранение равновесия вагона. Эти колеса также имеют резиновые шины, наполненные азотом.

При необходимости увеличения тягового усилия конструкция тележки предусматривает возможность использования боковых направляющих колес в качестве тяговых. Степень прижатия их к боковым стенкам балки может регулироваться в зависимости от требуемого тягового усилия с помощью специального устройства с гидроприводом. Подвешивание вагонов пневматическое; оно не только смягчает передаваемые на кузов удары и толчки, но и поддерживает постоянным уровень пола вагона независимо от нагрузки. На тележке монтируется также все тяговое и тормозное оборудование.

Тележки вагонов последнего типа навесной монорельсовой дороги в Фюлингене имеют колеса из алюминиевого сплава и пневматические шины с давлением у ведущих колес 12 кг/см² и у направляющих колес 10 кг/см².

Конструкция тележки вагона подвесной дороги системы САФЕЖЕ (рис. 64) заимствована у вагонов Парижского метрополитена, на нескольких линиях которого эксплуатируются вагоны с колесами на пневматических шинах. Тележка опытного вагона монорельсовой дороги (рис. 65) имеет длину 4,83 м, базу 1,54 м, ширину 1,3 м и высоту 1,1 м. Расстояние между тяговыми колесами (ширина колеи) равно 0,91 м. Каждая тележка имеет четыре тяговых колеса \mathcal{Z} с шинами X-1200×20 (фактический диаметр окружности качения 1110 мм), катящихся по двум беговым до-

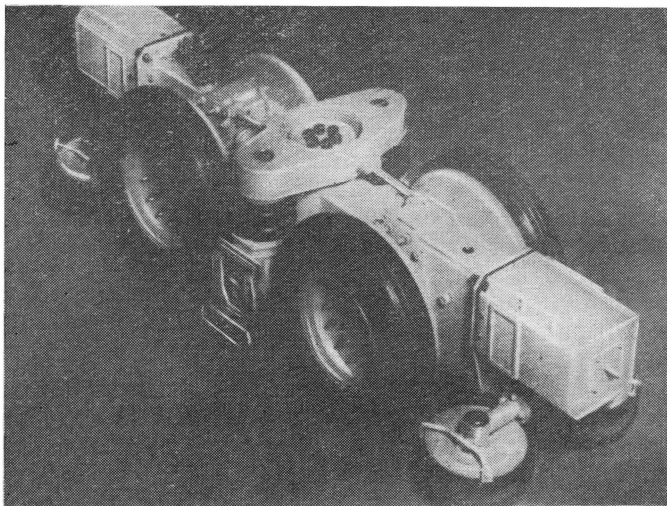


Рис. 64. Общий вид тележки подвесной дороги системы САФЕЖЕ

рожкам внутри коробчатой балки со щелевой прорезью в нижней полке. Боковое смещение тележек в балке ограничивается четырьмя горизонтальными направляющими колесами 10 с шинами X-600×9, установленными на вертикальных осях и прижимаемыми к вертикальным боковым стенкам с начальной силой 400 кг. Шины тяговых и направляющих колес наполнены азотом до давления 9 кг/см². При таком давлении колеса обладают эластичностью 10 мм/Т. По мере износа шин сила бокового прижатия направляющих колес автоматически поддерживается постоянной.

Резиновые шины обеспечивают высокое сцепление с поверхностью качения: коэффициент сцепления такой шины при сухой поверхности качения равен 0,7, а при влажной 0,25. В результате этого могут быть достигнуты большие ускорения (2,0 м/сек²) и замедления (4,0 м/сек²), а также преодолены подъемы до 200‰.

Питание осуществляется от верхнего контактного рельса 9 через два токоприемника 8. Тяговые электродвигатели 1 постоян-

ного тока передают усилия через двухступенчатые редукторы 2, закрепленные на раме 4 тележки, установленным на их поперечных валах грузонесущим и тяговым колесам 3. Для возврата тока служат два дополнительных контактных башмака 11, прижимаемых к нижним контактным рельсам. На колесах 3 закреплены дополнительные страхующие диски безопасности 12. Эти диски входят в контакт с ходовыми дорожками только при повреждении шины, причем машинист автоматически информируется об

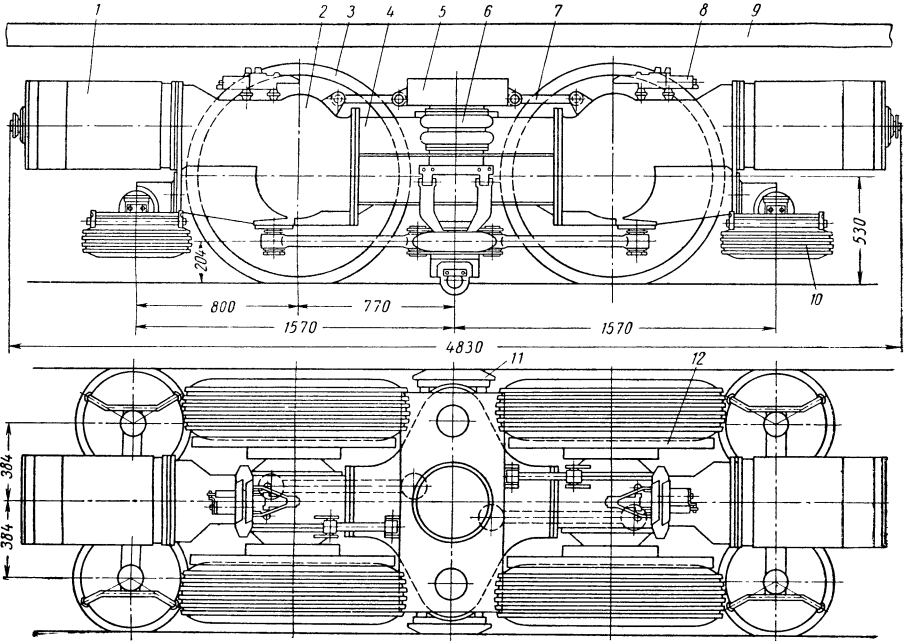


Рис. 65. Тележка опытного вагона подвесной монорельсовой дороги в Шатонёфе

этом световыми и звуковыми сигналами. В таком состоянии поезд может безопасно следовать до остановочного пункта без ограничения скорости. В тележках имеется специальное предохранительное устройство, исключающее возможность падения на путь направляющих колес в случае поломки вала или подшипника. Сила тяжести кузова вагона передается на раму тележки через верхнюю траверсу 5 со стабилизирующими растяжками 7 и через пневматические рессоры 6.

Для серийных вагонов (для строящейся линии в Париже) разработаны новые тележки, отличающиеся как по габаритным размерам, так и некоторыми конструктивными особенностями. Серийная тележка (рис. 66) имеет меньшую длину (3,71 м вместо 4,83 м у опытных тележек), что достигнуто путем установки более

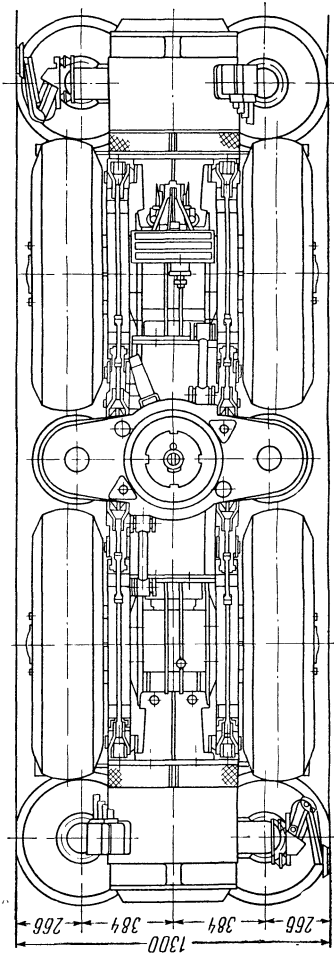
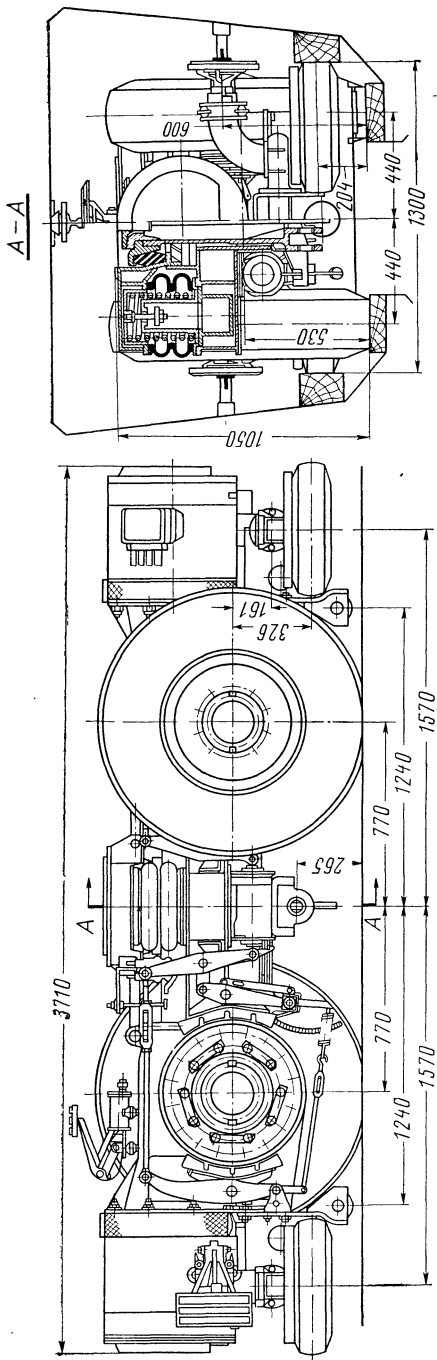


Рис. 66. Тележка серийных вагонов подвесной монорельсовой дороги в Париже

компактных электродвигателей, имеющих при том же весе увеличенную в 1,5 раза мощность. В настоящее время фирма Альстом разрабатывает электродвигатель, который при тех же наружном диаметре и весе (540 кг) будет иметь мощность 200 л. с. Для уменьшения веса тележки и более удобной компоновки тормозных и амортизирующих устройств в новой тележке аварийные диски у каждого колеса заменены вынесенными вниз страхующими роликами диаметром 100 мм.

Используемые на серийных тележках электродвигатели имеют морозостойкую изоляцию повышенной долговечности, испытанную при температурах до -60°C . Колеса с пневматическими шинами (такие же, как на опытных тележках) имеют усиленный металлический корд, представляющий собой многослойную навивку стальной проволоки высокого сопротивления. Шины наполнены азотом под давлением 9 кг/см^2 , при котором их прогиб под максимальной нагрузкой (при весе вагона 40 т) составляет 50 мм. Шины направляющих колес предварительно сжимаются на 15 мм (предварительная затяжка силой 400 кг). В конструкцию серийной тележки вагонов типа 2 в связи с увеличением их максимального веса почти на 40% введены дополнительные упругие элементы в виде стальных пружин.

При разработке вагона для подвесных монорельсовых дорог Англии спроектировано подвешивание тележки, имеющее следующие отличительные особенности. Оно ограничивает в некоторой степени отклонение кузова вагона наружу при движении вагона по кривой. Первоначально предполагается использовать тележки усовершенствованной французской конструкции, но фирмой Инглиш Электрик разрабатывается оригинальная конструкция тележки. Оси колес жестко монтируются в раме и каждая из них приводится в движение электродвигателем мощностью 140 л. с., работающим на постоянном токе при напряжении 750 в. Привод осуществляется через карданный вал, коническую передачу и дифференциал. Каждый электродвигатель монтируется на конце рамы и обеспечивает скорость движения вагона 120 км/ч при числе оборотов 3600 в минуту. Колеса с пневматическими шинами имеют давление $9,14\text{ кг/см}^2$. Каждое направляющее колесо давит на боковые направляющие балки с силой 408 кг. Работоспособность покрышек предполагается равной 200 тыс. км. Предусмотрено четыре страхующих колеса малого диаметра на случай повреждения пневматических шин.

Электрический ток снимается с верхнего положительного рельса небольшим пантографом, а боковые пантографы прижимаются к двум отрицательным рельсам. Предполагается установить две стандартные коробки передач с передаточным числом, обеспечивающим максимальные скорости движения 80 и 120 км/ч. Максимальное ускорение и замедление будет равно $1,46\text{ м/сек}^2$, а аварийное (экстренное) замедление $2,93\text{ м/сек}^2$. В систему подвешивания

вания входит поперечная балка, опирающаяся на раму тележки через две пневматические рессоры. Стальные пружины внутри пневматических рессор воспринимают силу тяжести кузова вагона и рассчитаны таким образом, что пневматические рессоры воспринимают силу тяжести пассажиров. Давление в пневматических рессорах в соответствии с нагрузкой поддерживается выравнивающим клапаном.

Тележки опытных вагонов монорельсовой дороги, связавшей центральную часть Токио с аэропортом Ханеда, имели литую раму из алюминиевых сплавов. Тяговые, направляющие и стабили-

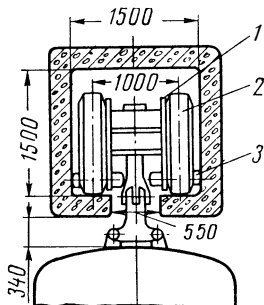


Рис. 67. Компонировочная схема тележки с колесами на пневматических шинах:

1 — металлические колеса (предохранительные); 2 — тяговое колесо диаметром 1200 мм; 3 — направляющее боковое колесо диаметром 600 мм

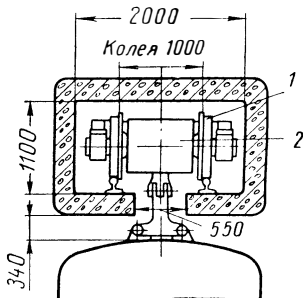


Рис. 68. Компонировочная схема тележки с металлическими об-
резиненными колесами:

1 — обрeзиненное колесо диаметром 780 мм; 2 — двигатель без редуктора на оси колесной пары

лизирующие колеса диаметром 0,61 м имели металлические бандажи и резиновые амортизационные прокладки в диске колеса. Такая конструкция колес обуславливала их большую долговечность и хорошее поглощение толчков и ударов до передачи их на раму тележки. На каждой тележке установлено по два тяговых электродвигателя мощностью по 100 л. с., работающих на постоянном токе при напряжении 600 в. Привод осуществлялся через карданное соединение и гипоидную коробку передач. Тележка оборудована противобуксовочным устройством и приводом автоматических тормозов. Кузов вагона опирается на подпятники.

В процессе разработки Мытищинским машиностроительным заводом проекта вагона для Московской монорельсовой дороги анализировались возможности применения как тележек с пневматическими шинами, так и со стальными обрeзиненными колесами, движущимися по рельсам. В обоих случаях использовалась закрытая коробчатая балка с щелевым разрезом внизу и маятниковое подвешивание вагона. Тележка с колесами на пневматических шинах (рис. 67), производящая меньше шума и обладающая более

высоким коэффициентом сцепления, была принята в качестве основной для последующей разработки проекта.

Однако эскизная проработка конструкции тележки с металлическими обрешинными колесами (рис. 68) показала, что она имеет определенные преимущества. В этом случае можно использовать непосредственный привод колес от электродвигателя (безредукторную передачу), значительно повысить межремонтные и общие пробеги колес, снизить затраты энергии на перемещение грузов или пассажиров. Возможность создания безредукторной передачи облегчается еще тем, что при применении обрешинных колес резко снижаются передаваемые на ось вертикальные ускорения

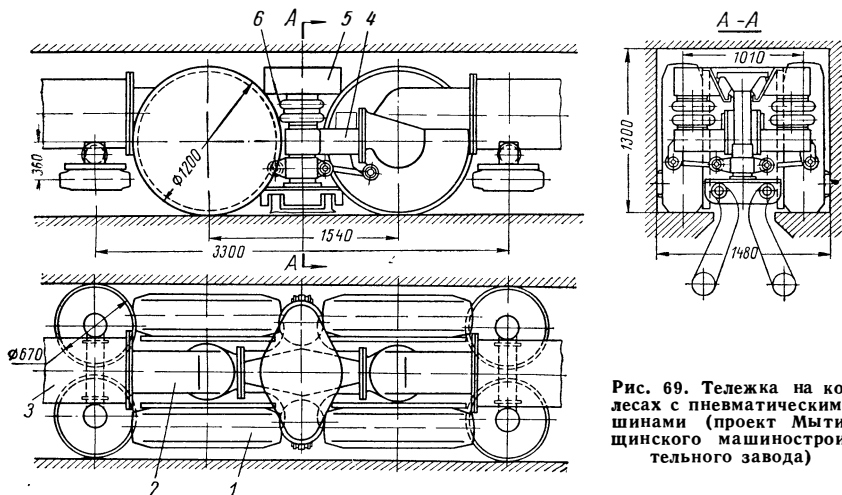


Рис. 69. Тележка на колесах с пневматическими шинами (проект Мытищинского машиностроительного завода)

(до 3,8 g по сравнению с 14,8 g у обычных металлических железнодорожных колес). Исключение редуктора из схемы позволит облегчить передачу и повысить ее к. п. д. Опыт эксплуатации железных дорог в различных климатических условиях показывает, что подвижной состав не требует защиты пути от атмосферных воздействий. Поэтому монорельсовые дороги с подвижным составом на металлических обрешинных колесах могут оказаться наиболее перспективными во всех тех случаях, когда не предъявляются жесткие требования в отношении бесшумности дороги.

Принятая конструкция тележки с колесами на пневматических шинах (рис. 69) аналогична конструкции рассмотренной ранее тележки монорельсовой дороги в Шатонефе. Привод к каждой оси тяговых колес осуществляется через двухступенчатый редуктор 2 от высокооборотного электродвигателя 3. Основные технические данные тележки Мытищинского машиностроительного завода приведены в табл. 8, а распределение собственного веса между элементами конструкции тележки дано в табл. 9.

Таблица 8

**Основные технические данные проектируемых тележек
для вагонов монорельсовых дорог Москвы**

Параметры	Тележки		
	с колесами на пневматических шинах конструкции		КБ с металличе- скими обре- занными колесами
	завода	КБ	
База колес в мм:			
тяговых	1540	1350	1350
направляющих	—	2070	—
Диаметр пневматических шин колес в мм:			
тяговых	1200	1140	780
направляющих	680	680	—
Давление в шинах в кг/см ²	13—14	13—14	—
Мощность электродвигателя в квт	135	110	80
Максимальное число оборотов в ми- нуту, соответствующее максималь- ной мощности электродвигателя	3500	3400	700
Передаточное число трансмиссии	5,25	4,65	—
Максимальная статическая нагрузка на тележку в Т	—	14	14
Общий вес тележки в кг	4410	3750	3275

Таблица 9

**Основные конструктивные элементы тележки Мытищинского
машиностроительного завода**

Элементы тележки	Количество на тележку	Вес 1 шт. в кг	Вес, прихо- дящийся на тележку, в кг
Двигатель	2	900	1800
Колеса:			
ведущее	4	225	900
направляющее	4	80	320
Мост	2	300	600
Рессорное подвешивание	2	50	100
Крестовина	1	180	180
Опорная балка	1	100	100
Токосъемные устройства	3	40	120
Пневматическое оборудование	—	—	90
Кронштейны подвешивания направ- ляющих колес	4	50	200
Итого	—	—	4410

Центральное подвешивание тележки состоит из двух комбинированных пневмопружинных рессорных комплектов 6 (рис. 69), установленных на крестовину 4, которая жестко соединена со ступицами ведущих колес 1. Сверху на рессоры опирается наддрессорная балка 5, в которой шарнирно заделана подвеска кузова вагона. Таким образом осуществляется следующая схема передачи силы тяжести кузова вагона на ходовую балку: подвешивание кузова — наддрессорная балка — рессоры — крестовина ступицы колес — пневматические шины — ходовые дорожки балки. Наддрессорная балка 5 связана с рамой тележки (крестовиной 4) поводками с сайлент-блоками (втулочное соединение деталей, при котором взаимное перемещение одной детали относительно другой допускается только в результате упругой деформации запрессованной между ними резиновой втулки).

Для получения более мягких характеристик пневматических рессор и возможности изменения гибкости подвешивания в широких пределах пневматические рессоры соединены с дополнительным резервуаром, роль которого играет наддрессорная балка 5. Часть нагрузки воспринимается стальными цилиндрическими пружинами, расположенными внутри пневматических баллонов. Для гашения высокочастотных колебаний между наддрессорной балкой и крестовиной установлены гидравлические амортизаторы.

Для вагонов Московской монорельсовой дороги с закрытым коробом КБ разработало два варианта тележек: редукторную с колесами на пневматических шинах и безредукторную на стальных обрешеченных колесах.

Основные технические данные тележки на колесах с пневматическими шинами (рис. 70) приведены в табл. 8, а распределение веса между элементами конструкции тележки дано в табл. 10.

Для уменьшения поперечных размеров тележки ее компоновочная схема предусматривает преимущественно продольное расположение оборудования. Тележка состоит из корпуса, ведущих и направляющих колес, двух электродвигателей, трансмиссии, двух токосъемников и узлов подвешивания контейнера с электрооборудованием (см. рис. 46). Корпус тележки имеет безрамную конструкцию и выполнен в виде закрытой коробчатой конструкции. Он состоит из двух мостов, соединенных центральной отливкой—кессоном. Последняя содержит вертикальное отверстие, в котором размещается механизм гидропневматического подвешивания вагона.

К внешнему торцу картера каждого моста консольно с помощью корпуса редуктора крепится электродвигатель, располагаемый под углом 14° к горизонтали. Такое расположение электродвигателей позволило обеспечить их соосность с осями колес (что необходимо по условиям применения одноступенчатой конической передачи) и расположить направляющие колеса под корпусом двигателя. Вследствие наличия колес с пневматическими

шинами не требуется дополнительного подрессоривания электродвигателей. Направляющие колеса установлены в дюралюминиевых вилках, допускающих регулирование силы прижатия их к ходовой балке.

В конструкции тележки предусмотрено два варианта обеспечения безопасности движения на случай прокола или разрыва пневматической шины: с помощью дисков-колес большого диа-

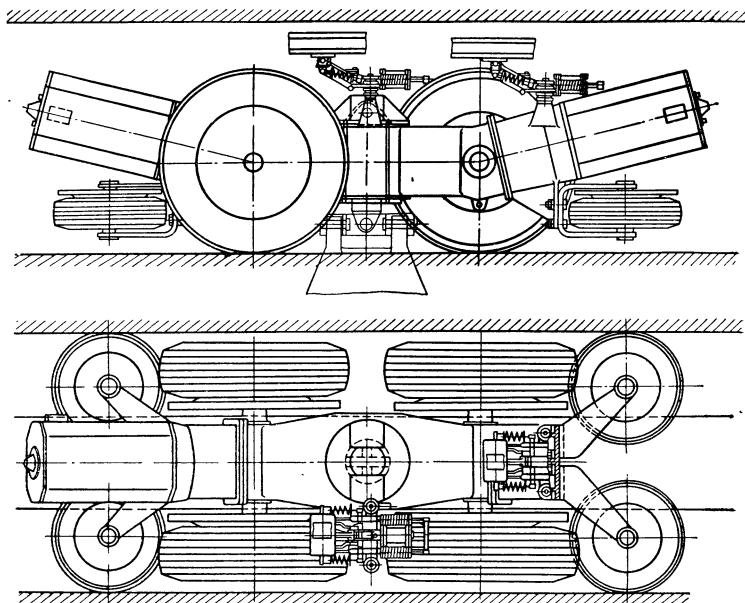


Рис. 70. Тележка с колесами на пневматических шинах для вагонов Московской монорельсовой дороги (проект КБ)

метра (рис. 70) или с помощью дополнительных роликов малого диаметра, устанавливаемых на кронштейнах снаружи ведущих колес.

Передача крутящего момента от тягового электродвигателя осуществляется с помощью трансмиссии, состоящей из подвижной муфты, редуктора, дифференциала и двух приводных валов к ведущим колесам. Направляющие колеса также снабжены предохранительными металлическими ободами.

Тележка на стальных обрезиненных колесах (рис. 71) имеет только ведущие колеса. Наличие реборд на ведущих колесах исключает надобность в направляющих колесах. Непосредственно на осях колесных пар установлены серийные электродвигатели постоянного тока.

В качестве ходовых дорожек в балке используются стандартные рельсы Р-50.

**Весовые характеристики основных узлов тележки
с колесами на пневматических шинах**

Элементы тележки	Вес узла в кг	Количество узлов на тележку	Вес, прихо- дящийся на тележку, в кг
Корпус:			
кессон	280	1	280
картер моста	95	2	190
» редуктора	105	2	210
узел подвешивания амортизатора и контейнер	70	—	70
Трансмиссия	147	2	294
Тяговое колесо:			
шина	100	4	400
барaban с тормозом	160	4	640
Направляющее колесо:			
детали установки	31,5	4	126
колесо	72,5	4	290
Двигатель	600	2	1200
Крепежные детали	50	1	50
Общий вес тележки	—	—	3750

В табл. 8 приведены основные технические данные такой тележки, а в табл. 11 дано распределение собственного веса между элементами конструкции тележки.

Основными элементами тележки являются: рама, тихоходные шестиполусные электродвигатели постоянного тока, резино-металлические колеса, резиновые рессоры и тормозные устройства. Резино-металлические колеса находятся непосредственно на оси электродвигателя. Благодаря поперечному расположению электродвигателей длина тележки уменьшена до 2800 мм (по сравнению с 4080 мм у тележек на пневматических шинах).

Электродвигатели соединены с рамой тележки при помощи упругих резино-металлических рессор. Тележки оборудованы колодочно-бандажными тормозами. Простота устройства тележек (в их конструкции имеется всего четыре узла с цилиндрическими роликоподшипниками) обусловит значительное уменьшение расходов по их эксплуатации.

Рама тележки состоит из двух продольных и одной поперечной балок, соединенных между собой в виде буквы Н. Все балки имеют замкнутое коробчатое сечение и сварены из штампованных деталей. К продольным балкам приварены штампованные буксовые лапы и кронштейны для крепления рычагов и цилиндров тормозной системы. В центре поперечной балки имеется отверстие, в котором размещена центральная рессора подвешивания вагона.

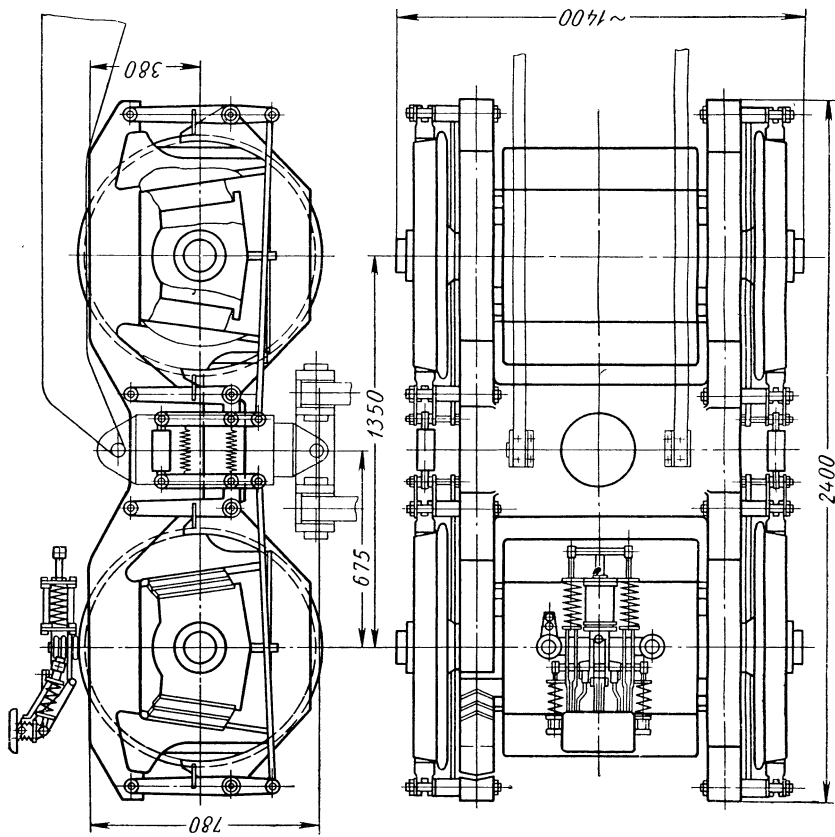
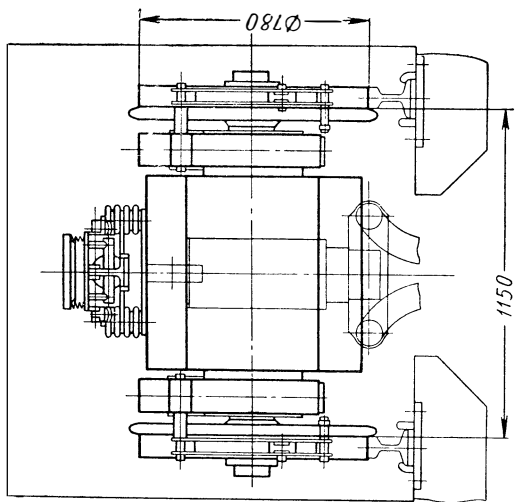


Рис. 71. Тележка со стальными обрешеченными колесами (проект КБ)

**Весовые характеристики основных узлов тележки
со стальными обрешиненными колесами**

Элементы тележки	Вес узла в кг	Количество узлов на тележку	Вес, приходящийся на тележку, в кг
Рама тележки в сборе:	—	1	—
корпус рамы	210	1	210
буксовые лапы	15	8	120
стяжка лап	5,7	4	23
резино-металлический амортизатор	4	8	32
Колесный скат:	—	2	—
колесо	245	4	980
ось колеса	106	2	212
детали крепления колеса	5	4	20
Электродвигатели	750	2	1500
Тормозная система:	—	1	—
колодка тормоза	8	8	64
рычаги крепления крана	5	8	40
плавающие рычаги	4	4	16
тяги	2,5	4	10
тормозной цилиндр	10	2	20
Заземляющие щетки	2,5	4	10
Крепежные детали	—	—	8
Общий вес тележки	—	—	3265

Резино-металлическое колесо состоит из ступицы с двумя внешними дисками, бандажа и шестнадцати резиновых элементов, размещенных между диском бандажа и внешними дисками ступицы. Усилия с бандажа колеса передаются на внутренний диск, затем через работающие на сдвиг резиновые элементы на внешние диски и ступицу колеса. Резиновые элементы втрое снижают динамические нагрузки, передаваемые на бандаж колеса. Колесо закрепляется на оси затяжной гайкой.

Рама тележки опирается на оси колесных пар с электродвигателями через специальные резино-металлические рессоры, расположенные с внутренней стороны колес (между колесами и тяговыми электродвигателями). Каждый рессорный комплект состоит из двух одинаковых пакетов металлических листов с нанесенными на них при помощи вулканизации слоями резины. Пакеты расположены симметрично по обеим сторонам буксы с наклоном 8° к вертикали. Жесткость пакета в горизонтальном направлении в 10—30 раз больше его жесткости в вертикальном направлении. Повышенная жесткость рессор в направлении движения имеет особо важное значение для прямолинейного направления осей в процессе движения и для восприятия усилий при торможении.

СРАВНЕНИЕ ВАГОНОВ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ

Из рассмотрения основных технико-экономических показателей вагонов построенных и спроектированных монорельсовых дорог можно сделать вывод о том, что вагоны значительно отличаются друг от друга по вместимости, основным геометрическим размерам и весу.

Создание подвижного состава нового типа представляет собой чрезвычайно сложную задачу, связанную с необходимостью одновременного решения комплекса специальных технических проблем. Создание достаточно совершенных опытных вагонов для монорельсовой дороги связано с особыми трудностями вследствие того, что эти дороги развиваются на основе новейших достижений нескольких видов транспорта (железнодорожного, автомобильного и авиационного) и находят практическое применение именно там, где обычные виды транспорта по тем или другим причинам не обеспечивают удовлетворительного решения транспортной проблемы.

Непосредственное сопоставление вагонов с различными геометрическими размерами и вместимостью не может дать правильного представления о преимуществах и недостатках конструкции каждого из них. Для этого целесообразно воспользоваться сравнением веса вагонов, приходящегося на 1 м длины вагона, на 1 м² площади его горизонтальной проекции, на одно место для сидения и одного пассажира при максимальном заполнении вагонов. Следует иметь в виду, что нельзя делать общие выводы по результатам сопоставления какого-либо одного показателя. Необходимо рассматривать и сравнивать все или большинство параметров. Однако нельзя не учитывать и того, что в каждом конкретном случае решающим может оказаться лишь несколько главнейших показателей, которые и должны рассматриваться в первую очередь.

Если исключить так называемую микромонорельсовую дорогу в Лозанне и подвесную дорогу в зоопарке Токио, а также построенную в масштабе 4/5 навесную дорогу Диснейленда, то вагоны всех остальных дорог можно разбить на две группы с размерами (см. табл. 7): по длине 9,3—13,2 м и 16—17 м, по ширине 2,4—2,5 и 2,7—3,1 м и по высоте 2,4—3,0 м и 4,0—4,3 м. При этом только по высоте эти группы зависят от типа дороги (первая — для вагонов подвесных дорог, вторая — для навесных). Остальные размеры (длина и ширина) изменяются вне зависимости от типа дороги. Изменение весовых показателей (на 1 м длины и на 1 м² площади) также почти не зависит от типа дороги.

Из большого числа рассмотренных вариантов конструкций вагонов монорельсовых дорог наиболее совершенными являются вагоны подвесных дорог с симметричным подвешиванием и вагоны навесных дорог.

Одним из основных факторов, определяющим эксплуатационные и экономические параметры вагонов, являются их габаритные

размеры. Размеры вагонов определяют многие строительные размеры эстакады и поэтому существенно влияют на стоимость постройки дороги. С размерами вагонов тесно связана компоновка их внутреннего оборудования, которая определяет как степень комфорта, так и общую вместимость вагонов и, следовательно, оказывает прямое влияние на эксплуатационные и экономические показатели работы дороги в целом.

Вагоны монорельсовой дороги должны обладать большим комфортом по сравнению с вагонами метрополитена. В вагонах метрополитена продольное расположение сидений является в какой-то мере обоснованным, так как в окна вагона ничего, кроме стен тоннеля, увидеть нельзя и при таком расположении сидений предоставляется максимальная площадь для стоящих пассажиров. Однако, несмотря на это, в вагонах многих метрополитенов (например, в нью-йоркском) применяется продольно-поперечное расположение сидений. Нормальным режимом работы вагонов монорельсовой дороги следует считать не перегрузку их в часы пик, а занятость всех мест для сидения и наличие небольшого количества стоящих пассажиров (не более 3—4 человек на 1 м² свободной площади).

Вследствие этого принятое в проекте КБ для Московской монорельсовой дороги продольное расположение сидений не может быть признано обоснованным, хотя оно и позволило уменьшить ширину вагона до 2,5 м. При применении поперечного расположения сидений по схеме 2 + 2 для предоставления пассажирам нормальных условий комфорта (ширина сидений 450 мм и ширина среднего прохода 550—600 мм) ширина вагона получается равной 2,7 м, как это и предусмотрено обоими заданиями на проектирование. При этом не требуется усиления несущих элементов кузова вагона и увеличения его веса. Следует учитывать также и то, что, кроме вагонов метрополитена, ни у одного из существующих средств общественного транспорта в настоящее время не применяется продольное расположение сидений (исключение могут составлять только сохранившиеся в некоторых городах старые трамвайные вагоны).

Характерным при этом является то, что переход на продольное расположение сидений в вагоне по сравнению с поперечным расположением привело к сокращению в поезде числа мест для сидения с 224 до 132, т. е. на 41%, а общая вместимость возросла на 9,5% (с 315 до 345 пассажиров). Кроме того, это достигнуто в результате значительного уменьшения площади горизонтальной проекции вагона, приходящейся на одного пассажира при максимальном заполнении (с 0,452 до 0,3 м²), т. е. за счет снижения уровня комфорта (см. табл. 7).

Интересные данные получаются при сопоставлении весовых характеристик вагонов. Вес среднего вагона конструкции КБ равен 14,0 т (вес головных вагонов будет больше, так как добав-

ляется еще вес кабины машиниста). Без учета веса двух кабин предложенный вагон имеет вес 1010 кг на 1 м длины, 405 кг на 1 м² горизонтальной проекции кузова, 319 кг на одно место для сидения и 122 кг на одно место при максимальном заполнении вагона. Соответствующие показатели для вагона по проектному заданию равны 880, 328, 250 и 150 кг.

Таким образом, данный вагон значительно превышает весовые нормы, установленные заданием на проектирование. Только в отношении веса вагона, приходящегося на одного пассажира при максимальном заполнении, этот вагон оказывается более легким (82% веса по проектному заданию).

При дополнительном рассмотрении вопроса об облегчении вагонов следует особое внимание обратить на весовые характеристики тележек, так как две тележки весят 7,5 т, что составляет 54% общего веса вагона.

Кузов вагона выполнен из сплавов легких металлов и вместе с внутренней отделкой весит всего 2730 кг. Поэтому дальнейшее снижение его веса вряд ли целесообразно и возможно. На несколько завышенные весовые параметры вагона конструкции КБ следует обратить особое внимание также вследствие того, что для этого вагона нарушаются даже те нормы, которые были установлены первым проектным заданием на опытные образцы вагонов, послужившим основным документом для разработки в 1963 г. эскизного проекта вагона подвесной монорельсовой дороги Мытищинским машиностроительным заводом. В первом задании при тех же размерах был установлен предельный вес вагона 17 т.

Важнейшим элементом конструкции вагона, в наибольшей степени влияющим на общую стоимость его постройки, является тележка, так как ее размеры определяют необходимые размеры несущих балок-монорельсов и вместе с приходящейся на монорельс нагрузкой являются главнейшими параметрами для расчета поперечных сечений и веса балок, веса опор и стоимости пролетных строений. От конструкции тележки зависит также удельное сопротивление движению и, следовательно, с ней связаны многие эксплуатационные расходы и общая экономичность монорельсовой дороги. Решение вопроса о рациональной конструкции тележки (с пневматическими или с металлическими обрешиненными колесами) может быть получено только на основе технико-экономических расчетов с учетом всех преимуществ и недостатков обеих конструкций. Без детальной проработки технико-экономических вариантов и конструкций (вплоть до разработки рабочих чертежей) делать какие-либо выводы о целесообразности той или иной конструкции затруднительно.

Наиболее подробно в отечественных проектах разработана конструкция тележки с колесами на пневматических шинах. По размерам этой тележки установлены размеры балок-монорельсов. Предложенная конструкция тележек требует значительного умень-

шения габаритных размеров, что вместе с более компактным расположением внутри балки контактных проводов должно привести к значительному уменьшению поперечных размеров балок-монорельсов.

При обосновании вариантов тележек и в первую очередь типа колес для магистральных монорельсовых дорог необходимо учитывать следующие соображения. Сопротивление качению стального обрешиненного колеса по металлическому рельсу (основное удельное сопротивление движению) в 5—6 раз меньше сопротивления качению колеса с пневматическими шинами по ровной поверхности. При применении колес с пневматическими шинами возникает дополнительное сопротивление, для преодоления которого требуется установка электродвигателей большей мощности и более тяжелого прочего электрооборудования. Примером этого могут служить две конструкции тележек, разработанные КБ для одного и того же вагона: тележки с пневматическими шинами и электродвигателями мощностью 110 *квт* и тележки со стальными обрешиненными колесами и электродвигателями мощностью 80 *квт*. Большая на 38% мощность электродвигателей первой тележки потребует в эксплуатации больших расходов электроэнергии.

Применение стальных обрешиненных колес позволяет значительно упростить питание электродвигателей, так как для подвода тока могут использоваться основные рельсы, отпадает надобность в специальных токонесущих рельсах и пантографах, заменяемых более простым токосъемным устройством.

Наличие стальных рельсов позволяет применить в конструкции тележек электромагнитные тормоза, являющиеся наиболее эффективными и экономичными. Наличие защищенных от атмосферных воздействий поверхностей качения рельса и металлического обода колеса обеспечивает достаточно высокие пусковые ускорения поезда.

Срок службы колес со стальными бандажами значительно превышает срок службы колес с пневматическими шинами. На Московском метрополитене колеса проходят до 1,5 млн. *км*, имея за это время по установленным пределам износа бандажей четыре-пять переточек по поверхности качения, и только после этого заменяются новыми (у сборных колес заменяется только бандаж). Пробег шин, освоенных производством, редко превышает 100 тыс. *км*. Требуемые для вагонов монорельсовой дороги шины с давлением воздуха в них до 18 *кг/см²* еще нигде не производились, следовательно, никакого опыта эксплуатации их не существует. Лучшими шинами высокого давления (9—12 *кг/см²*) являются шины французской фирмы Мишлен. Эти шины, имеющие пробег до 200 тыс. *км*, устанавливаются на колеса вагонов, эксплуатируемых на нескольких линиях Парижского метрополитена. О сложности производства высококачественных шин высокого

давления свидетельствует тот факт, что и США, и Канада (где проектировалось построить некоторые линии метрополитена с вагонами на пневматических шинах) предполагали закупить их у фирмы Мишлен.

Общая конструкция тележки с ребордными стальными обрешиненными колесами резко упрощается. Отпадает необходимость в направляющих колесах. В случае возможности применения безредукторного двигателя тележка получается чрезвычайно компактной, простой по конструкции, надежной в работе и несложной в эксплуатации. Но даже при применении высокооборотного электродвигателя с зубчатой или карданной передачей тележки с обрешиненными колесами экономичнее и надежнее в эксплуатации, чем тележки с пневматическими колесами.

При этом следует исходить из более легких условий работы тележек монорельсовых дорог по сравнению с условиями работы обыкновенных железнодорожных тележек, так как рельсовый путь в балках можно уложить на упругих подкладках, сделать его почти бесстыковым, а отсутствие кривых малого радиуса (наименьший радиус по проектному заданию 400 м) резко уменьшает боковые силы, возникающие между подвижным составом и рельсовым путем. Большое внимание должно быть обращено на выбор оптимальных зазоров в рельсовой колее, чтобы свести к минимуму синусоидальные колебания колес между рельсами. Это тем более важно, что основным видом износа колес на линиях метрополитена является боковой подрез реборды. Поступающие в переточку колесные пары часто почти не имеют поддающегося замеру проката по поверхности качения. Вследствие этого можно предположить, что если в монорельсовой дороге удастся уменьшить боковой износ реборд колес, то это приведет к значительному увеличению срока их службы между ремонтами даже по сравнению со сроком службы колес вагонов метрополитена.

Выдвигаемые обычно доводы о якобы высоком уровне шума монорельсовых дорог на стальных обрешиненных колесах не вполне убедительны. Об этом свидетельствуют полученные экспериментальным путем при скорости движения 100—120 км/ч уровни шума от качения обрешиненного колеса пассажирского вагона по обычному рельсовому пути (115—125 дб) и пневматической шины автомобиля, движущегося по автострате в режиме наката (105 дб). Как видно, эта небольшая разница не может считаться решающим фактором при выборе типа дороги. Кроме того, уровень шума вагонов монорельсовой дороги на обрешиненных колесах может быть уменьшен как в результате усовершенствования самих колес (работающих на монорельсовой дороге при значительно меньших нагрузках и в условиях лучшего содержания пути), так и вследствие увеличения бесшумности пути.

Известно, что себестоимость перевозок на рельсовом транспорте, как правило, ниже, чем на безрельсовом. Ориентировочный расчет

показывает, что при применении колес с пневматическими шинами вместо стальных обрешиненных колес себестоимость перевозок на монорельсовой дороге возрастет почти вдвое. Поэтому для подвесных грузо-пассажирских и пассажирских значительной протяженности (междугородных) монорельсовых дорог, а также некоторых монорельсовых дорог для связи крупных городов с пригородами, аэропортами и городами-спутниками должна рассматриваться возможность использования ходовых частей со стальными обрешиненными колесами.

В определенных условиях можно рекомендовать монорельсовую дорогу с металлической коробчатой балкой и вагонами на стальных обрешиненных колесах. Применяя эластичные резиновые прокладки в дисках колес и упругие элементы в подрельсовых прокладках, можно свести к минимуму шумовое воздействие катящихся внутри балки колес, а при рациональном сочетании длин балок и их поперечных сечений с весовыми характеристиками и скоростями движения вагонов можно устранить опасность возникновения собственных колебаний балок в звуковом диапазоне частот.

Коробчатая стальная балка такой монорельсовой дороги может быть очень легкой, что положительно отразилось бы на всех стоимостных показателях дороги.

Обращают на себя внимание следующие соотношения расхода металла и бетона, необходимых для строительства разработанных вариантов конструкций железобетонных и металлических балок. При одинаковой длине балок (29,95 м) для железобетонной балки требуется 31,1 м³ бетона и 12,9 т металла и весит она 78 т; для металлической сварной балки нужно только металла 18,7 т и весит она 18,7 т. Таким образом, при использовании железобетона на одной балке экономится 18,7 — 12,9 = 5,8 т металла (193 кг на 1 м), но при этом расход бетона составляет 31,1 м³ и вес балки увеличивается с 18,7 до 78 т. Естественно, что в этом случае необходимо соответствующее утяжеление ригелей и опор эстакады. Анализ этих данных свидетельствует о необходимости дальнейшей работы также над вариантом монорельсовой дороги со стальной коробчатой балкой.

ЭСТАКАДЫ МОНОРЕЛЬСОВЫХ ДОРОГ

ПЛАН И ПРОФИЛЬ ДОРОГИ

В отличие от обычных видов пассажирского транспорта (трамвай, троллейбус, автобус, электрифицированная железная дорога, открытое метро), для которых требуются значительные площади для сооружения пути, для монорельсовой дороги нужна небольшая площадь (только под опоры и фундаменты, расположенные на расстояниях 15—50 м друг от друга).

На рис. 72 показаны основные размеры эстакад различных систем монорельсовых дорог.

Малые габаритные размеры эстакады, сравнительно небольшие радиусы кривых участков, возможность преодоления значительных подъемов позволяют вести прокладку трассы без особых затруднений в равнинной и горной местностях, на открытых местах, в стесненных условиях застройки жилых и промышленных районов.

Трассу монорельсовой дороги можно прокладывать по улицам, площадям и скверам в городах, над реками, оврагами и ущельями, а также над железнодорожными путями, автомобильными дорогами, трубопроводами и другими коммуникациями в промышленных районах.

Путь монорельсовой дороги, как и обычных железных и автомобильных дорог, состоит из прямых и кривых участков в горизонтальной и вертикальной плоскостях.

Радиусы кривых на закруглениях ограничиваются условиями вписывания поезда в кривую. В навесных дорогах допускаются минимальные радиусы кривых 80 м, а в подвесных — 30 м. Между прямыми и кривыми участками пути делаются переходные кривые.

Во всех случаях, когда при прохождении вагоном участка кривой от действия центробежных сил возникает боковое ускорение, большее чем $0,1—0,2 \text{ м/сек}^2$, рельсу-балке придается поперечный уклон.

На рис. 73—75 показано устройство на различных участках эстакады монорельсовой дороги в Токио.

В подвесных дорогах противодействие центробежным ускорениям достигается как за счет поперечного уклона в балках, так и с помощью специальных устройств, автоматически выравнивающих положение вагона на кривой. В навесных дорогах

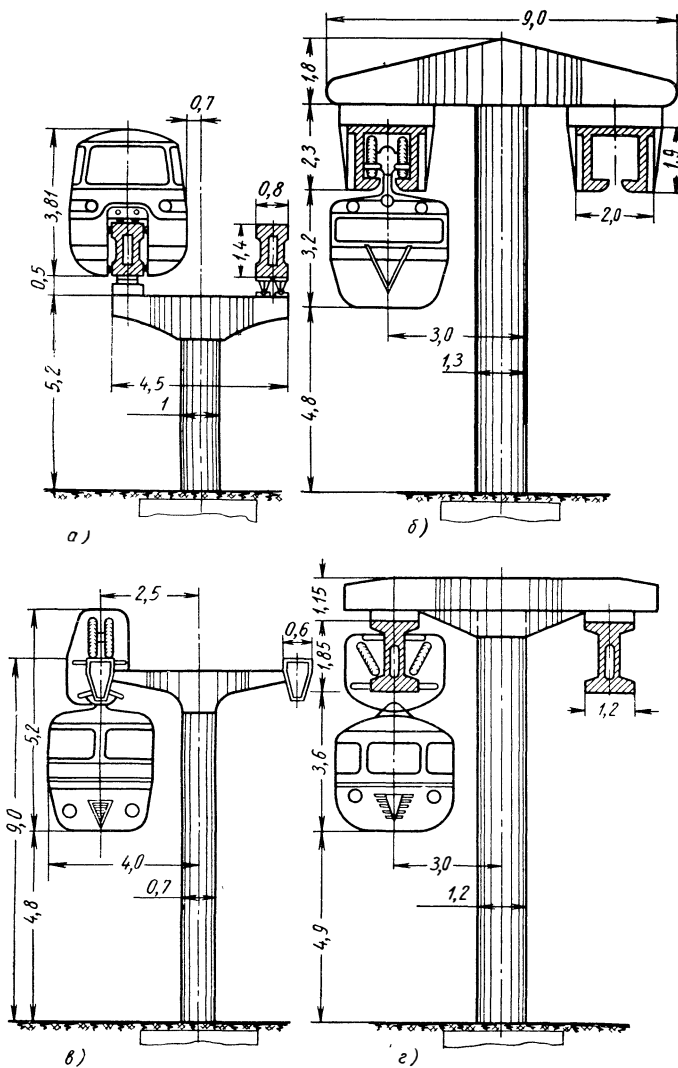


Рис. 72. Размеры эстакад различных систем монорельсовых дорог (в м):

a — навесная дорога системы Алвек (железобетонная); *б* — подвесная дорога с закрытой железобетонной балкой; *в* — подвесная несимметричная дорога (металлическая); *г* — подвесная симметричная дорога с открытой железобетонной балкой

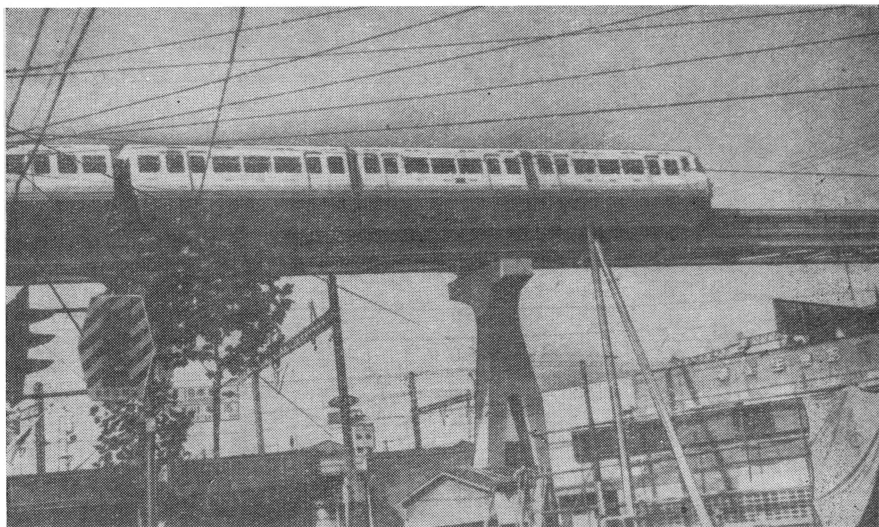


Рис. 73. Устройство эстакады монорельсовой дороги в Токио, проходящей по застроенному участку



Рис. 74. Устройство эстакады в Токио, проходящей над улицей

автоматические выравнивающие системы из-за конструктивных трудностей не применяются.

Наибольший допустимый поперечный уклон балок на кривых по условиям остановки поезда не должен превышать 150‰ или $8^\circ 30'$. С максимальной расчетной скоростью поезд может двигаться по кривой только при радиусах, равных минимально допустимым для этой скорости или превышающих эти величины.

Значения минимально допустимых радиусов кривых, а также минимальных длин переходных кривых в зависимости от расчет-

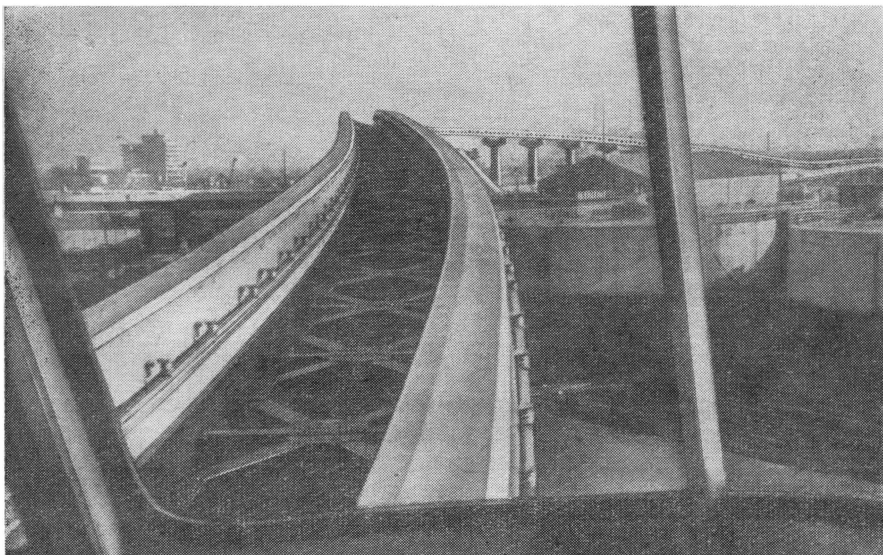


Рис. 75. Устройство эстакады в Токио в месте расположения переходной кривой

ных значений скоростей движения определяются по формулам, принятым для расчета железных дорог.

В табл. 12 приведены расчетные значения максимальной скорости движения, минимальной длины переходной кривой, поперечного уклона балки (или отклонения вагона на подвесных дорогах) и центробежного ускорения в зависимости от радиуса кривой.

Для кривых радиусом больше 5000 м переходные кривые не делаются.

Как уже отмечалось выше, поезд монорельсовой дороги при достаточной мощности электродвигателей может преодолевать большие уклоны с большими скоростями:

Подъем в ‰	20	70	100
Скорость движения			
в км/ч	150	100	60

Расчетные значения основных показателей трассы в зависимости от скорости движения

Параметры	Максимально допустимые скорости движения в км/ч											
	52	74	91	105	118	128	139	150	150	150	150	150
Радиус кривой в м	100	200	300	400	500	600	700	820	1070	2000	3000	5000
Поперечный уклон балки (отклонение вагона) в ‰	150	150	150	150	150	150	150	150	150	76	51	30
Центробежное ускорение вагона при движении по кривой в м/сек ²	2,12	2,12	2,12	2,12	2,12	2,12	2,12	2,12	1,60	0,86	0,58	0,35
Центробежное ускорение в вагоне м/сек ²	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,15	0,11	0,08	0,06
Минимальная длина переходной кривой в м	110	170	200	240	270	290	320	340	260	140	90	50

Вследствие меньших сил сопротивления воздуха на монорельсовых дорогах могут допускаться уклоны даже несколько большие, чем на автомобильных дорогах.

Места перелома продольного профиля должны сопрягаться вертикальными кривыми.

На монорельсовых дорогах с надежной системой сигнализации не требуется соблюдения условий видимости встречного или впереди идущего поезда, поэтому радиусы вертикальных кривых как выпуклых, так и вогнутых можно принимать равными радиусам вогнутых кривых для соответствующих расчетных скоростей движения на автомобильных дорогах.

Основные нормы для проектирования эстакады

Параметры	Скорость движения в км/ч				
	150	120	100	80	50
Радиус кривой в м:					
нормально допустимый	1100	700	500	300	120
минимально »	800	500	400	250	100
Максимальный уклон балки в ‰					
поперечный	150	150	150	150	150
продольный	30	50	70	80	90
Минимальный радиус вертикальной кривой в обычных условиях в м	8000	5000	3000	2000	1200
То же, в тяжелых условиях	4000	2500	1500	1000	400
Минимальная длина переходной кривой в м	340	280	210	170	100

Для безопасности движения на монорельсовых дорогах служат устройства автоматической блокировки и светофоры. Допустимые нормы проектирования плана и профиля монорельсовых дорог в зависимости от скорости движения приведены в табл. 13.

При проектировании монорельсовых дорог в горной местности или в городских условиях с меньшими радиусами круговых и вертикальных кривых, а также с меньшими длинами переходных кривых скорость движения ограничивается. При этом на соответствующих участках пути должны предусматриваться дублирующие устройства автоматического торможения, включающиеся независимо от машиниста.

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ РАСЧЕТА КОНСТРУКЦИЙ ЭСТАКАД МОНОРЕЛЬСОВЫХ ДОРОГ

Конструкции эстакад рассчитывают с учетом постоянных и временных нагрузок, действующих на них.

К постоянным нагрузкам относятся: собственный вес конструкции, постоянно действующее давление грунта, усилия от осадки грунта, гидростатическое давление, усадка бетона и воздействие от предварительного напряжения арматуры в бетоне.

Определение постоянных нагрузок, действующих на эстакаду монорельсовой дороги, и усилий, возникающих от этих нагрузок, производится так же, как и для железнодорожных и автодорожных мостов в соответствии с требованиями строительных норм и правил, а также технических условий на проектирование мостов.

К временным нагрузкам основного воздействия относятся: подвижная нагрузка от давления тяговых и направляющих колес вагонов, горизонтальная продольная нагрузка, возникающая при торможении или разгоне вагона, и динамическая нагрузка.

К временным нагрузкам неосновного воздействия следует отнести усилия, возникающие вследствие изменения температуры, силу трения в подвижных опорных частях, горизонтальную ветровую нагрузку (поперечную и продольную), сейсмическую нагрузку и строительную нагрузку.

В связи с тем, что условия движения вагонов по монорельсовой дороге принципиально отличаются от условий движения других видов транспорта, для определения временной подвижной нагрузки требуются специальные методы расчета, отличные от методов расчета железнодорожных и автодорожных мостов.

Усилия, возникающие от остальных временных нагрузок, определяются согласно существующим нормам за исключением ветровой нагрузки, которая для монорельсовых дорог, проходящих в городских условиях или лесной местности, может быть уменьшена и приниматься такой же, как для промышленных сооружений.

Динамическая нагрузка, зависящая от скорости движения, типа подвижного состава и расчетной длины конструктивного элемента, учитывается динамическим коэффициентом μ , вводимым в виде условного множителя $1 + \mu$ перед временными вертикальной и поперечной нагрузками. Значение динамического коэффициента определяется экспериментальным путем. Надо полагать, что динамический коэффициент на монорельсовой дороге будет не меньше, чем на железнодорожном транспорте. До получения экспериментальных данных при ориентировочных расчетах балок, ригелей и опор можно пользоваться теми же формулами определения динамического коэффициента, что и для железнодорожных мостов. При длине пролетов 20—30 м динамический коэффициент равен 1,2—1,3.

Большее влияние, чем в железнодорожных и автодорожных мостах, при расчете конструкций опорных частей ригелей и опор монорельсовой дороги имеет горизонтальная продольная сила, возникающая в случае экстренного торможения. Наличие пневматических шин позволяет осуществить экстренное торможение с замедлением 3—5 м/сек², в результате чего в опорных частях возникают большие срезающие усилия, а в ригелях и опорах — значительные крутящие моменты. Особенно большие крутящие моменты возникают в Т-образных опорах двухпутной монорельсовой дороги при одновременном торможении двух встречных поездов, следующих по балкам соответствующего направления.

Коэффициенты перегрузки для постоянных и временных нагрузок можно принимать также в соответствии с техническими условиями проектирования железнодорожных и автодорожных мостов и строительных норм и правил на мосты и трубы за исключением коэффициента перегрузки на опрокидывание, который для монорельсовых дорог значительно выше.

В зависимости от принимаемой расчетной схемы эстакады от всех перечисленных выше нагрузок определяют усилия, возникающие в элементах конструкции, рассчитывают ее размеры, количество арматуры, металла, бетона и т. п.

Расчет несущих конструкций и оснований эстакад монорельсовых дорог производится по трем предельным состояниям.

По первому предельному состоянию рассчитывают на прочность, устойчивость и усталость. Расчет на прочность ведется с применением коэффициента перегрузки для нормативных нагрузок, коэффициента однородности для нормативных сопротивлений, коэффициента условий работы и динамического коэффициента для временных подвижных нагрузок. Расчеты на усталость проводятся без учета коэффициента перегрузки. При расчете на устойчивость положения динамический коэффициент не учитывают.

Для расчета по первому предельному состоянию, так же как и для мостов, можно пользоваться следующими формулами:

на прочность

$$\frac{N}{F} \leq R;$$

на устойчивость

$$\frac{N}{\varphi F} \leq R;$$

на усталость

$$\frac{N}{F} \leq rR,$$

где N — расчетная нагрузка (сила, момент);

F — геометрическая характеристика сечения (площадь, момент сопротивления);

R — расчетное сопротивление;

φ — коэффициент продольного изгиба;

r — коэффициент расчетного сопротивления усталости.

Расчет по второму предельному состоянию производится для балок по величине вертикального прогиба.

Третье предельное состояние определяется по появлению трещин в железобетонных элементах конструкций.

В расчетах по второму и третьему предельным состояниям не учитывается коэффициент перегрузки и динамический коэффициент. При расчетах во внимание должны приниматься нагрузки, возникающие в наиболее невыгодных положениях подвижного состава.

Коэффициент перегрузки учитывает возможные отступления от нормальных. Нормативные сопротивления материалов и грунтов устанавливаются на основе данных, проверенных испытаниями.

Коэффициент однородности учитывает возможность уменьшения сопротивлений материалов и грунтов по сравнению с нормативными данными.

Коэффициент условий работы учитывает возможные отступления действительной конструкции от запроектированной в пределах установленных допусков, а также условность произведенных в отдельных случаях расчетов по упрощенным схемам.

Расчеты по второму и третьему предельным состояниям производятся путем сравнения деформаций с соответствующими величинами, допускаемыми по техническим условиям.

С целью уменьшения веса балок и расхода железобетона на прямых участках балки можно изготавливать пустотелыми. Простая двутавровая балка из железобетона в эстакадах построенных мнорельсовых дорог не применялась из-за ее недостаточного момента сопротивления кручению. Для увеличения момента сопротивления кручению необходимо или значительно увеличить толщину стенок в двутавровых балках, или делать балку с двумя стенками, т. е. пустотелой. Для кривых участков малых радиусов при больших центрбежных силах балки с пустотами в стенках

обычно не применяются. На некоторых построенных навесных монорельсовых дорогах (в Диснейленде, США и Турине, Италия) балки для прямых участков, так же как и для кривых, изготавливались без пустот, но с теми же геометрическими размерами.

Практически чаще всего применяются эстакады с пролетными строениями из простых разрезных балок на опорах со свайным основанием или с фундаментами на естественном основании. Такие конструкции мало чувствительны к неравномерным осадкам опор и отличаются большой простотой изготовления и монтажа.

При объединении пролетов эстакады в рамную секцию с устройством подвижных опорных частей только через три-четыре пролета, т. е. через 60—70 м, горизонтальные нагрузки от торможения распределяются равномерно между всеми опорами, но в этом случае в некоторых опорах и опорных частях возникают большие усилия вследствие колебания температуры.

При использовании неразрезных многопролетных балок, устанавливаемых на такие же опоры, как и разрезные балки, может быть достигнута некоторая экономия материалов, но при этом значительно усложняется изготовление и монтаж балок. На слабых грунтах, дающих неравномерные осадки, неразрезные балки не применяются.

КОНСТРУКЦИИ ЭСТАКАД РАЗЛИЧНЫХ СИСТЕМ МОНОРЕЛЬСОВЫХ ДОРОГ

В последние годы за рубежом построен ряд подвесных и навесных монорельсовых дорог, описанных выше. Эстакады всех навесных дорог изготовлены из железобетона, а всех подвесных дорог — из металла или железобетона.

Эстакады монорельсовых дорог состоят из следующих конструктивных элементов: несущей балки (пути), опорных частей, ригеля опор, стоек опор и фундамента. Наиболее трудоемкими в изготовлении и дорогостоящими являются балки. Затраты на них составляют около 60% стоимости всей эстакады.

На рис. 76, *а* и *б* приведены размеры сечений балок построенных в последние годы навесных и подвесных монорельсовых дорог.

На схеме 1 изображено сечение балки навесной дороги, построенной в парке Диснейленд (США). Эта дорога почти на всем протяжении состоит из кривых участков пути. В связи с этим все пролеты эстакады отличаются друг от друга в плане и профиле, поэтому почти каждая балка изготавливалась по индивидуальному проекту. Допускаемое напряжение бетона в балках составляло 400 кг/см^2 .

На схеме 2 показано сечение балки навесной дороги, построенной в Кавасаки (Япония). Длина пролета эстакады этой дороги составляет 15 м. Вес балки 21 т.

На схеме 3 приведено сечение балки монорельсовых дорог, построенных в Фюлингене (ФРГ), Нагои (Япония), Наре (Япония) и Токио (Япония). Длина пролетов на указанных дорогах составляет 15—20 м, вес 1 м путевой балки 1900 кг. Высота опор на некоторых дорогах достигала 25 м.

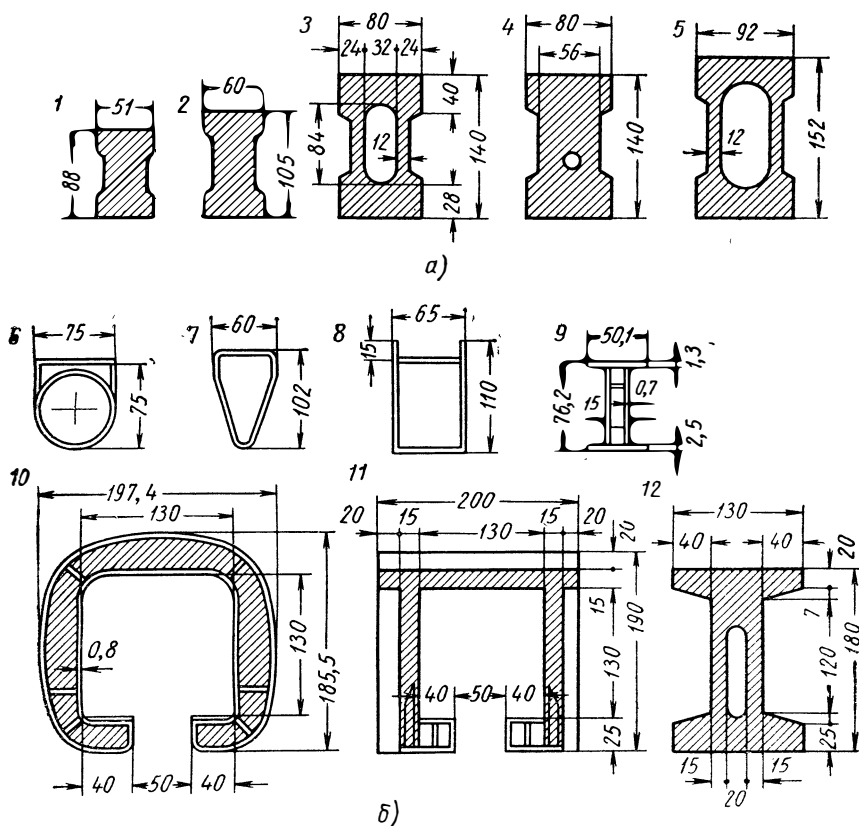


Рис. 76. Размеры сечений балок различных систем монорельсовых дорог (в сантиметрах): а — навесных; б — подвесных

На схеме 4 даны размеры сечения балки навесной дороги в Турине с длиной пролета 20 м. В отличие от балок, применяемых для других дорог аналогичных размеров, балки Туринской дороги не имеют пустот, что позволило укладывать их на 20-метровых пролетах с меньшим количеством арматуры, чем в пустотелых балках.

На схеме 5 показано сечение балки двухпутной навесной дороги в Сиэтле (США). Несколько увеличенные размеры сечения позволили повысить длину пролета до 28 м. Вес одной балки

равен 55 *t*, или вес 1 *m* около 2 *t*. Эстакады всех перечисленных выше построенных навесных дорог изготовлены из железобетона, а все путевые балки, за исключением дороги в парке Диснейленд, выполнены из предварительно напряженного железобетона.

На схемах 6—8 приведены размеры сечений путевых металлических балок асимметричных подвесных монорельсовых дорог, построенных в Хаустоне и Далласе (США) и Токио (Япония).

На схеме 9 изображено сечение путевой балки подвесной симметричной монорельсовой дороги, построенной в Нью-Йорке (США). Ранее такая дорога была создана в Лос-Анджелесе (США). Длина балок равна 18,3 *m*. Высота опор сварной коробчатой конструкции достигала 17 *m*. Дорога в Нью-Йорке была построена для вагонов вместимостью 40 пассажиров.

Наибольшее распространение в подвесных монорельсовых дорогах получила симметричная система (схема 10) французской фирмы САФЕЖЕ. Опытные участки такой дороги построены во Франции и Японии. Вся эстакада опытных участков, за исключением фундаментов, изготовлялась из металла. В процессе испытаний для увеличения момента сопротивления кручению на опытном участке во Франции промежутки между стенками коробчатой балки был заполнен бетоном. В связи с этим вес балки длиной 30 *m* повысился с 24 до 100 *t*. Вес 1 *m* балки без бетонного заполнения равен 800 *кг*.

На схемах 11 и 12 приведены размеры сечений балок подвесных симметричных монорельсовых дорог, запроектированных Промтрансниипроект для Миасса и Магнитогорска.

При пролете 30 *m* вес металло-железобетонной балки подвесной дороги французской системы, спроектированной по схеме 11, составил 75 *t* (в том числе вес металлоконструкций 9 *t*). Расход железобетона на 1 *m* балки 0,88 *m*³, а профильного металла — 300 *кг*. Конструктивная схема металло-железобетонной балки коробчатого сечения, разработанная Промтрансниипроект, приведена на рис. 77.

При пролете 30 *m* вес железобетонной путевой балки двутаврового сечения (схема 12, см. рис. 76) составил 72 *t* при расходе предварительно напряженного железобетона на 1 *m* балки 1,05 *m*³. Расход арматуры на 1 *m*³ железобетона для прямых участков равен 240 *кг*, для кривых — до 480 *кг*.

Для навесной дороги, балка которой имела сечение, соответствующее схеме 3, вес 20 *m* балки был равен 38 *t*. Расход предварительно напряженного железобетона на 1 *m* балки составлял 0,76 *m*³ при расходе арматуры на 1 *m*³ железобетона на прямых участках 215 *кг* и на кривых — до 450 *кг*.

Для подвесной монорельсовой дороги системы САФЕЖЕ фирмой Тейлор Вудроу (Англия) разработаны новые более экономичные конструкции всех элементов эстакады и их соединений, которые характеризуются следующими особенностями.

Двухколейный путь расположен в полой предварительно напряженной железобетонной балке трапециевидального сечения (рис. 78). Балка значительно отличается от первоначальной французской конструкции, изготовлявшейся из стали и имевшей полукруглую верхнюю половину балки. Железобетонная балка имеет сверху ширину 2286 мм, внизу у основания 1880 мм и высоту 1854 мм. На внутренней стороне боковых стен сделаны вертикальные ребра жесткости с интервалом 610 мм. Внутри каждой боковой

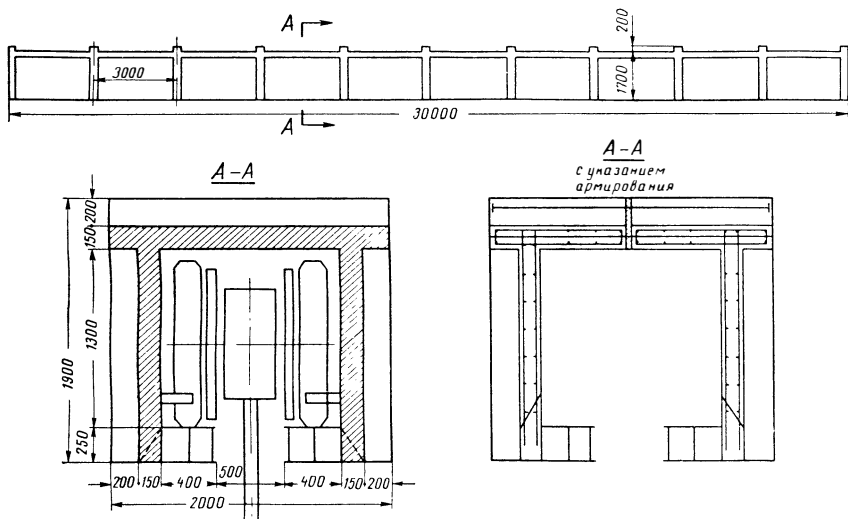


Рис. 77. Конструкция металло-железобетонной закрытой балки (проект Промтранснипроекта)

стены имеется по четыре предварительно напряженных многожильных троса диаметром 47,6 мм из высокопрочной низколегированной стали. Длина типового элемента (секции) ходовой балки равна 31,7 м.

В указанных проектах путевые балки укладывались на ригели столбчатых центрифугированных опор, заполненных бетоном и поддерживаемых монолитными, столбчатыми или свайными фундаментами (в зависимости от грунтов на трассе дороги).

Наиболее ответственными элементами эстакады являются опорные части, т. е. соединения балки с ригелем опоры. Опорные части делают подвижными и неподвижными. Неподвижные опорные части наглухо соединяют балку с опорой. При неподвижных опорных частях на опоры передаются тормозные усилия, а также усилия, возникающие вследствие изменения температуры. Подвижные опорные части позволяют балкам перемещаться в продольном направлении, но исключают возможность перемещения

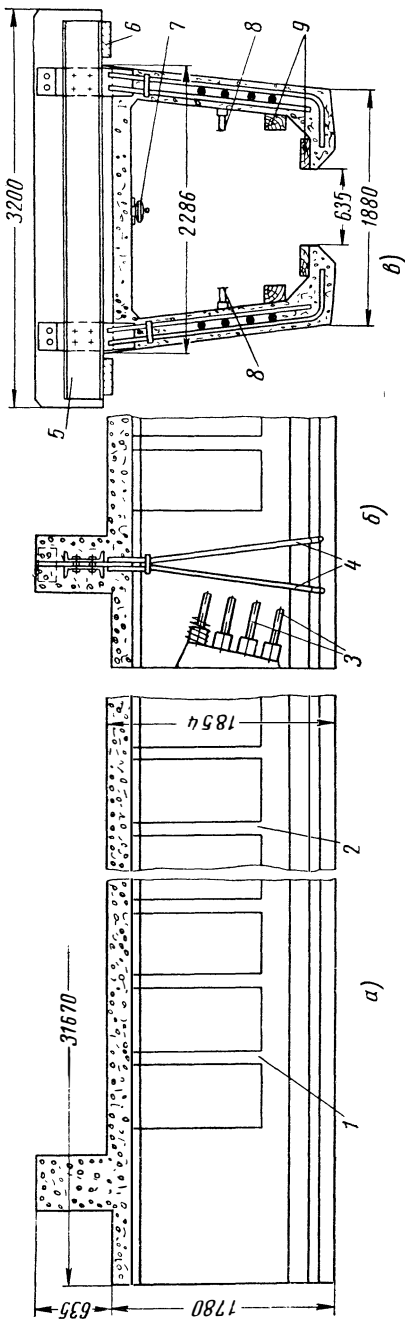


Рис. 78. Устройство ходовой балки:

a — продольный разрез балки; *б* — продольный разрез конца балки; *1* — ребра толщиной 152 мм (10 панелей у каждого конца балки); *2* — ребра толщиной 102 мм (28 панелей в средней части балки); *3* — предварительно напряженные тросы диаметром 47,6 мм; *4* — арматура диаметром 35 мм; *5* — швеллеры поперечной балки сечением 305×90 мм; *6* — опорная прокладка; *7* — положительный токонесущий рельс; *8* — отрицательный токонесущий рельс; *9* — деревянные ходовые дорожки для колес

в поперечных направлениях и опрокидывания.

Подвижные опорные части устанавливаются в местах образования температурных зазоров, а также на промежуточных опорах для уменьшения тепловых нагрузок.

Наиболее распространенной в навесных дорогах является схема эстакады с неподвижными опорными частями на одной или двух опорах и наличием температурных зазоров через три — шесть пролетов (в зависимости от длины пролета) с установкой на конечных и предконцевых опорах секции подвижных креплений.

В подвесных дорогах, у которых эстакада изготовлена из металла, допускающего большие, чем железобетон, деформации при продольном изгибе опор вследствие колебания температуры балок, подвижные крепления обычно делают через 60—100 м только в местах образования температурных зазоров. В случае железобетонных эстакад чередование подвижных и неподвижных опорных частей должно происходить так же, как у навесных дорог.

В первых навесных дорогах, построенных в ФРГ и США, применялись подвижные опорные части каткового типа, аналогич-

ные опорным частям, применяемым при строительстве железнодорожных мостов.

На навесной дороге в Сиэтле (США) вместо катковых опорных частей применялись особые устройства на концах балок и ригелях опоры. Эти устройства представляли собой заанкерованные металлические выступы в ригелях опоры и соответственно круглые или овальные гнезда в балке. Круглые гнезда делались в местах неподвижных креплений, овальные — в местах подвижных креплений. Между ригелем опоры и балкой укладывалась прокладка из специальной резины. Кроме того, на кривых участках в местах подвижных креплений предусматривались дополнительные зажимные устройства против опрокидывания.

Устройства подвижных креплений в подвесных монорельсовых дорогах довольно трудоемки. Для железобетонной балки подвесной дороги не найдено удачной конструкции подвижных креплений как в отечественных, так и в зарубежных проектах.

В проектах подвесных дорог из железобетонных конструкций, выполненных Промтрансниипроектom и Метрогипротрансом, в местах подвижных креплений применялись сложные устройства, основанные на принципе опирания балок, а не на принципе подвешивания их к опорам.

В местах образования температурных зазоров для избежания ударов под дорожки качения тяговых и направляющих колес устанавливаются металлические гребенчатые соединения.

У некоторых построенных дорог на балку уложены металлические или деревянные дорожки качения, чтобы предотвратить образование выбоин в железобетоне под тяговыми колесами. Специальных дорожек качения для направляющих колес не делается, они обычно катятся непосредственно по железобетону.

Опоры и фундаменты эстакад монорельсовых дорог принципиально ничем не отличаются от опор и фундаментов железнодорожных мостов и эстакад.

Опоры всех построенных навесных дорог изготовлены из железобетона прямоугольного сечения с размерами стенки внизу 1,0—1,2 м. Опоры двухпутных дорог прямоугольного сечения имеют больший момент сопротивления кручению, возникающему от тормозных нагузков.

Металлические опоры однопутных подвесных дорог делаются сварными прямоугольными с сечением $0,8 \times 0,8$ м или цельнометаллическими круглыми диаметром 0,8 м. В проектах монорельсовых дорог находят также применение опоры из центрифугированных стоек-оболочек с преднапряженным железобетоном диаметром 1,0—1,3 м, однако такие опоры пока еще не построены.

Типовая опора для двухпутной линии английской монорельсовой дороги имеет Т-образную форму (рис. 79). Были разработаны также опоры в виде портала и консоли (укосины) для однопутной линии. Типовая опора имеет квадратное сечение со стороной 1,52 м

и изготавливается из армированного бетона. При необходимости в соответствии с местными условиями и месторасположением опоры ей может быть придано прямоугольное сечение эквивалентной прочности. Фундаменты допускаются применять любого типа: из монолитного бетона, сборные или в виде свай. Типовая Т-образная опора двухпутной дороги имеет общую высоту над поверхностью 11,584 м и обеспечивает зазор между низом вагонов и по-

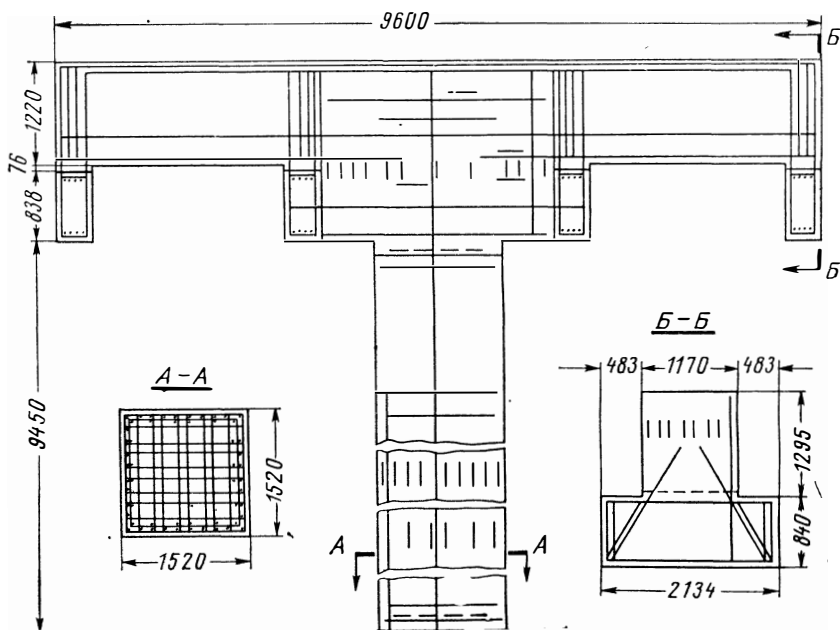


Рис. 79. Устройство Т-образной опоры

верхностью земли 5,03 м. Ширина верхней поперечной балки равна 9,6 м.

Разработанный метод закрепления ходовой балки на поперечных балках опоры предусматривает изготовление на концах балок специальных поперечин из двух швеллеров, соединенных с арматурой балки и армированных бетоном (см. рис. 78). При монтаже балки на опорах эти поперечины устанавливаются на специальные приливы поперечных балок опор, причем в местах опирания размещаются резиновые прокладки (рис. 80).

Хотя нормальный шаг опорных колонн равен 31,7 м, практически могут быть изготовлены и перевезены без каких-либо затруднений ходовые балки значительно большей длины. Для криволинейных участков спроектированы ходовые балки длиной 15,24 и 22,86 м.

Фундаменты эстакад монорельсовых дорог, так же как и для мостов, в зависимости от грунтовых условий делаются монолитными (рис. 81, а), столбчатыми (рис. 81, б) в виде свай-оболочек или высоких свайных ростверков (рис. 81, в) и кессонные. Кессонные фундаменты построены для навесной монорельсовой дороги Токио — Ханеда в районе прохождения ее по морскому заливу.

Монорельсовые дороги могут прокладываться над улицами и домами городов, по земле, над водой, под водой и под землей. Характерной в этом отношении является двухпутная навесная монорельсовая дорога в Токио протяжением 14 км, которая проходит над улицами и домами, по морскому заливу, под водой и под землей.

Как отмечалось выше, эстакада монорельсовых дорог конструктивно отличается от автодорожных эстакад и железнодорожных мостов только в части конструкции путевых балок и опорных частей; все остальные элементы конструкции эстакады выполняются аналогично мостовым.

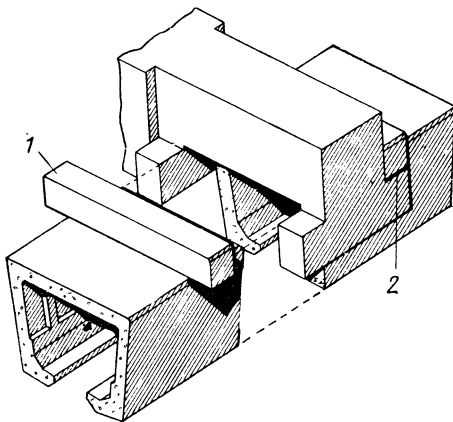


Рис. 80. Способ крепления секций ходовой балки к опорной стойке:

1 — поперечный швеллер, армированный бетоном; 2 — монтажная резиновая прокладка

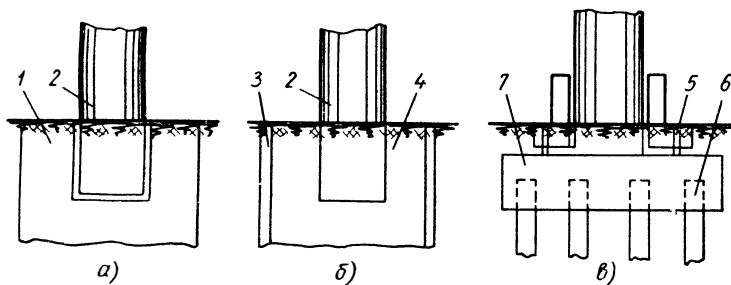
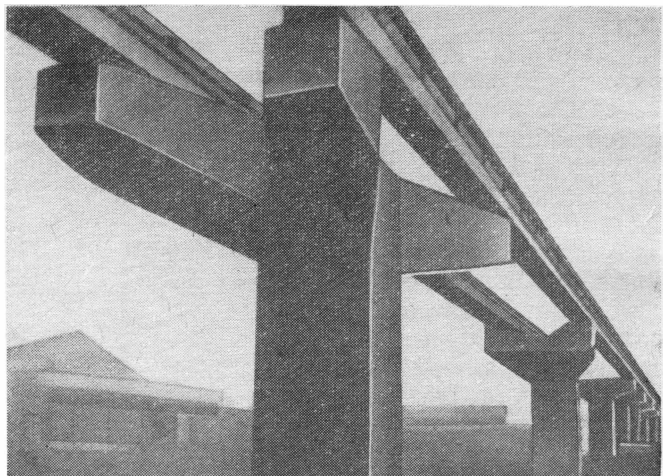


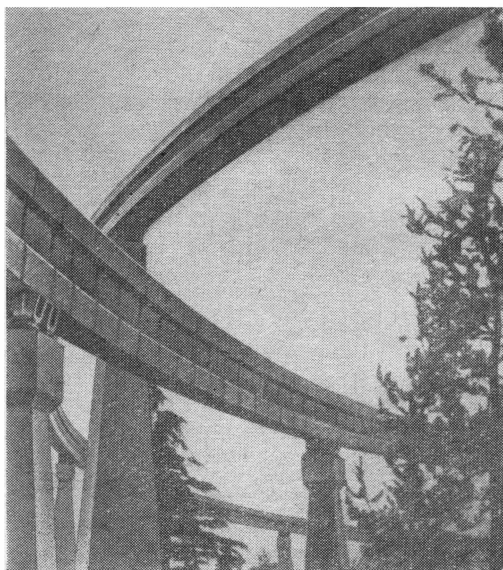
Рис. 81. Схемы фундаментов:

1 — монолитный бетон; 2 — опора; 3 — железобетонная оболочка; 4 — бетон-заполнитель; 5 — анкер; 6 — свая; 7 — ростверк

Основные размеры эстакад монорельсовых дорог различных систем приведены на рис. 72. Для увеличения длины пролетов в некоторых случаях требуется установка опор не только с поперечными консолями, но и с продольными (при пересечении улиц, каналов, судоходных рек и пр.). Несколько таких опор установлено на монорельсовой дороге Токио—Ханеда (рис. 82).



**Рис. 82. Опора с поперечными и продольными консолями моно-
рельсовой дороги в Токио (Япония)**



**Рис. 83. Пересечение монорельсовых дорог с кри-
волинейными балками (США)**

Наиболее сложной конструкцией отличается путь, построенный в США при пересечении монорельсовых дорог, где путевые балки имеют криволинейное очертание как в горизонтальной, так и в вертикальной плоскостях (рис. 83).

ИСКУССТВЕННЫЕ СООРУЖЕНИЯ

К искусственным сооружениям в монорельсовых дорогах относятся мостовые переходы (путепроводы) и тоннели. При пересечении препятствий в качестве мостовых переходов используется эстакада дороги с балками увеличенных пролетов. Незначительно увеличенные пролеты можно перекрывать и с применением балок эстакады стандартной длины, делая опоры эстакады с консолями, вынесенными вдоль оси пути. Для двухпутной навесной монорельсовой дороги в Токио путем устройства опор с X-образными консолями в плане (см. рис. 82) перекрывались пролеты длиной 40 м при сохранении пролетов балок эстакады 20 м. Для перекрытия больших пролетов применяют арочные и висячие мостовые конструкции. Примером арочной конструкции моста для двухпутной подвесной монорельсовой дороги может служить металлический мост в Вуппертале (ФРГ), изображенный на рис. 84. Арочный железобетонный мост с пролетом 90 м построен для однопутной навесной монорельсовой дороги в Йомури (Япония).

Наибольший интерес представляют гибкие висячие конструкции мостовых переходов, разработанные для подвесных монорельсо-

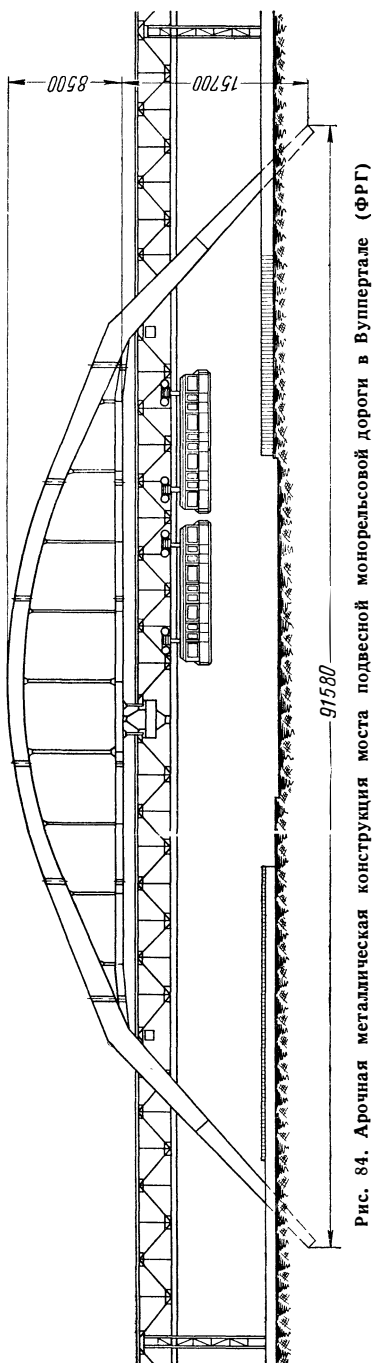


Рис. 84. Арочная металлическая конструкция моста подвесной монорельсовой дороги в Вуппертале (ФРГ)

вых дорог в различных странах. С помощью специальных устройств (наклонные подвески, подпружинные канаты и др.) удалось, во-первых, значительно уменьшить деформации висячих систем при полной и половинной подвижных нагрузках и, во-вторых, уменьшить опасность разрушения моста от собственных колебаний конструкции, возникающих вследствие действия ветра. На рис. 85, а показана схема висячего моста, запроектированная в 1953—1954 гг. для Камчатской подвесной монорельсовой дороги. Она отличается от обычной схемы висячих мостов (рис. 85, д) наличием подпружинных канатов и наклонным расположением подвесок балки, что уменьшило вертикальные деформации моста при загрузке части пролета подвижной нагрузкой и создало достаточную поперечную жесткость, препятствующую поперечным колебаниям его при боковом ветре. На рис. 85, б изображена схема висячего моста, предложенная в 1963 г. проф. Тесаром в ЧССР. На рис. 85, в показан мост, выполненный по схеме, разработанной институтом Проектстальконструкция, а на рис. 85, г — французский проект моста для трубопроводов и подвесных монорельсовых дорог.

Расчет балочных, арочных и висячих мостов с разрезной и неразрезной балками производится методами, освещенными в литературе по проектированию и расчету мостов. Расчет гибкого висячего моста с наклонными подвесками и подпружинными канатами в обычной литературе не освещен и при проектировании представляет собой ряд трудностей. Ввиду больших деформаций гибких висячих мостов в данном случае неприменимо основное положение статики — принцип независимости действия сил. Расчетная схема моста достаточно сложна, и возникает необходимость применения гиперболических функций и т. п. Системы с подпружинными канатами и наклонными подвесками можно рассчитывать по методу, предложенному для висячих автодорожных мостов Н. Н. Стрелецким.

Расход материалов на сооружение цельнометаллических висячих мостов для подвесных монорельсовых дорог по данным института Проектстальконструкция и других проектных организаций составляет:

Пролет моста в м	50	100	300	600	1000
Расход стали на 1 м моста в кг	285 *	456 *	800	1000	1400

В тоннелях монорельсовые дороги прокладывают в тех случаях, когда в условиях плотной городской застройки надземная прокладка трассы исключается или когда станцию монорельсовой дороги проектируют совмещенной со станцией подземного метрополитена. В качестве первого примера может служить проект дороги в Париже к аэродрому Орли, где подход монорельсовой

* Для однопутной дороги со стальным рельсом весом 30 кг/м при интенсивности подвижной нагрузки 1,5 т.

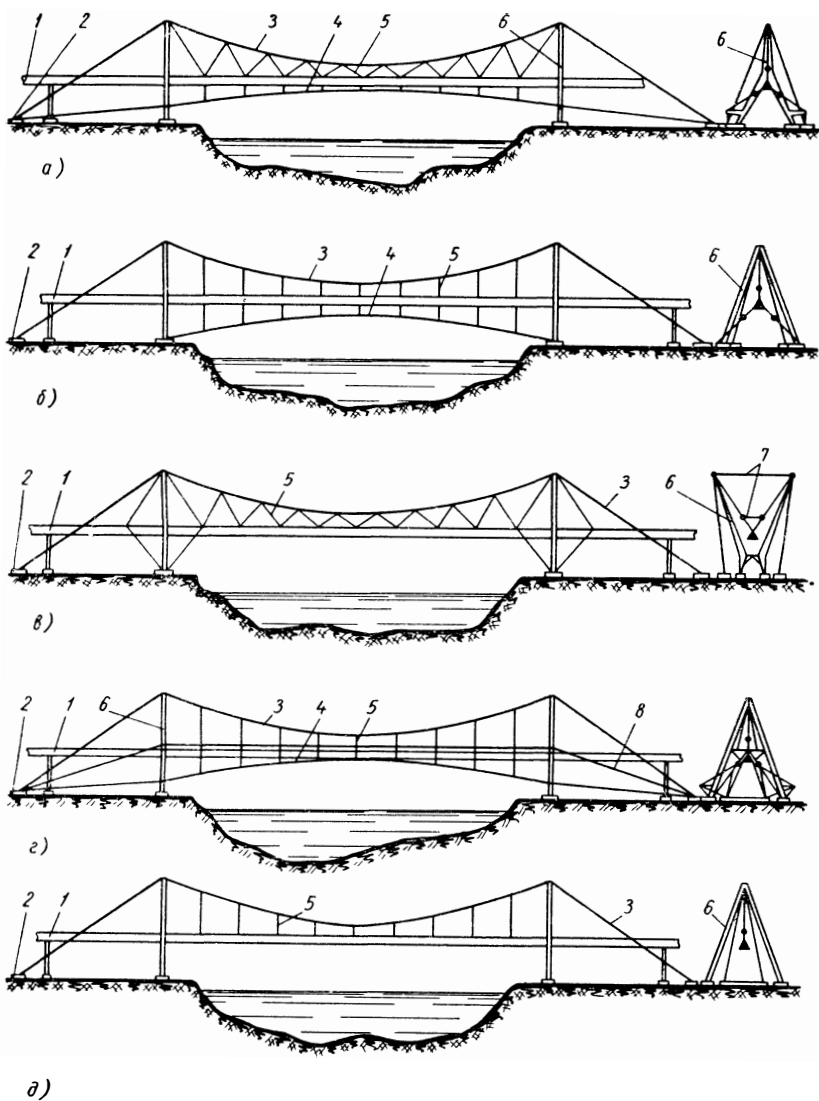


Рис. 85. Основные схемы висячих мостов для монорельсовых дорог:

a — схема моста для Камчатской дороги (СССР); *б* — схема моста проф. Тесара (ЧССР); *в* — схема подвешенного моста; *г* — схема моста (французский проект); *д* — обычная схема висячего моста; 1 — балка; 2 — анкер; 3 — несущие канаты; 4 — подпружные канаты; 5 — подвеска; 6 — пилон; 7 — связные канаты; 8 — выравнивающие канаты

подвесной дороги к площади Италии запроектирован подземным. Подземные участки монорельсовой навесной дороги под руслом реки и на подходах к аэродрому Ханеда имеются в Токио.

На рис. 86 показаны поперечные сечения тоннелей для двухпутных подвесных (рис. 86, *г*) и навесных (рис. 86, *в*) монорельсо-

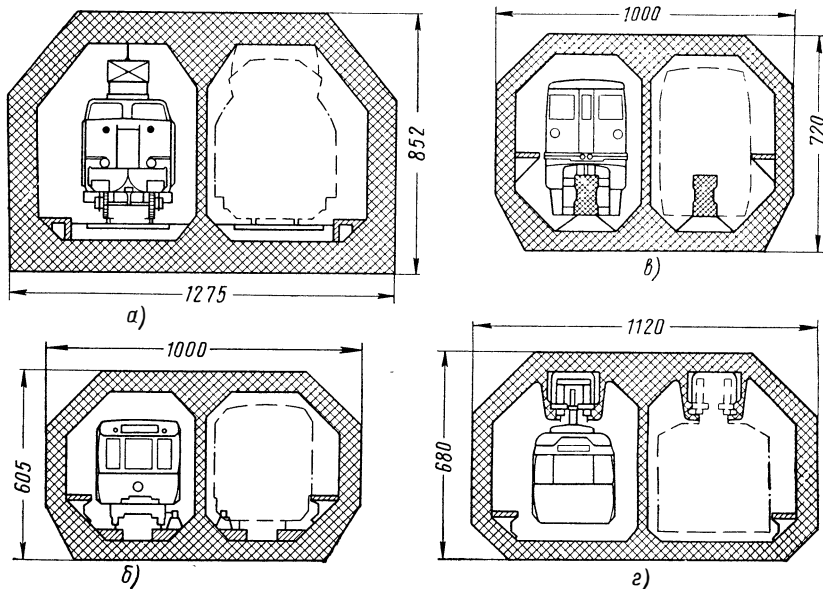


Рис. 86. Поперечные сечения двухпутных тоннелей для различных видов городского транспорта (размеры в сантиметрах)

вых дорог и для сравнения приведены тоннели метрополитена (рис. 86, *б*) и подземной электрифицированной железной дороги (рис. 86, *а*).

РАСХОД МАТЕРИАЛОВ И СТОИМОСТЬ СТРОИТЕЛЬСТВА ЭСТАКАД РАЗЛИЧНЫХ СИСТЕМ

Институтом Промтрансниипроект в проектах монорельсовых дорог для Магнитогорска, Миасса, Нижнего Тагила, Алма-Аты и др. было разработано несколько конструкций эстакад для монорельсовых дорог, а именно навесная железобетонная дорога, подвесная дорога с открытой железобетонной двутавровой балкой, подвесная дорога с закрытой металлической, металло-железобетонной и железобетонной балками коробчатого сечения.

В табл. 14 приведены стоимость строительства и расходы материалов на 1 м двухпутной эстакады для прямых участков пути. Стоимость строительства определена по данным сметно-финансо-

вых расчетов в соответствии с действующими расценками для строительства железнодорожных и автодорожных мостов и эстакад.

Расход материалов и стоимость определены для эстакад со столбчатыми центрифугированными стойками опор и фундаментов.

Стоимость изготовления и монтажа 1 м³ предварительно напряженных железобетонных конструкций с учетом транспортировки составляет 200—240 руб., 1 м³ сборных железобетонных конструкций 120—150 руб., 1 т металлоконструкций и металлических опорных частей 290—400 руб. и 1 м³ бетона-заполнителя 19—

Т а б л и ц а 14

Расход материалов и стоимость строительства двухпутной эстакады для монорельсовых дорог различных систем

Показатели	Навесная дорога с железобетонной балкой	Подвесная дорога с открытой двутавровой железобетонной балкой	Подвесная дорога с закрытой балкой		
			металлической	металло-железобетонной	железобетонной
Длина пролета в м	20	30	30	30	30
Вес пролетного строения в т	38	72	24	75	80
Расход материалов на 1 м двухпутной эстакады:					
пролетные строения из предварительно напряженного железобетона в м ³	1,52	1,90	—	1,76	2,16
стойки фундамента из предварительно напряженного железобетона в м ³	0,25	0,27	0,20	0,27	0,30
стойки опор из предварительно напряженного железобетона в м ³	0,08	0,17	0,17	0,17	0,17
металлоконструкции для пролетных строений в т	—	—	1,6	0,6	—
ригели опор из сборного железобетона в м ³	0,40	0,50	0,50	0,50	0,50
металлические опорные части в т	0,03	0,10	0,10	0,10	0,10
бетон-заполнитель оболочек стоек и фундамента в м ³	1,5	1,9	1,9	1,9	1,9
Всего предварительно напряженного железобетона на 1 м в м ³	1,85	2,34	0,37	0,44	2,63
То же, сборного железобетона в м ³	0,40	0,50	0,50	2,26	0,50
То же, металлоконструкций в т	0,03	0,10	1,70	0,70	0,10
Стоимость изготовления и монтажа 1 м пролетных строений в руб.:	334	418	480	496	457
стоек фундаментов	60	65	48	65	72
стоек опор	19	39	39	39	39
ригелей опор	52	65	65	65	65
опорных частей	12	21	30	30	30
бетона-заполнителя	30	38	38	38	38
Стоимость 1 км двухпутной эстакады в тыс. руб.	507	646	700	733	721

20 руб. Количество арматуры в зависимости от длины пролета, элемента конструкции, марки бетона и типа эстакады составляет 150—480 кг на 1 м³ железобетона. Наибольшее количество арматуры требуется для стоек оболочек опор и пролетных строений подвесных систем из железобетона при длине пролета 30 м.

В металло-железобетонной балке для подвесной дороги французской системы был применен не предварительно напряженный железобетон, а сборный, так как наиболее подверженная растяжению нижняя часть балки была запроектирована из металла. Для балок, ригелей, стоек опор и стоек фундаментов был предусмотрен бетон марки 500, для заполнения оболочек — бетон марки 150.

Наименьшие строительные затраты характерны для эстакады навесной дороги из железобетона. Кроме того, конструкция балок и опорных частей эстакады навесной дороги значительно проще, чем у подвесных дорог.

Большим недостатком подвесных дорог является практическая невозможность выполнения конструкции эстакады на кривых участках пути из железобетона вследствие больших конструктивных трудностей. Применение железобетона для балок подвесной дороги на прямых участках также требует еще экспериментальных исследований. Все построенные в США, Японии и Франции подвесные дороги как на прямых, так и на кривых участках пути изготовлены из металла.

Для изготовления эстакад навесных дорог (как на прямых, так и на кривых участках), построенных в последние годы в ФРГ, Италии, США и Японии, применен железобетон.

СТРЕЛОЧНЫЕ ПЕРЕВОДЫ

Наиболее сложным в монорельсовых дорогах является устройство стрелочных переводов для перемещения подвижного состава с одного пути на другой.

Следует, однако, отметить, что монорельсовые дороги позволяют располагать пути один под другим и избегать остроугольных пересечений, двойных стрелочных переводов и других устройств обычного железнодорожного пути.

На монорельсовой дороге с обращением подвижного состава между двумя конечными станциями стрелки требуются только на концах трассы и в ремонтной базе.

Стрелочные переводы навесных дорог, а также подвесных дорог с открытой двутавровой балкой возможны двух систем: жесткие (передвижные) переводы с параллельным перемещением балок и гибкие (остряковые) переводы (рис. 87).

Жесткий перевод образуется из двух путевых балок, укладываемых на поперечные балки, по которым путевые балки перемещаются перпендикулярно пути в горизонтальном направлении на тележках. Гибкие переводы изготавливаются из специального

металла, работающего в пределах упругих деформаций, и действуют как острия железнодорожных стрелочных переводов.

На построенных в последнее время навесных монорельсовых дорогах применены гибкие переводы (рис. 88). Такой стрелочный

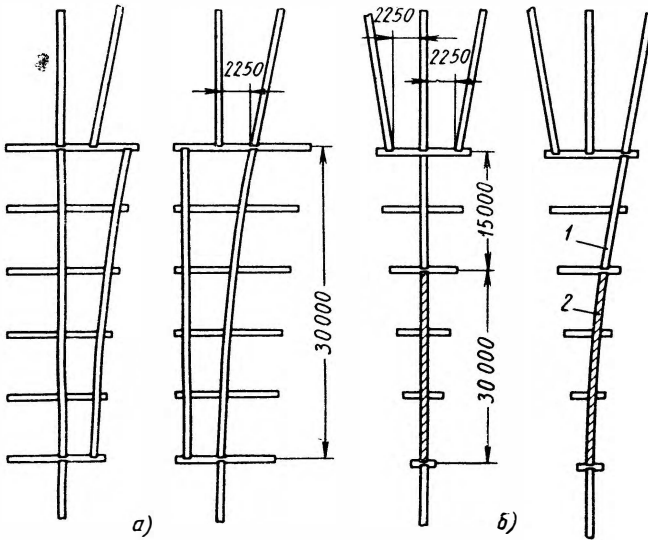


Рис. 87. Схема стрелочных переводов навесной дороги:
 а — жесткий (передвижной) перевод; б — гибкий (остраковый) перевод; 1 — жесткий элемент; 2 — гибкий элемент

перевод состоит из примыкающего к пути отклоняющего гибкого элемента и тангенциально расположенного жесткого элемента.

Отклоняющий гибкий элемент имеет такую длину, при которой в конце стрелочного перевода, при допустимом радиусе кривой, просвет составит больше половины ширины подвижного состава. Длина расположенного в конце перевода жесткого элемента должна быть равна половине длины гибкого элемента.

Применяя один и тот же гибкий элемент при постоянном минимальном радиусе кривой, можно увеличивать просвет в конце перевода путем изменения расположения жестких элементов и перемещать состав на два, три

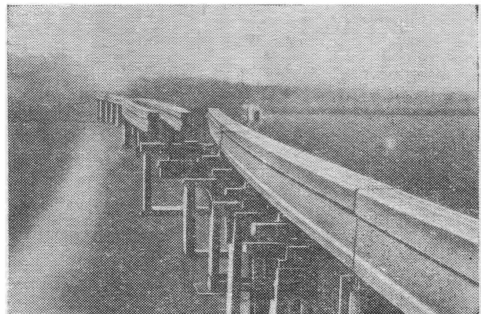


Рис. 88. Стрелочный перевод навесной монорельсовой дороги системы Алвег в ФРГ

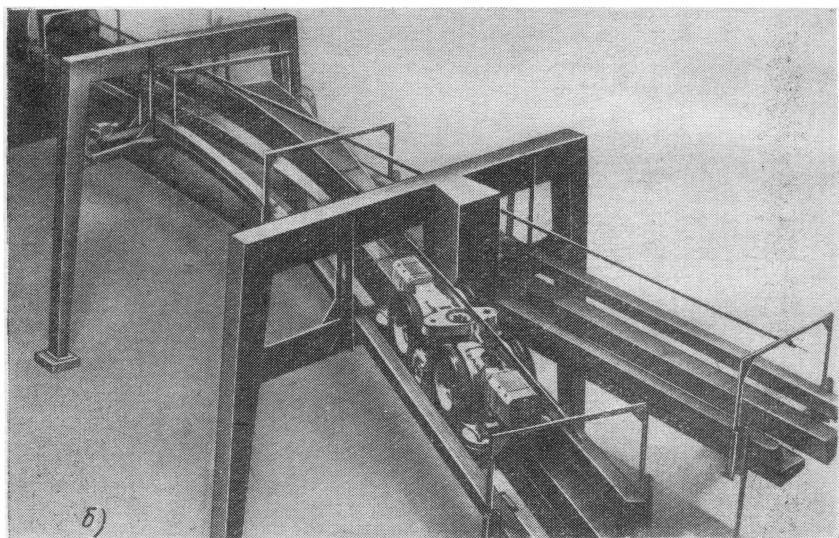
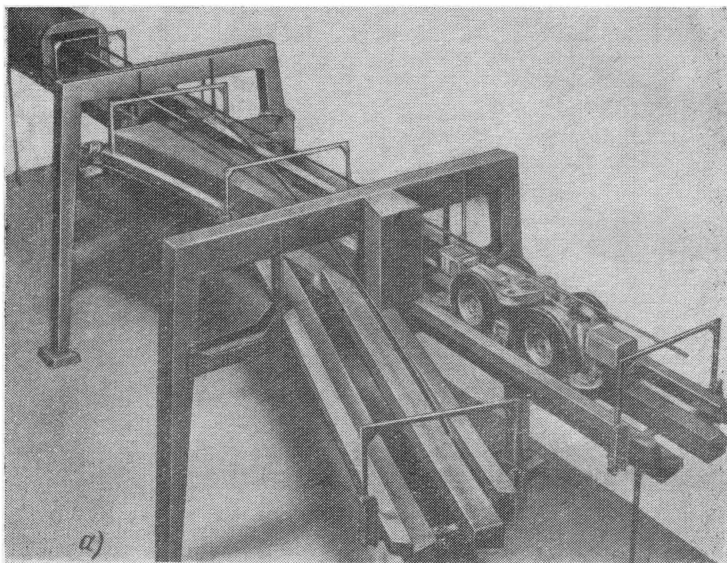


Рис. 89. Макет стрелочного перевода подвесной дороги системы САФЕЖЕ:
а — движение вагона по прямому пути; *б* — движение вагона по боковому пути

и более направлений, что важно при следовании состава на тот или другой деповский путь.

В навесных дорогах ФРГ, Италии и Японии гибкий элемент изготовлен из специального алюминиевого сплава длиной 30 м при радиусе кривой 400 м.

При помощи червячной передачи гибкий элемент изгибается, оставаясь неподвижным со стороны прямолинейного участка. Отклонение может производиться в обе стороны на 2,25 м, что вполне достаточно для пропуска вагона. Время, необходимое для перевода стрелки, равно 4—5 сек.

В подвесных дорогах с открытой двутавровой балкой гибкие стрелочные переводы не опираются на поперечные балки, а подвешиваются к ним.

Для подвесной дороги с закрытой балкой разработан перевод, который был установлен на опытном участке во Франции (рис. 89). Этот стрелочный перевод состоит из центрального элемента, в который входят: острие стрелки, плоскость качения ведущих колес и плоскость качения направляющих колес и боковых элементов.

Центральный элемент перемещается в три этапа: подъем с помощью гидравлических домкратов, вращение на опорных и ведущих роликах и опускание и фиксация конечного положения.

Перемещение производится с помощью специального оборудования, установленного на центральном элементе.

Это оборудование состоит из:

1) гидравлического подъемно-опускного устройства, в которое входят масляный насос и три гидравлических домкрата; один из домкратов расположен на оси вращения элементов, а два других — на их концах;

2) механизма, установленного на подвижной каретке в горизонтальной плоскости и приводящего в движение два ряда валков, перемещающихся по поверхности качения;

3) гидравлического амортизатора, который срабатывает в конце каждой операции;

4) предохранительных электромагнитных защелок, которые фиксируют стрелку в крайних положениях;

5) конечных выключателей, позволяющих контролировать положение подвижных элементов и их предохранительных защелок.

Направляющие боковые элементы стрелочного перевода соединены жесткой связью, которая обеспечивает одновременность их перемещения. Перемещение стрелки осуществляется в три этапа: разблокировка, перемещение и блокировка. Продолжительность перевода стрелки 5 сек. Все элементы этого перевода представляют собой сварные металлоконструкции.

Разработанный фирмой Тэйлор Вудроу (Англия) для подвесных монорельсовых дорог стрелочный перевод (рис. 90) имеет неподвижные наружные боковые стенки балок и перемещающуюся среднюю часть обеих балок, на которой размещена внутренняя

ходовая дорожка. Поворот средней части осуществляется так же, как поворот стрелок обычного железнодорожного пути. Стрелочный перевод имеет электрический привод и ручной привод в качестве аварийного механизма. Поворачивающаяся часть изготовляется из стали.

На опытном участке монорельсовой дороги в Питтсбурге построена передаточная платформа (передающая за один ход только один вагон) и стрелка. Платформа управляется счетно-решающим

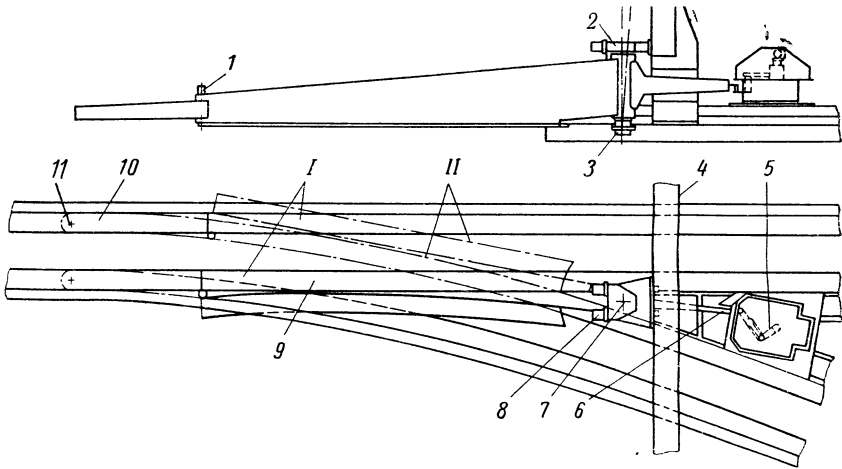


Рис. 90. Стрелочный перевод:

I — положение подвижной части балки при движении поезда по прямой; *II* — положение подвижной части балки при переводе поезда на боковой путь; 1 — вертикальная ось; 2 — вал сферического подпятника; 3 — сферический подпятник; 4 — опорная конструкция; 5 — механизм управления; 6 — рабочий рычаг; 7 — шкворень; 8 — пружинный механизм; 9 — подвижная часть балки; 10 — перо подвижной части балки; 11 — шкворень пера

устройством и приводится в движение механизмом с электродвигателями. Общее время передачи вагона примерно 20 сек, поэтому при двухминутном интервале движения не наблюдается задержек поездов вследствие операций передачи вагонов. Передаточная платформа может быть построена для одновременной транспортировки двух и более вагонов.

Разработанная конструкция стрелки (рис. 91) сравнительно проста и стоимость изготовления ее невысока. Использование этой стрелки является предпочтительным по сравнению с передаточной платформой.

На монорельсовой дороге в Токио установлено пять стрелочных переводов: три перед въездом в депо и по одному перед тоннелем и конечной станцией. Стрелочные переводы выполнены гибкими и имеют сварную стальную конструкцию. Эластичная стрелка длиной 45 м осуществляет перевод за 10 сек и допускает максимальную скорость движения 40 км/ч.

Перед въездом на городскую станцию Хамамачу—Хо установлен стрелочный перевод, оборудованный четырехзвеньевой полигонной стрелкой длиной 33 м, осуществляющей перевод за 10 сек и допускающей скорость движения поездов 20 км/ч. На территории депо оборудована двухзвеньевая полигонная стрелка, обслуживающая три пути и допускающая движение со скоростью 16 км/ч. На линии используется централизованная система управления стрелочными переводами, принятая на токийском метрополитене и на скоростной железнодорожной линии Токайдо. Эта система обеспечивает также соблюдение дистанции между поездами. Кроме того, линия оборудована также центральной диспетчерской системой контроля со специальными токопроводами вместо рельсов, используемых на железнодорожном транспорте.

ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ЭСТАКАД

Для обеспечения строительства дороги необходимыми металлическими или железобетонными конструкциями должен быть организован полигон по их изготовлению. Наиболее целесообразно устройство полигона в одном из конечных участков дороги.

Изготовление предварительно напряженных железобетонных конструкций опор и балок может быть также организовано на железобетонных заводах, изготавливающих аналогичные конструкции для железнодорожных и автодорожных мостов, при соответствующем переоборудовании имеющихся на заводе стендов.

Изготовление предварительно напряженных пролетных строений — наиболее ответственный и трудный этап строительства — должно производиться в специальных металлических опалубках, позволяющих делать балки как для прямых, так и для кривых участков пути. На всех построенных за рубежом навесных монорельсовых дорогах из-за жестких допусков деревянные опалубки не устраивались, а бетонирование и армирование их осуществлялись в специально изготовленных металлических опалубках

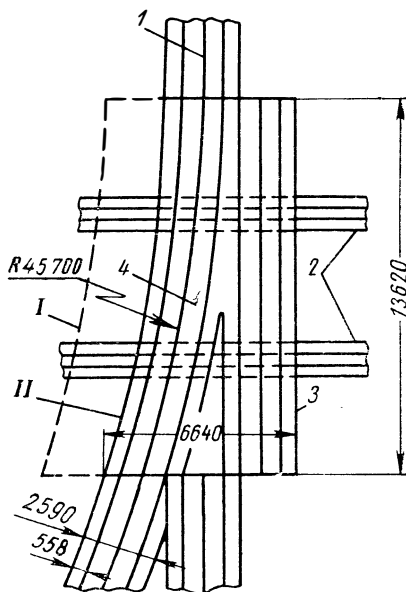


Рис. 91. Передвижная стрелка монорельсовой дороги в Питтсбурге:

I — положение стрелки при движении по прямому пути; *II* — то же, при отводе на боковой путь; *1* — направляющая балка; *2* — ходовые балки перемещения стрелки; *3* — прямолинейный направляющий брус стрелки; *4* — криволинейный направляющий брус стрелки

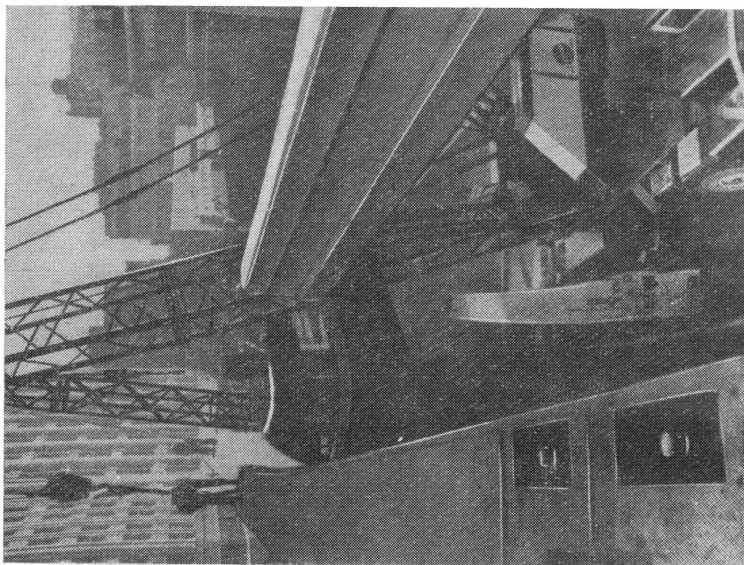


Рис. 93. Монтаж с помощью кранов эстакады моно-рельсовой дороги в Сиэтле

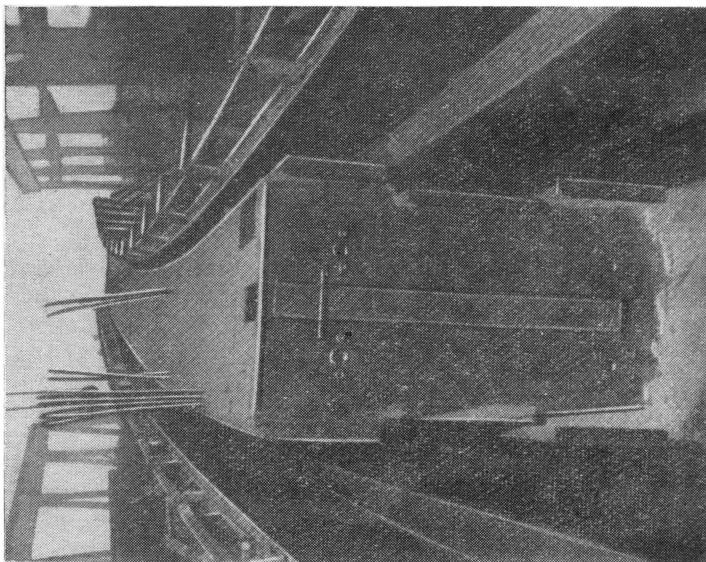


Рис. 92. Выемка готовой балки из опалубки

с системой поперечных домкратов, позволяющих придавать стенкам балки любую кривизну. При длине балки 20 м и поперечном сечении $0,8 \times 1,4$ м допуск в продольном направлении составляет 0,4—0,5 см, а в поперечном 0,15—0,25 см.

На рис. 92 показана металлическая опалубка для изготовления балок навесной монорельсовой дороги (США). В такой опалубке можно изготавливать балки любой кривизны.



Рис. 94. Монтаж с помощью кранов эстакады монорельсовой дороги в Нью-Йорке

Установка опор и балок, изготовленных на строительном дворе, осуществляется кранами (рис. 93 и 94), а для перевозки балок используются автотележки и тягачи.

В отношении строительства железобетонной эстакады определенные преимущества имеет навесная дорога. Эстакада такой дороги по сравнению с железобетонными эстакадами подвесных дорог значительно проще и дешевле. Кроме того, устройство железобетонной эстакады подвесных монорельсовых дорог на кривых участках очень сложно из-за необходимости наличия двойных стенок, обеспечивающих достаточное сопротивление крутящим моментам.

В настоящее время эстакады всех построенных навесных дорог выполнены из железобетона, а эстакады подвесных дорог — из металла.

Для рекомендации того или иного типа дорог, кроме преимуществ в части строительства эстакады, следует также учитывать конструкцию подвижного состава.

Поскольку эстакада является наиболее сложным и дорогостоящим элементом во всем комплексе сооружений монорельсовой дороги, указанные выше преимущества навесных дорог во многих случаях могут оказаться решающими. С 1961 г. были построены шесть металлических подвесных дорог в США, Японии и Франции протяжением 0,5—2,0 км. Железобетонных навесных дорог за этот период было построено семь (в США, Италии и Японии) протяжением 2—14 км.

СТАНЦИИ И ОСНОВНЫЕ УСТРОЙСТВА МОНОРЕЛЬСОВЫХ ДОРОГ

СТАНЦИИ

Станции монорельсовых дорог принципиально ничем не отличаются от станций наземных линий метрополитена и пригородных электрифицированных железных дорог.

Как правило, в населенных пунктах платформы должны располагаться на высоте 6—7 м с тем, чтобы на подходах к ним расстояние от низа вагона до проезжей части улиц составляло не менее 4,5—5 м для пропуска наземного транспорта. На станциях должны быть предусмотрены удобные подходы к ним для пассажиров. Платформы могут быть крытыми и полуоткрытыми, так же как и платформы пригородных железных дорог.

Для подъема и спуска пассажиров устраиваются обычные или эскалаторные лестницы. Количество и расположение переходов, лестничных маршей и эскалаторов определяются в зависимости от пассажиропотоков по нормативам, устанавливаемым на основе испытаний и обследований, осуществляемых на метрополитенах.

Устройства для взимания платы за проезд располагают, в зависимости от местных условий, при входе на платформу или внизу на поверхности земли.

Эскалаторные лестницы целесообразно устраивать только на станциях с большими пассажиропотоками (рис. 95). Как правило, можно ограничиться обычными, но достаточно широкими лестницами, так как высота подъема и спуска не превышает высоты пешеходных мостов на пригородных платформах и высоты подъема со станций метрополитена мелкого заложения. Наиболее удобны платформы островного типа длиной на 4—8 м больше длины полного состава (из-за неточности остановки). Ширина платформ устанавливается с учетом размеров подлежащих освоению пассажиропотоков, интервала движения поездов, времени стоянки поездов и расположения входов и выходов.

В условиях городской застройки возможно устройство платформ как на улицах, так и внутри застроенных кварталов (рис. 96, а), в зависимости от условий застройки и организации подходов пассажиров. При необходимости монорельсовая дорога может проходить и через существующие здания (рис. 96, б), причем в соседних с проемом квартирах может даже не ощущаться движение поездов.

Административные здания и помещения для аппаратуры контроля и управления движением поездов размещают обычно в блоке со станциями или ремонтными базами.

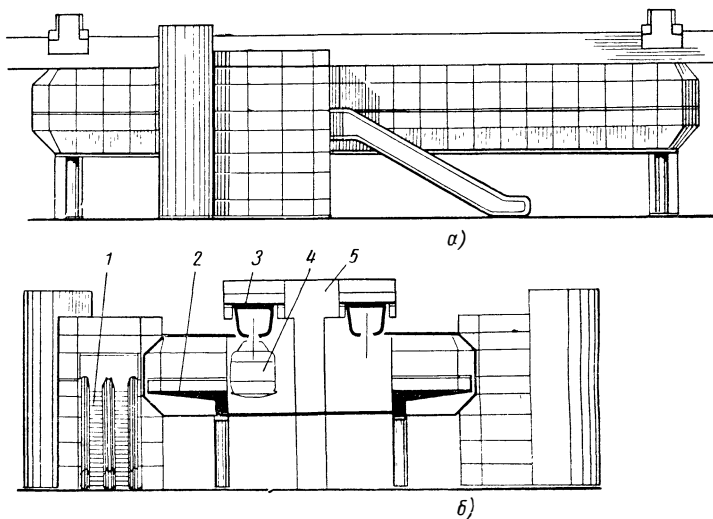


Рис. 95. Схема типовой станции двухпутной подвесной монорельсовой дороги со значительными пассажиропотоками:

а — вид сбоку; *б* — разрез; 1 — эскалатор; 2 — платформа; 3 — ходовая балка монорельсовой дороги 4 — вагон; 5 — опора ходовой балки

На пригородных линиях платформы можно располагать на высоте 1—2 м от уровня земли, оградив подходы к ним от перпендикулярных потоков транспорта и пассажиров.

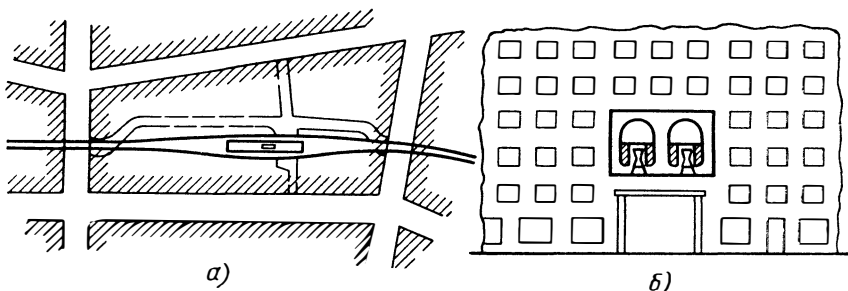


Рис. 96. Схема прокладки дороги Алвег по застроенным кварталам

В случае прокладки монорельсовой дороги в пределах станций в виде одной двухпутной эстакады платформы должны устраиваться с двух сторон для право- и левостороннего движения. При островных платформах двухпутная эстакада на подходах переходит в две однопутные.

На улицах городов наиболее целесообразно устраивать высотные платформы в пределах разделительной зеленой полосы, предусматривая подземные переходы под проезжими частями улиц для подходов и выходов пассажиров. Крайне важным при расположении станций является обеспечение для пассажиров быстрой и удобной пересадки на другие виды транспорта.

Как правило, станции должны иметь одну платформу как для посадки, так и для высадки пассажиров (аналогично станциям метрополитена и пригородных железных дорог). Однако в некото-

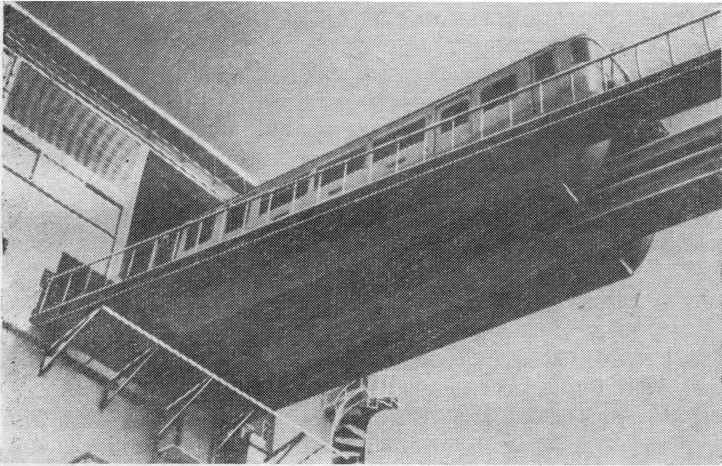


Рис. 97. Станция монорельсовой дороги в Токио

рых случаях, особенно на станциях пересадки или конечных станциях с большими потоками пассажиров, могут устраиваться отдельные платформы для посадки и высадки пассажиров.

На конечной станции монорельсовой дороги Токио—Ханеда сооружена станция с отдельными платформами для посадки и высадки (рис. 97). На промежуточных станциях устройство отдельных платформ нецелесообразно, так как это вызовет значительное увеличение площади для станции и удорожание строительных работ.

Станции метрополитена, имеющие большие чем на монорельсовых дорогах объемы перевозок, обеспечивают посадку и высадку пассажиров на одну платформу в течение 15—20 сек. Вагоны монорельсовых дорог оборудованы широкими дверями для создания нормальных условий посадки и высадки пассажиров, в связи с чем время посадки и высадки на станциях монорельсовых дорог меньше, чем на станциях метрополитена. Между нижней поверхностью путевой балки и платформой устраиваются предохранительные сетки.

УСТРОЙСТВА СИГНАЛИЗАЦИИ, ЦЕНТРАЛИЗАЦИИ, БЛОКИРОВКИ И СВЯЗИ

Системы управления и контроля за движением поездов на монорельсовых дорогах выбираются в зависимости от эксплуатационных условий конкретной рассматриваемой дороги и экономических расчетов, выполняемых с учетом следующих основных факторов: подлежащего освоению пассажиропотока; интервала движения поездов; предполагаемого времени стоянки на станциях; характеристик подвижного состава; трассы и устройства пути; расположения станций и расстояния между ними и т. п.

Реализуемые вагонами монорельсовых дорог высокие ускорения и замедления позволяют отказаться от стационарных устройств системы блокировки и резко снижают ограничения в отношении минимального расстояния между двумя движущимися поездами.

Телефонная связь между диспетчером и машинистом каждого состава на монорельсовом транспорте может осуществляться с помощью индукционной электромагнитной системы или радиоэлектрической связи высокой частоты с регулированием длины волн. Условия безопасности движения на монорельсовом транспорте, где поезда движутся с небольшими интервалами и с высокой скоростью, требуют, чтобы устройства сигнализации и блокировки были надежными. Способ сигнализации для монорельсового транспорта в основном аналогичен полуавтоматической блокировке на обычных железных дорогах. Самый простой способ сигнализации — это установка только выходных сигналов на остановках (сигналов отправления).

В зависимости от пропускной способности дороги и расстояний между остановками перегоны могут быть разбиты на блок-участки, каждый из которых должен ограничиваться сигналами в обоих направлениях.

В том случае, если на перегонах или станциях имеются стрелочные переводы, они также должны быть ограждены сигналами.

Нахождение вагона на пути можно фиксировать, учитывая число тележек на входе и выходе блок-участка. Так как вагоны монорельсовых дорог оборудованы пневматическими шинами, а путь представляет собой железобетонную или металлическую эстакаду, то количество тележек можно подсчитать с помощью светового луча или импульса тока, вызванного излучением изотопа, имеющегося в каждой тележке, или комбинированным способом. Пересечения световых лучей или импульсов тока суммируются в обычном электромагнитном счетчике. Когда счетчики входа и выхода регистрируют одинаковое количество прошедших тележек — участок свободен. Светофоры у стрелочных переводов регулирует диспетчер, который непрерывно получает сведения по световому табло о положении на линии, занятости участков пути и положении стрелочных переводов.

В кабине машиниста сигналы светофоров дублируются с помощью системы электромагнитной индукции на трех частотах: для сигналов свободного пути, замедления и остановки. Эта система с помощью устройств контроля скорости вызывает автоматическую остановку поезда перед сигналом запрещения, предупреждения и ограничения скорости (на кривых, подходах к станции и к стрелочным переводам и т. п.), если после прохождения предупреждающего сигнала машинист не приведет в действие тормоз в течение определенного промежутка времени и поезд не остановится перед запрещающим сигналом или подойдет с увеличенной скоростью к участку с ограничением (перед кривыми).

После остановки перед сигналом запрещения система блокировки допускает возобновление движения, если сигнализация покажет, что путь свободен.

При эксплуатации вагонов на пневматических шинах специальные требования предъявляются к системе обнаружения спущенных шин. На дорогах системы САФЕЖЕ использован опыт Парижского метрополитена и применены приспособления, состоящие из двух педалей, располагаемых через определенные промежутки на внутренней стороне поверхности качения ходовой балки. Колесо со спущенной шиной, проходя над соответствующей педалью, нажимает на нее диском безопасности и подает сигнал. Подобное же приспособление применено и для направляющих колес.

К устройствам, обеспечивающим безопасность эксплуатации монорельсового транспорта, относится также поездная и диспетчерская радиосвязь, осуществляемая по проводам и по радио на ультракоротких волнах непосредственно из кабины машиниста.

Для вынужденной высадки пассажиров подвижной состав снабжается лестницами, которые находятся под полом вагона на дорогах подвесного типа, или гибкими свертываемыми лестницами для подвижного состава навесного типа.

Ниже описываются некоторые системы автоматического управления поездами, реализованные на построенных монорельсовых дорогах.

На навесной монорельсовой дороге в Нагои (Япония), построенной в 1962 г. и находящейся с тех пор в регулярной эксплуатации, применена следующая система автоматического управления поездами. Система автоматического управления регулирует скорость движения поезда на перегоне в соответствии с заданной программой и управляет торможением при подходе его к остановкам. В последнем случае исключается возможность проезда конечных пунктов линии и сход поезда с несущей балки.

При питании линии постоянным током и наличии у вагонов серийных тяговых двигателей скорость движения их регулируется переключением двигателей с тягового режима работы на выбег и тормозной режим. Данная система автоматического регулиро-

вания скорости разработана ранее для метрополитена Нагоя. Для торможения применена система, которая обуславливает нарастание тормозной силы до некоторой определенной величины, зависящей от соотношения между фактической скоростью поезда и той скоростью, которая определена заранее и задается напольной системой посредством одиночных сигналов, поступающих в вагон в виде запрограммированной «шаблонной» кривой.

Система управления торможением автоматически учитывает все разнообразие меняющихся эксплуатационных условий, обусловленное различием кривых и уклонов на конечных станциях, а также колебанием фактического диаметра колес вследствие использования резиновых шин.

Вагоны снабжены двумя независимыми системами, для которых используется в основном однотипное оборудование: системой автоматической остановки поезда (АОП), предотвращающей превышение скорости им на перегоне между станциями и обеспечивающей точную остановку его на конечных пунктах, и системой автоматического управления поездом (АУП), воздействующей на режимы работы тяговых двигателей. Таким образом, если система АОП является по существу только системой безопасности, то система АУП выполняет более сложные функции. В отличие от системы АОП она воздействует на аппаратуру управления движением поезда, посылая команды для переключения тяговых двигателей с тягового режима на выбег и режим электрического торможения. При служебном торможении наряду с электрическим тормозом может быть включен пневматический, что позволяет менять величину замедления поезда.

При автоматическом управлении поездом машинист не производит никаких манипуляций за исключением нажатия пусковой кнопки. Вручную машинист может произвести также экстренное торможение поезда на перегоне между станциями при возникновении на пути какого-либо препятствия. После экстренной остановки пуск поезда производится также вручную, а затем вновь вступает в действие система АУП.

Использование двух независимых систем исключает ложное срабатывание аппаратуры и повышает безопасность движения. Принцип действия системы АОП поясняется схемами, показанными на рис. 98 и 99.

Вся линия протяженностью 1,4 км разбита на четыре секции от T_0 до T_3 (рис. 98). Вдоль линии по кабелю постоянно передаются сигналы, позволяющие определить, какую секцию поезд уже прошел. Действие системы АОП ограничено передачей команд на включение или выключение экстренного тормоза.

Движение поездов на перегоне под контролем системы АОП осуществляется следующим образом. Фактическая скорость движения поезда постоянно автоматически сравнивается с четырьмя установленными уровнями возможных скоростей от 23 до 32 км/ч

(рис. 100), и в результате этого сравнения выдается одна из трех команд: тяга, выбег или электрическое торможение.

При пуске поезда подается команда на обеспечение режима тяги. Разгон поезда с ускорением (кривая 1, рис. 100, а) продолжается до достижения скорости 30 км/ч (точка 2), соответствующей

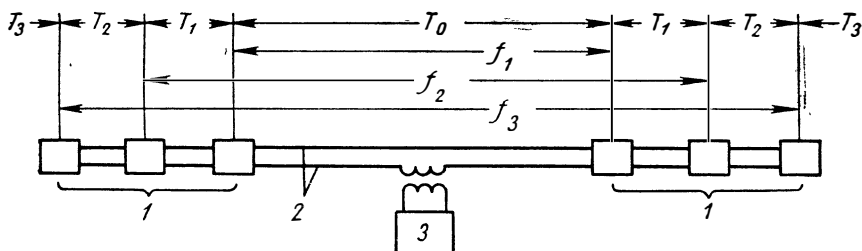


Рис. 98. Расположение оборудования системы автоматической остановки поезда вдоль трассы:

1 — линейные фильтры; 2 — индукционные кабели; 3 — трансмиттер

отключению режима тяги. После этого поезд движется на выбеге (кривая 3) и скорость уменьшается до величины, соответствующей тому уровню, при котором автоматически подается команда на включение режима тяги.

С этого момента (точка 4) поезд будет вновь разгоняться (кривая 5) до достижения в точке 6 того уровня скорости (30 км/ч), при котором происходит отключение режима тяги, и снова поезд

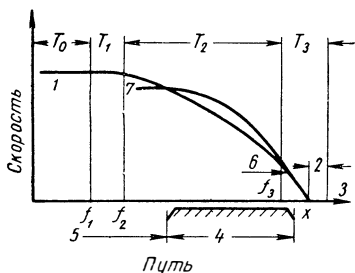


Рис. 99. Принцип действия системы автоматической остановки поезда:

1 — основная запрограммированная (шаблонная) кривая скорости; 2 — запас пути для обеспечения безопасности; 3 — конец пути; 4 — станция; 5 — перегон; 6 — подшаблонная кривая; 7 — фактическая кривая скорости движения поезда

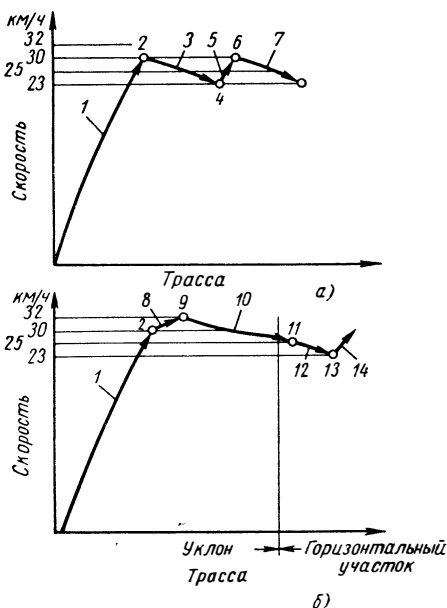


Рис. 100. Принцип автоматического регулирования скорости на перегоне между станциями:

а — на горизонтальном участке; б — на уклоне

движется в режиме выбега (кривая 7). Этот цикл повторяется многократно, и поезд следует с колебаниями скорости в пределах определенной, установленной заранее полосы от 30 до 23 км/ч.

При движении не по горизонтальному участку, а на уклоне поезд будет иметь ускорение и в режиме выбега (кривая 8, рис. 100, б). В этом случае при достижении в точке 9 уровня скорости, соответствующего включению электрического тормоза (32 км/ч), подается команда перехода на тормозной режим, и поезд продолжает движение с мало изменяющейся скоростью, определяемой соотношением между величинами уклона профиля и тормозной силы (кривая 10). Если спуск перейдет в горизонтальную площадку, скорость поезда начнет уменьшаться, и при достижении уровня, соответствующего отключению тормоза (точка 11), подается команда на выбег (кривая 12). При снижении скорости до 23 км/ч (точка 13) подается команда включения режима тяги, и скорость вновь будет увеличиваться (кривая 14).

Управление поездом в пункте остановки осуществляется с помощью системы электромагнитов (рис. 101). При приближении к платформе система управления поездом получает от напольного детектора (первый постоянный магнит 1) команду на переход к режиму выбега (линия *gh*). Основная шаблонная кривая замедления поезда, воспроизводимая системой АУП, имеет вид кривой *abc*. С того момента, когда кривая скорости поезда пересечет первую шаблонную кривую в точке *h*, замедление поезда будет поддерживаться постоянным на уровне $1,1 \text{ м/сек}^2$ вплоть до скорости 10 км/ч. За это время поезд проследует мимо второго постоянного магнита 2, и система будет воспроизводить первую подшаблонную кривую *dcef*.

Когда скорость поезда достигнет значения, соответствующего точке *i* на этой кривой, автоматически включается электрический тормоз, и далее скорость поезда контролируется второй подшаблонной кривой *klm* посредством включения и выключения пневматического тормоза с малым тормозным усилием. Когда скорость поезда уменьшится до скорости, соответствующей точке *f*, отвечающей положению третьего постоянного магнита 3, тормозное усилие возрастает, и поезд замедляет ход до полной остановки.

Постоянные магниты 1—3, гарантирующие точность остановки поезда, расположены на остановочных пунктах по-разному в зависимости от различий в профиле пути. Расстояния между постоянными магнитами выбираются на основе расчета времени хода поезда и уточняются при испытаниях. Такая система компенсирует возможные изменения скорости, которые могут вызываться отклонениями нагрузок на оси и другими изменениями тяговых параметров поезда.

Основное оборудование системы АУП видно из принципиальной компоновочной схемы (рис. 102). Тахогенератор с генерато-

ром импульсов служит для определения скорости и пройденного пути. Точечная детекторная система разработана специально для монорельсовой дороги и обеспечивает восприятие сигналов от постоянных магнитов в пунктах управления. Главный контроллер

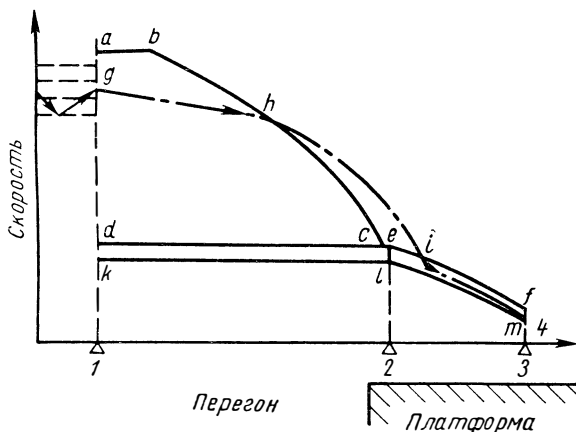


Рис. 101. Принцип автоматического управления поездом в пункте остановки:

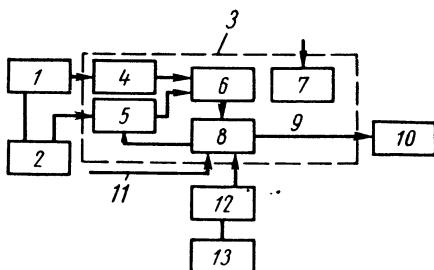
1, 2 и 3 — магниты; 4 — место остановки поезда

системы АУП посылает команды тяговому контроллеру, который в соответствии с этими командами управляет тяговыми двигателями вагона.

Главный контроллер системы АУП состоит из следующих основных элементов:

Рис. 102. Принципиальная схема компоновки оборудования системы АУП:

1 — система АОП; 2 — тахометрический генератор и импульсный генератор; 3 — главный контроллер АУП; 4 — управляющий усилитель; 5 — исполняющий генератор; 6 — блок сравнения; 7 — источник постоянного напряжения; 8 — логическая цепь; 9 — команда на управление; 10 — тяговый контроллер; 11 — команда на трогание с места; 12 — точечная детекторная система; 13 — напольные магниты



а) цепи поступающих сигналов скорости, которая выпрямляет и усиливает напряжение сигналов от тахогенератора;

б) генератора переданных сигналов скорости от напольных устройств;

в) блока сравнения, в котором сравнивается фактическая скорость движения с заданной;

г) логической релейной цепи;

д) регулятора напряжения.

Основным узлом главного контроллера является блок сравнения, в котором использован транзисторный логический элемент, применяющийся и в оборудовании системы АОП.

Определение наиболее рационального расположения постоянных магнитов производилось на основе испытания составов с порожними и загруженными вагонами. Вследствие наличия перед конечными пунктами больших подъемов (равных 97‰ и 63‰) поезда, состоящие из одной и двух секций, преодолевают их поразному, хотя управление осуществляется одним и тем же способом.

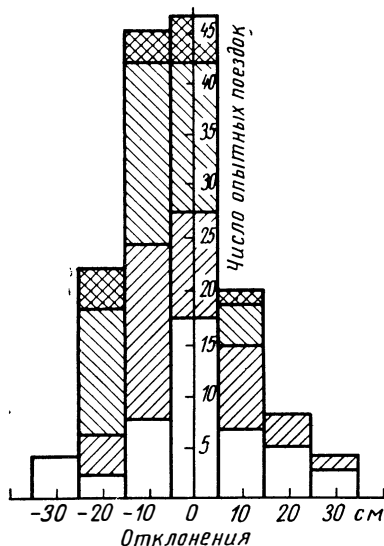


Рис. 103. Гистограмма отклонений точности остановки поездов на станции Инюама-Юен

В результате испытаний для каждого остановочного пункта были получены гистограммы отклонений от требуемого места остановки поезда (рис. 103), состоящего из одной и двух секций при различном их заполнении: при одной порожней секции (незаштрихованный столбик), при двух порожних секциях (столбик, заштрихованный с наклоном вправо), при одной загруженной секции (столбик, заштрихованный с наклоном влево) и при двух загруженных секциях (столбик, заштрихованный в крестик). Как видно из рис. 103, была достигнута высокая точность остановки поездов с отклонениями не более 30 см при любых условиях.

У навесной монорельсовой дороги в Питтсбурге система автоматического управления поездом состоит из электрических контуров и приборов, расположенных на экипаже, вдоль ходовых балок и сбоку станций. Основой системы является расположенный сбоку эстакады контроллер, который содержит счетно-решающее устройство, управляющее работой всех поездов в пределах этого участка дороги. Весь опытный участок обслуживается одним стационарным контроллером; в нормальных эксплуатационных условиях контроллеры должны располагаться примерно на расстоянии 1,6 км один от другого (обычно у станций). При выходе из строя любого контроллера функции управления движением экипажей автоматически передаются соседнему контроллеру.

На вагоне устанавливается минимум цепей, принимающих решение или последовательных, но имеются приборы, реагирующие на команды, передаваемые расположенным сбоку пути контроллером. Блочная схема (рис. 104) показывает расположенные

на вагоне генераторы колебаний 5 и 6, соединенные с антеннами 8. Эти генераторы работают непрерывно с постоянной звуковой частотой. Когда экипаж проходит вдоль рассматриваемого участка дороги, антенны 8 попеременно соединяют провода индуктивных петель, которые смонтированы в форме прямоугольной волны вдоль дороги. Во время движения поезда сигналы изменяются в зависимости от индуктивной связи. Эти сигналы демодулируются и обрабатываются коммутационными аппаратами и передаются цифровой вычислительной машине.

Путевые индуктивные цепи состоят из отдельных петель различной длины. У станций и транспортирующих тележек длина

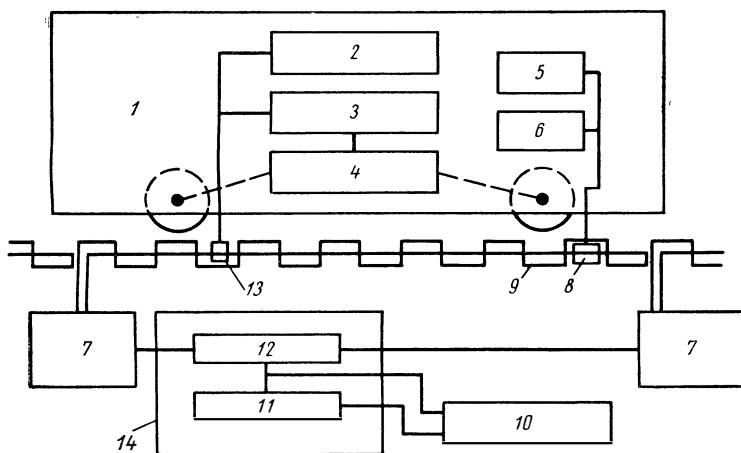


Рис. 104. Блочная схема системы АУП на скоростной дороге в Питтсбурге:

1 — экипаж; 2 — цепи связи вагона; 3 — цепи управления вагоном; 4 — управление тягой и торможением; 5 и 6 — генераторы колебаний; 7 — усилитель частотной модуляции; 8 — антенны генераторов; 9 — провода индукционных петель; 10 — диспетчерский пульт; 11 — управление; 12 — связь; 13 — принимающая и передающая антенна; 14 — контроллер, расположенный сбоку пути

индукционного провода составляет 610 мм. В остальных местах вдоль дороги петли имеют длину 45,7 м. Короткие петли позволяют более точно управлять экипажем во время остановки.

При одновагонном поезде работают оба генератора колебаний вагона. Когда поезд состоит из нескольких вагонов, то работают только генератор 5 на головном вагоне и генератор 6 на хвостовом вагоне; все остальные вибраторы отключаются.

При получении сигналов определенных тонов расположенный сбоку пути контроллер имеет всю информацию, необходимую для управления одним или более поездами на дороге в соответствии с очертанием графика скорость—расстояние, заложенного в контроллер. Расположение поездов на дороге устанавливается по активным петлям и рассчитывается по перерывам во включении

и выключении сигналов. Длина поезда определяется по разнице перерывов, а скорость — по времени движения от одной петли до следующей. Контроллер запрограммирован таким образом, что может делать логические выводы, сравнивать варианты и подавать требуемую мощность к поездам для управления скоростью движения, остановками, интервалами безопасности и дверями экипажей всех поездов.

Движение поездов на дороге осуществляется автоматически после нажатия оператором кнопки начала движения.

Командой поезду является кодированный сигнал с тремя из шести применяемых тонов. Получаемые на вагоне сигналы демодулируются и усиливаются. Система гарантирует принятие только трех тонов. После этой проверки декодирующее устройство выдает команду в цепи управления о приведении поезда в движение или об управлении дверями. Для максимальной надежности и безопасности применены также цепи безопасности при повреждении.

Тон контроля безопасности (седьмой тон) передается с точно определенными интервалами. При прекращении этого сигнала расположенный сбоку путевого устройства контроллер осуществляет экстренную остановку поездов.

ДЕПОВСКОЕ И ВАГОННОЕ ХОЗЯЙСТВО

Так же как и на других видах транспорта, для ремонта и осмотра подвижного состава монорельсовых дорог необходимы депо и вагоноремонтные мастерские. Деповское и вагонное хозяйство монорельсовых дорог принципиально ничем не отличается от аналогичных хозяйств транспорта обычных видов.

В соответствии с принятыми типами ремонтов и осмотров подвижного состава определяется состав цехов и мастерских депо, а также технологическое оборудование. Все производственные, подсобные и служебно-бытовые помещения целесообразно размещать в одном здании.

Парковые пути навесных монорельсовых дорог обычно располагаются на высоте 1—2 м от уровня земли (рис. 105).

Для отстоя вагонов после контрольного осмотра до выхода их на линию предусматриваются открытые стоянки из нескольких парковых путей. Стойла для ремонта должны быть оборудованы механизмами для подъема вагонов или опускания балок, для того чтобы иметь доступ к любым узлам вагона. На парковых путях применяются кривые радиусом 30 м для подвесных дорог и 80 м — для навесных.

Депо для подвижного состава монорельсового транспорта рекомендуется располагать за конечной станцией монорельсовой дороги.

Депо должно иметь:

- 1) закрытый отопливаемый цех для ремонта подвижного состава;
- 2) административно-бытовое и производственное отделения;
- 3) отстойное отделение для подвижного состава.

В депо производятся следующие виды ремонта и осмотра подвижного состава:

- а) осмотр подвижного состава в отстойных отделениях примерно через 1000 км пробега;
- б) межпоездный осмотр, который производится через 3000 км пробега;

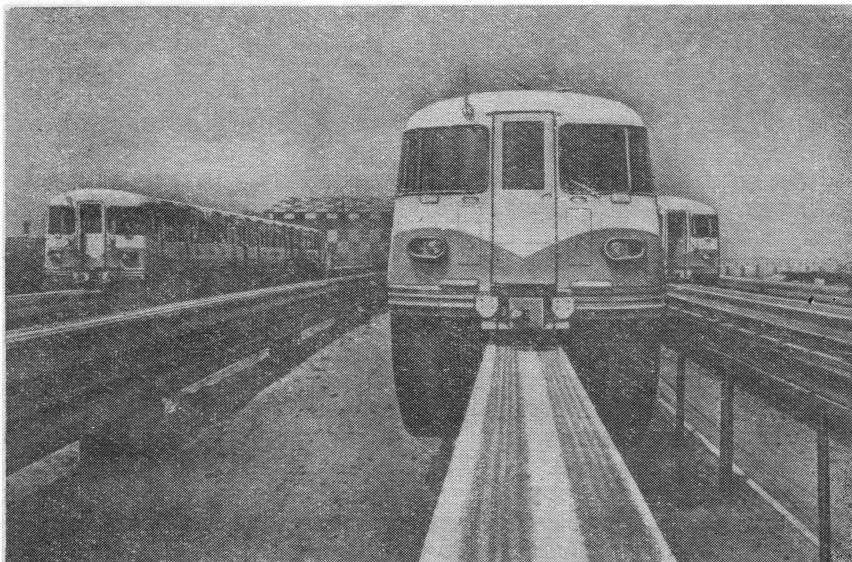


Рис. 105. Парковые пути в депо монорельсовой дороги в Токио—Ханеда

- в) текущий ремонт, осуществляемый через каждые 6000 км пробега;
- г) периодический ремонт, который производится через 40 000 км пробега;
- д) плано-подъемочный ремонт, осуществляемый через 13 месяцев эксплуатации или через каждые 300 000 км пробега.

Средний ремонт, проводимый через 600 000 км пробега, и капитальный ремонт (через 1 800 000 км пробега) осуществляются на вагоноремонтных заводах.

Основная часть ремонтного цеха, а также демонтажно-монтажная площадка оборудуются путевыми балками открытого типа:

Отстой подвижного состава осуществляется в отстойных помещениях, ширина которых равна 6 м на каждый поезд. Длина поме-

щения определяется возможностью установки одного шестивагонного (90 м) или двух шестивагонных (180 м) поездов.

В ремонтном цехе предусматривается размещение специализированных отделений: слесарно-механического; тяговых двигателей; испытательной станции; аккумуляторного с зарядной станцией; сварочного; шиноремонтного; инструментальной кладовой; центральной кладовой материалов, запасных частей и агрегатов; маслораздаточного. Там же размещаются: контрольно-измерительная служба, отдел технического контроля и отдел главного механика.

Все помещения отстойных, ремонтных и других отделений снабжаются двухстворчатыми воротами с автоматическим приводом электродверей и оборудуются люминесцентным освещением. Малярный цех, кроме того, снабжается сушильными установками с лампами инфракрасного излучения.

Открытая территория депо освещается ртутными лампами высокого давления в глубокоизлучающей арматуре.

Моечные установки располагаются на пути следования подвижного состава от ворот депо к его помещениям.

ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЕ

Энергоснабжение монорельсового транспорта осуществляется от тяговых подстанций постоянным током напряжением 600—1200 в или трехфазным переменным током (для асинхронных и линейных двигателей). Наиболее экономичные результаты дает применение напряжения 1200 в. Такое напряжение принято на монорельсовых дорогах в ФРГ и Италии. Тяговые подстанции для монорельсового транспорта ничем не отличаются от подстанций других видов электрического транспорта. Особенностью монорельсового транспорта по сравнению с другими видами электрического транспорта является конструкция и устройство контактной сети. Два провода контактной сети для постоянного тока или три провода для переменного трехфазного тока монтируются непосредственно на путевой балке эстакады. Ограниченность размеров балки и вагона усложняет конструкции токоприемных устройств, хотя в принципе эти конструкции мало отличаются от токоприемных устройств метрополитена.

Важной проблемой является электроснабжение подвижного состава при высоких скоростях, которая успешно разрешается с помощью малогабаритных пантографов для съема тока и рычажно-башмачных токоприемников для отвода тока.

Большие перспективы открываются благодаря применению кремниевых выпрямителей, существенно упрощающих систему электроснабжения монорельсового транспорта и допускающих при электроприводе постоянного тока использование контактной сети одно- или трехфазного переменного тока промышленной

частоты от тяговых подстанций, оборудованных кремниевыми выпрямителями, или оборудование подвижного состава малогабаритными кремниевыми выпрямителями. К преимуществам полупроводниковых выпрямителей, кроме значительного уменьшения габаритных размеров и веса выпрямительных установок, следует отнести также простоту эксплуатации. В настоящее время уже созданы надежные тяговые подстанции, оборудованные кремниевыми выпрямителями, которые с успехом могут использоваться для электроснабжения линий монорельсового транспорта.

Для монорельсовых дорог, характеризующихся редкими остановками и большими межстанционными перегонами, весьма перспективно применение асинхронных тяговых электродвигателей, которые просты и надежны в эксплуатации.

При использовании тяговых сетей однофазного переменного тока возможно оборудование подвижного состава конденсаторными тяговыми электродвигателями, представляющими собой трехфазные асинхронные двигатели с короткозамкнутыми роторами, снабженные фазосмещающими конденсаторами в одной фазе.

ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ МОНОРЕЛЬСОВЫХ ДОРОВ

СРАВНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТОКИЙСКОЙ И ВУППЕРТАЛЬСКОЙ МОНОРЕЛЬСОВЫХ ДОРОВ

Как отмечалось ранее, большинство построенных монорельсовых дорог находится в настоящее время в регулярной эксплуатации.

Опыт эксплуатации этих дорог подтвердил большую безопасность и надежность их работы. Выше уже указывалось, что на Вуппертальской подвесной монорельсовой дороге за 67 лет ее эксплуатации не было ни одного серьезного несчастного случая. За все время эксплуатации монорельсовой дороги Токио—Ханеда на ней также не произошло ни одного несчастного случая. Сооружения этой дороги выдержали за время эксплуатации сильные бури и землетрясение, что полностью подтвердило расчеты железобетонных конструкций эстакад, выполненных с обеспечением необходимой сейсмостойкости сооружений.

Наличие в регулярной эксплуатации нескольких монорельсовых дорог значительной протяженности позволяет произвести сравнительный анализ опыта и экономичности их эксплуатации.

Так, сопоставление эксплуатационных показателей за 1964 г. двух крупнейших монорельсовых дорог — старейшей Вуппертальской и дороги Токио—Ханеда (табл. 15), имеющих почти одинаковую протяженность (13,3 и 13,2 км), показывает, что навесная монорельсовая дорога Токио—Ханеда обеспечивает на 40% больший пробег, выраженный в вагоно-километрах, по сравнению с Вуппертальской монорельсовой дорогой подвешенного типа. Это объясняется более высокой максимальной скоростью движения на дороге Токио—Ханеда (100 км/ч по сравнению с 55 км/ч на Вуппертальской дороге), обусловившей скорость сообщения 53 км/ч по сравнению с 25 км/ч на Вуппертальской дороге.

Благодаря высоким скоростям движения подвижной состав системы Алвег дороги Токио—Ханеда имеет более высокий годовой пробег, равный 120 тыс. км. В то же время объем пассажирских перевозок и число пассажиро-километров на Вуппертальской монорельсовой дороге значительно превосходят эти показатели монорельсовой дороги Токио—Ханеда, что объясняется значительной разницей в использовании вместимости подвижного состава сравниваемых дорог. Следует отметить, что показатель

**Сопоставление основных эксплуатационных показателей
Токийской навесной и Вуппертальской подвесной монорельсовых дорог
за 1964 г.**

Показатели	Токийская дорога	Вуппертальская дорога
Общий парк вагонов	33	67
Средняя вместимость вагона (число пассажиров)	81 *	78
Вместимость всего парка вагонов (число пассажиров)	2676 *	5196
Годовой пробег в тыс. вагоно-километров	3095	2190
Число пассажиро-мест в млн.	243	156
Число перевезенных пассажиров в тыс.	3056	13 850
Пассажиро-оборот в тыс. пассажиро-километров	40 500	66 200
Средняя дальность поездки в км	13,2	4,6
Использование вместимости вагонов в %	16,6	42,5

* С учетом принимаемого в Японии соотношения числа мест для сидения к числу мест для стояния 1 : 1,3,

использования вместимости на Вуппертальской монорельсовой дороге (42,5%) является самым высоким для всех монорельсовых скоростных городских дорог и трамвая.

За последние 15 месяцев эксплуатации дороги Токио—Ханеда расход электроэнергии на тягу поездов составил 3,48 млн. *квт·ч*, что соответствует удельному расходу электроэнергии, равному всего лишь 78 *вт·ч* на 1 *ткм*. Этот удельный расход электроэнергии является характерным для монорельсовых дорог типа Алвег со значительным расстоянием между остановочными пунктами. При меньших расстояниях между остановками (в пределах 600—1500 м) удельный расход электроэнергии возрастает примерно на 15% по сравнению с электроэнергией, расходуемой обычным железнодорожным подвижным составом на стальных колесах. Следовательно, более высокое сопротивление движению пневматических шин по сравнению со стальными колесами оказывает не такое большое влияние на расход электроэнергии, как это иногда предполагалось.

Управление монорельсовой дороги Токио—Ханеда намечает проведение ряда мероприятий, направленных на увеличение вместимости подвижного состава и повышение рентабельности дороги. Возникающие при этом трудности связаны, в частности, с тем, что с введением в эксплуатацию новой скоростной железнодорожной магистрали Токио—Осака объем пассажирских перевозок воздушным транспортом на этом направлении значительно снизился (на 38%), так как железнодорожный билет стоит намного дешевле авиационного, а время поездки по скоростной железно-

дорожной линии лишь незначительно больше времени, затрачиваемого пассажиром при пользовании самолетом.

Общие прогнозы роста пассажирских перевозок указывают на увеличение в перспективе (в 1970 г.) пассажирских перевозок аэропорта Ханеда в 5—7 раз по сравнению с 1964 г., поэтому предполагается резкое увеличение доходности монорельсовой дороги, которая перевозит примерно половину всех пассажиров аэропорта и их провожающих (40 млн. чел. в 1970 г.).

Увеличению объема пассажирских перевозок монорельсовой дороги будет способствовать также соединение существующей конечной станции монорельсовой дороги с конечной станцией аэропорта, которая будет расположена значительно ближе к последнему, чем в настоящее время. Эта станция будет построена в непосредственной близости от автобусного вокзала, вокруг которого создаются бытовые помещения и размещается торговый центр.

Существенную роль играет при этом новая, недавно построенная промежуточная станция Ипподром, лежащая непосредственно в крупном промышленном районе, связанном с новой селитебной территорией города.

Одним из мероприятий, способствующих дальнейшему улучшению работы монорельсовой дороги, является намечаемое в ближайшие годы продление ее трассы от аэропорта Ханеда до Июкогамы. Предполагается, что это приведет к значительному увеличению пассажирских перевозок на монорельсовой дороге.

Опыт эксплуатации монорельсовой дороги позволил оценить эффективность капиталовложений и выявить доходность дороги при установленных тарифах.

Общие капиталовложения в строительство дороги составили 49 млн. руб. (19 620 млн. иен). За вычетом расходов на приобретение земельных участков и подвижного состава стоимость строительства монорельсовой дороги составила 41,7 млн. руб. Таким образом, стоимость сооружения стационарных устройств монорельсовой дороги составила около 85% от общих капиталовложений. Это больше средней общепринятой доли 70% и объясняется чрезвычайно трудными топографическими и геологическими условиями, а также необходимостью сооружения сложных фундаментов и тоннелей, которые из-за опасности землетрясений и тайфунов строились с высокой степенью надежности и сейсмостойкости. Таким образом, общие расходы на сооружение 1 км двухпутной монорельсовой дороги Токио—Ханеда составили 3,7 млн. руб., а без учета расходов на оплату земельных участков — 3,1 млн. руб.

Доход монорельсовой дороги определяется исключительно числом перевезенных пассажиров. Стоимость проезда в один конец установлена равной 250 иен (62 коп.), а стоимость обратного

билета 450 иен (1 р. 13 к.). Для проезда детей и некоторых категорий пассажиров установлена скидка от 10 до 50%.

Принятые тарифы для монорельсовой дороги значительно превышают стоимость проезда на метрополитене (40 иен, или 10 коп.), на трамвае (13 иен, или 3,25 коп.) и на безрельсовом общественном транспорте (15—25 иен, или 3,75—6,25 коп.) при проезде на расстояние равной протяженности. Однако стоимость поездки на экспресс-автобусах, идущих от центра города к аэропорту, составляет 400 иен (1 руб.). Важным преимуществом монорельсовой дороги является значительная экономия во времени (время поездки в один конец составляет всего 15 мин вместо 1 часа для экспрессного автобуса).

Данные об эксплуатации монорельсовой дороги за 1965 г. показывают, что при 16,5 ч эксплуатации в сутки и интервале движения между поездами 7,5 и 15 мин номинальная вместимость подвижного состава использовалась на 47—68%. Предполагается, что к 1970 г. этот процент возрастет до 53—82%.

Годовой доход от эксплуатации дороги в 1965 г. составил 26% от общих капиталовложений, а к 1970 г. он возрастет до 37%.

ОЦЕНКА ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭКИПАЖЕЙ И УРОВНЯ КОМФОРТА

Проведенные в процессе эксплуатации теоретические и экспериментальные исследования позволили установить числовые величины основных динамических характеристик вагонов монорельсовых дорог.

Анализом геометрического вписывания вагонов и тележек подвесных монорельсовых дорог установлено, что минимальный радиус кривой в плане, проходимой вагоном без задевания каким-либо элементом ходовых балок и их устройств, а также без нарушения сцепляемости вагонов, равен 30,5 м. Конструкцией сочленяющего устройства подвешивания вагонов определен максимальный угол отклонения вагона от вертикали в 5° (без учета возможности односторонней просадки пневматических шин). Последний параметр позволяет вагону при наличии возвышения наружной ходовой дорожки на 5° отклоняться при движении по кривой на угол до 10° от вертикали (без ощущения этого пассажирами) и сохранять горизонтальное положение пола при остановке на кривой. При таких предельных положениях (рис. 106) должны обеспечиваться минимальные зазоры как внутри ходовой балки, так и между крышей отклоненного вагона и низом ходовой балки. Как видно из рис. 106, при этом учитывается также возможность наличия с одной стороны тележки спущенных шин тягового и направляющего колес.

Оценка динамических характеристик вагонов производилась на основе критериев комфорта, разработанных с учетом система-

тических испытаний, проводимых на автомобильных дорогах по установлению порога восприятия тех или иных изменений движения экипажа сидящими в нем пассажирами.

На рис. 107 приведены обозначения направлений движения и основных колебаний, а в табл. 16 даны предельные значения

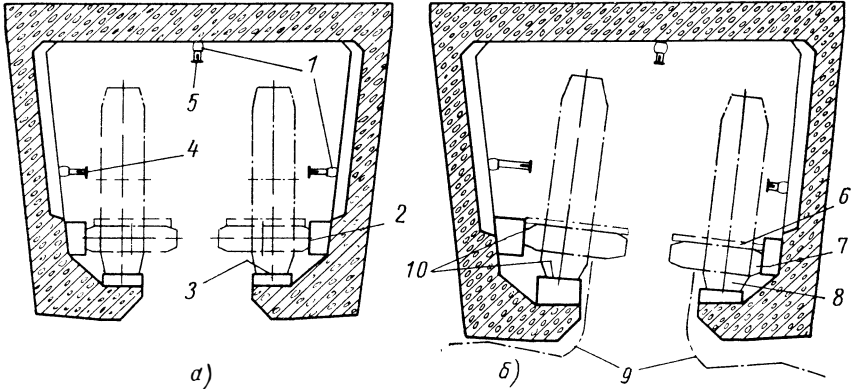


Рис. 106. Расположение ходовых дорожек и тележек в балке подвесной монорельсовой дороги:

a — на прямом участке; *б* — на криволинейном участке; 1 — изоляторы; 2 — ходовая поверхность направляющих колес; 3 — поверхность качения ходовых колес; 4 — шина отвода тока; 5 — токонесущая шина; 6 — диск безопасности; 7 — спущенное направляющее колесо; 8 — спущенное ведущее колесо; 9 — предельное положение вагона; 10 — возвышение поверхностей качения ведущих и направляющих колес

динамических характеристик вагонов подвесной монорельсовой дороги, при которых еще не нарушается комфортабельность езды. В табл. 16 указаны предельные значения динамических характеристик, соответствующие началу ощущения их сидящими пассажирами.

Установлено также, что при наличии таких характеристик стоящие пассажиры также еще не ощущают неудобств.

Для случая движения вагона по кривой постоянной кривизны максимальная скорость ограничивается, как правило, предельным углом отклонения кузова вагона от вертикали, равным 10° (кривая 3, рис. 108). Этот угол, как указывалось выше, обуславливается устройством подвешивания (5°) и возвышением поверхностей качения колес (5°). Однако до скорости 72 км/ч решающее влияние на комфорт пассажиров оказывает скорость поворачивания вагона в горизонтальной плоскости (кривая 4), поэтому

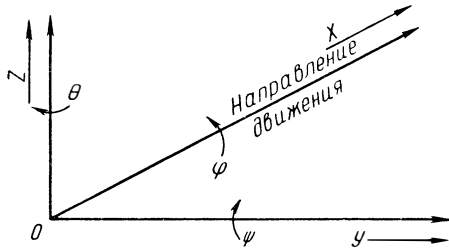


Рис. 107. Основные направления движения и колебаний вагонов монорельсовой дороги

**Предельные значения динамических характеристик вагонов
подвесной монорельсовой дороги, обуславливающие нормальный уровень
комфорта для сидящих пассажиров**

Исходные параметры		Скорость		Ускорение		Скорость изменения ускорения	
Условные обозначения (см. рис. 107)	Величина в м или град	Условные обозначения	Величина в м/сек или град/сек	Условные обозначения	Величина в м/сек ² или град/сек ²	Условные обозначения	Величина в м/сек ³ или град/сек ³
X	—	dx/dt	*	d^2x/dt^2	$\pm 0,3$	d^3x/dt^3	$\pm 0,15$
Y	—	dy/dt	*	d^2y/dt^2	$\pm 0,18$	d^3y/dt^3	$\pm 0,1$
Z	—	dz/dt	*	d^2z/dt^2	$\pm 1,2$	d^3z/dt^3	$\pm 0,25$
θ	*	$d\theta/dt$	± 5	$d^2\theta/dt^2$	± 2	$d^3\theta/dt^3$	± 1
φ	$\pm 1,1$ **	$d\varphi/dt$	± 8	$d^2\varphi/dt^2$	± 4	$d^3\varphi/dt^3$	± 2
ψ	$\pm 1,9$ **	$d\psi/dt$	± 12	$d^2\psi/dt^2$	± 6	$d^3\psi/dt^3$	± 3

* Не ощущаются пассажирами.

** Не ощущаются при отсутствии или сбалансированности поперечных и продольных ускорений.

минимальные радиусы кривых, ограниченные кривой 3 в заштрихованной области 2, могут применяться только на парковых путях отстоя вагонов или в других случаях, когда в вагонах отсутствуют пассажиры. Линия 1 указывает нижний предел радиусов, ограничиваемый геометрией экипажа.

Для плавного движения вагонов при переходе с прямолинейных участков пути на кривые с постоянным радиусом кривизны в горизонтальной и вертикальной плоскостях делают переходные кривые в форме кубической параболы. Исследование всех факторов, влияющих на комфорт пассажиров при прохождении поездом горизонтальных кривых участков, показало, что наиболее благоприятные соотношения между скоростью движения, радиусом кривой и длиной переходной кривой очерчивают зону комфорта 4 (рис. 109). Из номограммы видно, что при скоростях движения до 144 км/ч во всех случаях нет необходимости устраивать переходные кривые длиной более 50 м. Это в значительной степени облегчает трассирование линий и повышает процент использования типовых конструкций элементов ходовой балки.

При скоростях движения до 64 км/ч и возможности снижения критерия комфорта (например, на парковых путях) длины переходных кривых значительно сокращаются (зона 8). Зона 8 отделяется от зоны 4 кривой 7, характеризующей параметры, при

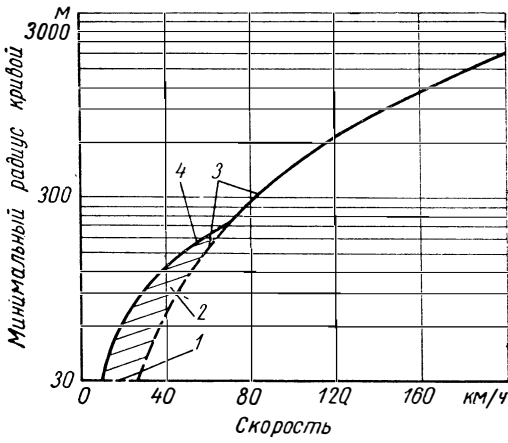


Рис. 108. Соотношение между скоростью движения и минимальным радиусом кривой

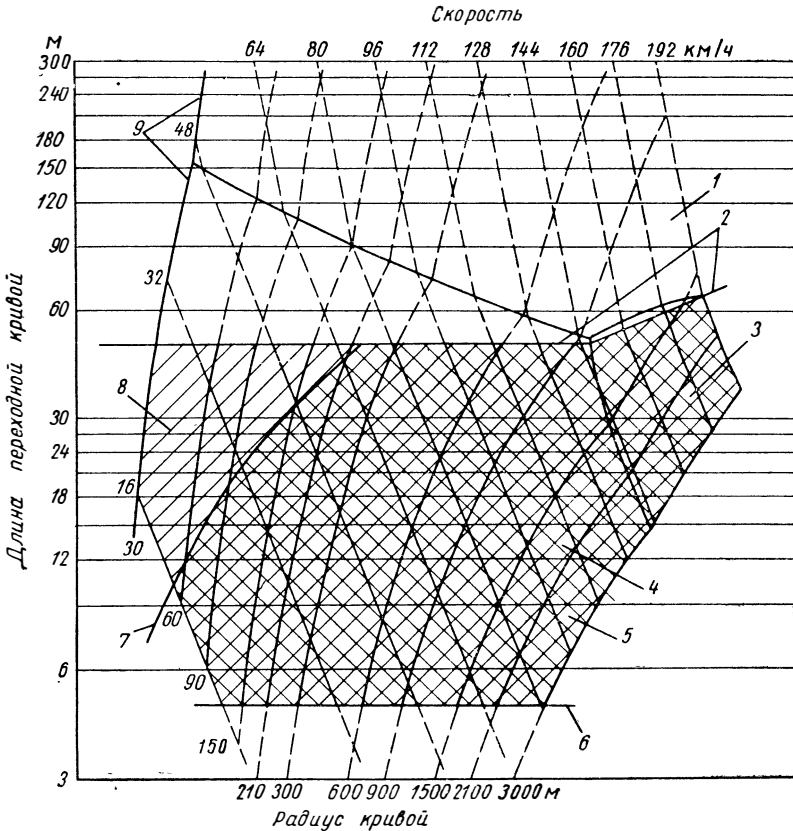


Рис. 109. Номограмма для определения длины переходной кривой по радиусу и скорости движения экипажа

которых пассажир начинает ощущать скорость вращения в горизонтальной плоскости $d\theta/dt$ в конце переходной кривой.

Приведенная на рис. 109 номограмма позволяет также оценить степень влияния на комфорт пассажиров различных параметров трассы. Так, в зоне 1, расположенной выше линий 2, ограничивающих зону комфорта по углу отклонения кузова вагона 10° в конце переходной кривой, пассажиры будут ощущать скорость изменения вертикальных ускорений d^3z/dt^3 во время прохождения переходных кривых. В зоне 3 пассажиры при прохождении поездом переходной кривой начинают ощущать скорость бокового отклонения $d^2\varphi/dt^2$, а в зоне 5 — ускорение вращения в горизонтальной плоскости $d^2\theta/dt^2$. Внизу зона комфорта ограничена линией 6 условного нижнего предела бокового отклонения кузова вагона на 1° в конце переходной кривой, а кривые 9 указывают минимальный радиус кривой, допускаемый геометрическим вписыванием экипажа.

Дополнительно изучался вопрос о возвышении наружной ходовой поверхности, поскольку при правильно рассчитанном и установленном возвышении обе ходовые дорожки при расчетных скоростях движения экипажа воспринимают всегда равные нагрузки, направленные нормально к каждой из поверхностей качения, т. е. без дополнительно передаваемых на балку направляющих сил и без боковых отклонений экипажа. В тех случаях, когда с помощью возвышения наружной ходовой дорожки не удастся полностью компенсировать действие центробежной силы, возникающей при прохождении поездом данной кривой, рационально установленное возвышение дает возможность свести до минимума боковые отклонения вагона и поперечные усилия, передаваемые на ходовую балку.

Величины углов бокового наклона кузова при движении вагона с разными скоростями по кривым различного радиуса могут быть определены по номограмме, приведенной на рис. 110. Кривые этой номограммы построены в предположении, что половина общего угла наклона кузова вагона обусловлена возвышением внешней поверхности качения, а половина — отклонением системы маятникового подвешивания вагона. Положение линии 1 определяется критерием комфорта пассажиров ($d\theta/dt$ на рис. 107 и в табл. 16) и ограничивает зону 2 пониженного комфорта, который может быть допущен на парковых путях, в ремонтных депо и т. п. В типовых конструкциях ходовых балок возвышение поверхности наружной ходовой дорожки достигается путем увеличения толщины деревянных брусьев, образующих поверхности качения.

Большое влияние на экономичность и безопасность движения дороги оказывает правильный выбор расстояний от опор до оси ходовой балки с внутренней $L_{вн}$ и наружной $L_{нар}$ сторон от оси кривой (рис. 111). На этом рисунке изображены контуры, очерченные огибающими предельных положений кузова вагона,

построенных с учетом влияния возвышения наружной ходовой поверхности, центробежной силы, силы ветра, выносов в кривых концевых и средних частей вагонов, а также возможности спуска шины.

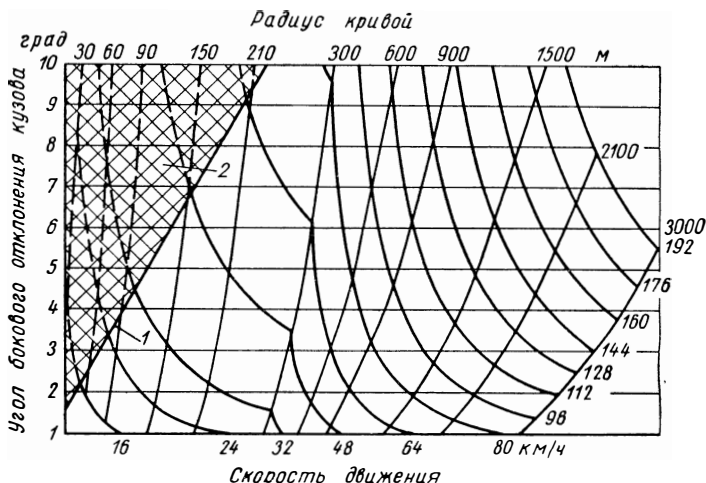


Рис. 110. Зависимость угла наклона кузова от радиуса кривой и скорости движения вагона

Для проектируемых подвесных монорельсовых дорог максимальное ускорение и замедление по условиям комфорта пассажиров установлено равным $1,46 \text{ м/сек}^2$, а замедление при экстренном торможении

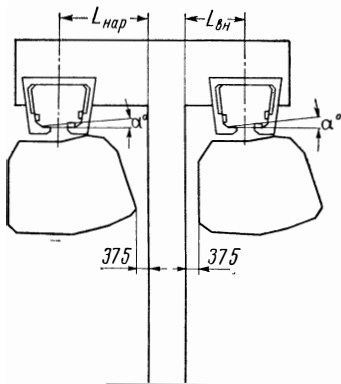


Рис. 111. Схемы расположения вагонов при прохождении кривых

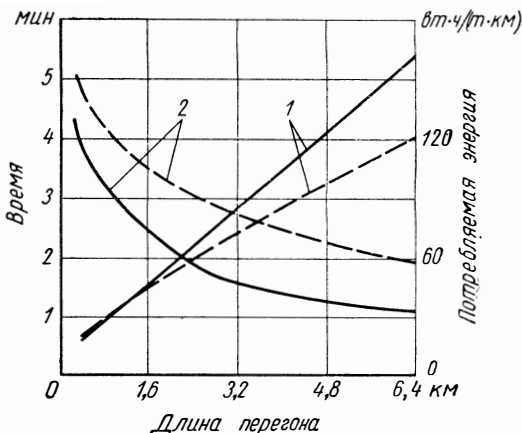


Рис. 112. Изменение некоторых параметров при различных скоростях движения:

сплошные линии — скорость 80 км/ч ; штриховые линии — скорость 120 км/ч ; 1 — изменение времени движения; 2 — изменение потребляемой энергии

нии $2,92 \text{ м/сек}^2$. При наличии на трассе частых остановок применяется коробка передач с передаточным отношением $8,88 : 1$, которая обеспечивает указанные ускорения и максимальную скорость движения 80 км/ч . Для эксплуатации с высокими скоростями на трассе с редкими остановками (например, на линиях, связывающих центры городов с аэропортами) максимальная скорость движения поезда 120 км/ч достигается при использовании передаточного отношения $5,92 : 1$, хотя ускорения становятся несколько меньшими.

На рис. 112, на котором изображены основные характеристики вагонов с различными передаточными отношениями коробок передач, видно, что в небольшой зоне с малыми длинами перегонов (до $1,0 \text{ км}$) возможность увеличения максимальной скорости до 120 км/ч не приводит к сокращению времени поездки. С учетом более высокого уровня расхода электроэнергии скорость движения около 120 км/ч целесообразно применять только при расстояниях между остановками не менее 4 км .

Опыт эксплуатации позволил оценить работу комбинированной тормозной системы САФЕЖЕ, которая обеспечивает превращение кинетической энергии поезда в электрическую и механическую энергию. Большая часть кинетической энергии рассеивается через сопротивления, причем тяговые электродвигатели работают в этом случае в режиме генераторов. Остальная часть энергии затормаживаемого поезда поглощается тормозными колодками, имеющими пневматический привод и прижимаемыми к внешним поверхностям тормозных барабанов, располагаемых у каждого из четырех ведущих колес. Такое сочетание тормозов позволяет сохранить тормозные поверхности колодок и барабанов, а также предотвратить повреждение резиновых шин от перегрева при механическом торможении.

В опытных вагонах дороги в Шатонефе с начала торможения включался пневматический тормоз, затем электрический реостатный тормоз, который поглощал 85% общей кинетической энергии поезда, и только в самом конце торможения вновь включался пневматический тормоз, осуществляющий полную остановку состава. Данный режим работы тормозной системы обеспечивается компенсирующим (уравновешивающим) вентилем, гарантирующим также постоянство замедления при любой скорости движения экипажа. В опытных вагонах нельзя было достичь поглощения большого количества энергии поезда электрическим тормозом (сверх 85%) вследствие ограничения по току и напряжению работы тяговых электродвигателей в режиме генераторов. Однако при использовании специально спроектированного электрического оборудования доля кинетической энергии состава, поглощаемая электрическим тормозом, может быть увеличена.

При неисправности электрического тормоза один пневматический тормоз может обеспечить замедление при экстренном

торможении до $2,92 \text{ м/сек}^2$. Для длительного затормаживания состава предусмотрен также ручной тормоз, действующий на колеса одной оси каждого вагона.

Опыт эксплуатации подвесной монорельсовой дороги в Шатонефе позволил также оценить уровень шума снаружи и внутри вагона. Снаружи вагона уровень шума, замеренный у микрофона, установленного на высоте $1,2 \text{ м}$ над поверхностью земли на расстоянии $7,0 \text{ м}$ от осевой линии ходовой балки монорельсовой дороги, был равен 76 дб , когда вагон проходил со скоростью 80 км/ч . Специальный комитет, занимавшийся изучением различных шумов, при таком же положении микрофона получил следующие уровни шума (в дб) при прохождении мимо него моторных экипажей со скоростью 48 км/ч :

автомобиль высшего класса	77
небольшой легковой автомобиль	79
дизельный автомобиль большой мощности	84
мотоцикл с двухцилиндровым четырехтактным двигателем	94

Было установлено, что основным источником шума на первой монорельсовой дороге САФЕЖЕ было трение пантографа по токонесущему рельсу. В перспективной дороге, для которой будут использованы железобетонные ходовые балки, а не стальные конструкции, и более тяжелые токонесущие рельсы большего сечения, уровень шума будет еще меньше.

Внутри вагона в плоскости его продольной оси на высоте $1,52 \text{ м}$ над полом уровень шума при скорости 80 км/ч равен 61 дб . Сопоставимые данные для других условий: внутри небольшого легкового автомобиля при скорости 48 км/ч уровень шума равен 72 дб , внутри пассажирского помещения пригородного электропоезда — 76 дб , сбоку тротуара в месте интенсивного движения — 79 дб .

Опыт эксплуатации показал, что уровень шума внутри вагона типа САФЕЖЕ может быть снижен при более тщательном монтаже системы кондиционирования воздуха и воздушного компрессора. При оценке приведенных данных следует учитывать, что величины в децибелах не в полной мере характеризуют ощущение человеком степени шумности. При этом изменение уровня шума на 3 дб является наименьшим, которое большинство людей может воспринимать как существенное; увеличение шума на 10 дб соответствует примерно удвоению шумности.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ СОДЕРЖАНИЯ И РЕМОНТА ЭСТАКАД

В процессе эксплуатации монорельсовых дорог отработаны наиболее рациональные методы осмотра и ремонта ходовых балок.

Для обслуживания монорельсовой дороги Токио—Ханеда построены два вагона, состоящих из платформы и установленной

на ней кабины машиниста. Ходовая часть служебных вагонов — типовая, применяемая на курсирующих пассажирских вагонах.

Каждый вагон имеет длину по буферам 10 м, базу 7 м, ширину 3 м и вес тары 13 т. Полезная нагрузка допускается 7 Т плюс вес рабочего инструмента и 45 рабочих.

Вагон имеет автономный шестицилиндровый двигатель внутреннего сгорания, передающий тяговое усилие через коробку передач ходовым колесам с пневматическими шинами. От главного двигателя приводится в действие компрессор, вырабатывающий сжатый воздух для системы торможения и пескоструйных аппаратов. Для получения электроэнергии для ремонтных целей используется индивидуальный бензиновый двигатель, к которому подключаются рабочий инструмент, агрегаты, осветительные установки, устройства безопасности и радиосвязи. Для переговоров между рабочим персоналом и машинистом имеется двухсторонняя телефонная связь. Вагон оборудован передающими и приемными радиостанциями, обеспечивающими связь с центральным диспетчером.

Вагон используется также для очистки токонесущих шин и изоляторов надводного участка трассы от отлагающихся на них солей. Очистка производится при отключении электрической системы снабжения пресной водой, распыляемой форсуночными устройствами из бака емкостью 3 тыс. л. По обе стороны кабины расположены огражденные рабочие площадки, оборудованные откидными трапами, предназначенными для перехода пассажиров с остановившегося на пути состава в случае невозможности его дальнейшего самостоятельного движения или буксирования. Такая возможность учитывается в связи с тем, что линия Токио—Ханеда на значительном протяжении проходит непосредственно по заливу.

На подвесных монорельсовых дорогах осмотр и ремонт ходовых балок производят с помощью самоходной тележки, оборудованной съемными стремянками для осмотра внутренних частей ходовой балки, поверхностей качения и токонесущих проводов. С помощью этих тележек возможна также буксировка неисправных вагонов.

Наряду с изучением опыта содержания и ремонта эстакад эксплуатируемых монорельсовых дорог большое внимание в последние годы уделяется рационализации отдельных элементов конструкции эстакад и совершенствованию технологии их постройки. Так, например, были разработаны методы количественной оценки с помощью ЭЦВМ разнообразных условий работы коробчатых ходовых балок разных конструкций: простых железобетонных и предварительно напряженных. Подготовленные программы позволяют выявлять экономичное распределение арматуры и предварительно напряженного материала, а также опре-

делять напряжения, деформации и углы поворота элементов балок при различных схемах нагружения.

Изучение строительной техники преследовало цель обеспечения быстрого монтажа путевых балок при минимальных помехах движению существующего транспорта. В результате этого разработан способ перемещения конструкции эстакады от строительной площадки к месту монтажа тележками, движущимися внутри уже уложенных путевых балок. Транспортируемые элементы (ходовые балки и детали опор) подвешиваются к тележкам аналогично пассажирским вагонам и перемещаются вдоль смонтированной части дороги. Окончательная установка элементов на место производится со специально построенных подъемных подмостей, подвешиваемых к опорам.

СОВМЕСТНАЯ РАБОТА МОНОРЕЛЬСОВЫХ ДОРОГ И ДРУГИХ ВИДОВ ТРАНСПОРТА

При совместной эксплуатации монорельсовых дорог и других видов общественного транспорта возникает проблема привлечения на линии монорельсовых дорог пассажиров с других видов транспорта. При этом обращается внимание на следующие тенденции развития современного транспорта.

Анализ городских и пригородных пассажирских перевозок

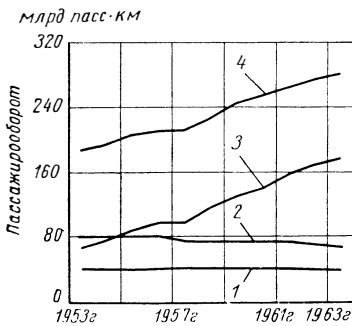


Рис. 113. Динамика пассажирооборота в Англии:

1 — рельсовый транспорт; 2 — автобусы; 3 — автомобили личного пользования; 4 — общий пассажирооборот

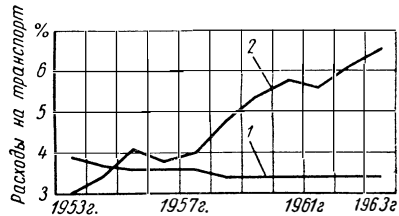


Рис. 114. Увеличение расходов в Англии на транспорт в процентах от общего заработка:

1 — при использовании общественным транспортом; 2 — при использовании личными автомобилями

за последние годы показывает, что объем перевозок рельсовым транспортом практически не меняется, автобусные перевозки сокращаются, а перевозки автомобилями личного пользования интенсивно возрастают и приводят к увеличению общего объема пассажирских перевозок. Изменение этих показателей для Англии показано на рис. 113.

Объемы перевозок автобусами и автомобилями личного пользования взаимосвязаны, поэтому возникает вопрос о средствах

привлечения владельцев личных автомобилей на общественный транспорт. Важность этого мероприятия обуславливается тем, что общие расходы на автомобили личного пользования возрастают более интенсивно, чем на общественный транспорт, как в абсолютном денежном выражении, так и при отнесении их ко всему бюджету пассажира. Например, в Англии за десятилетие 1953—1963 г. общие расходы на личные автомобили возросли в 4 раза, а на общественный транспорт увеличились менее чем на 50%.

В общем бюджете пассажира (рис. 114) расходы, связанные с эксплуатацией личного автомобиля, возросли за этот период с 3,0 до 6,5%, а стоимость пользования общественным транспортом снизилась с 3,9 до 3,4%, причем уровень последних расходов остается постоянным с 1958 г.

В этих условиях, в общем благоприятных для общественного транспорта, решающее значение имеет оценка монорельсовых дорог общественностью и выявление тех обстоятельств, при которых этими дорогами стали бы пользоваться владельцы личных автомобилей, создающих основные транспортные затруднения в современных городах.

Оценка отношения общественного мнения к монорельсовому транспорту была произведена в процессе эксплуатации навесной монорельсовой дороги в Сиэтле (США). Как известно, эта дорога, связывающая центр города с территорией бывшей всемирной выставки, проходит в основном над улицами между производственными, торговыми и жилыми зданиями и находится в регулярной эксплуатации с 1962 г.

Было опрошено четыре группы жителей Сиэтля: постоянные пассажиры городского общественного транспорта, пассажиры монорельсовой дороги, владельцы промышленных и жилых зданий, расположенных вдоль трассы монорельсовой дороги, а также владельцы торговых предприятий, находящихся около этой дороги.

Вопросник имел целью установить, как пассажиры относятся к монорельсовой дороге по сравнению с другими видами скоростного транспорта и при каких условиях владельцы личных автомобилей согласились бы не пользоваться ими для служебных поездок в черте города при наличии монорельсовой дороги. При этом задавались различные соотношения стоимости и времени поездки. В стоимость проезда включались все расходы, связанные с поездкой (т. е. стоимость билета или расходы на топливо и оплату стоянок автомобиля), а время проезда определялось как время сообщения «от двери до двери» (т. е. с учетом времени подхода к начальной и конечной остановкам, времени в пути и времени установки автомобиля на стоянку).

Основным выводом, полученным из анализа ответов этой категории опрошенных, является заключение о том, что при нали-

ции монорельсовой дороги значительное количество владельцев автомобилей перестанет пользоваться ими для деловых поездок, причем процент их будет тем больше, чем больше будет разрыв во времени поездки и расходах на нее. Результаты опроса пассажиров о сравнении монорельсовой дороги с другими видами транспорта (табл. 17) свидетельствуют о том, что подавляющее большинство пассажиров считают монорельсовую дорогу наилучшим видом общественного транспорта.

Т а б л и ц а 17

Итоги опроса пассажиров в Сизле

Сравниваемые виды транспорта	Количество пассажиров в %, считающих монорельсовую дорогу			
	лучше	равноценной	хуже	всего
Автобус	94,8	3,6	1,6	100,0
Наземная железная дорога	93,9	5,4	0,7	100,0
Городская железная дорога	96,6	1,3	2,1	100,0
Метрополитен	90,0	6,7	3,3	100,0
Автомобиль личного пользования	63,1	10,0	26,9	100,0

Ответы владельцев недвижимой собственности, расположенной вдоль трассы монорельсовой дороги, свидетельствовали об их отрицательном отношении к монорельсовой дороге. Они утверждали, что монорельсовая дорога ухудшает архитектуру района и снижает уровень ренты. Наоборот, владельцы расположенных вдоль трассы торговых и зрелищных предприятий отмечали положительные качества монорельсовой дороги, поскольку после прокладки дороги увеличились товарооборот и сборы их предприятий.

Опыт строительства и эксплуатации монорельсовых дорог различной конструкции показывает, что выбор наиболее экономичного и удобного вида общественного транспорта связан часто с весьма большими трудностями. При оценке монорельсового транспорта должны быть рассмотрены требуемые капиталовложения для строительства дороги, уровень эксплуатационных расходов и ожидаемые доходы. Эти факторы могут быть оценены количественно. Большое значение имеет и влияние нового вида транспорта на архитектуру города, которое не может быть оценено количественно.

Однако в большинстве случаев недостаточно изолированного рассмотрения преимуществ и недостатков только монорельсовой дороги — необходимо анализировать относительные возможности всех видов транспорта в конкретных условиях. В большинстве

случаев радикальные изменения в транспортной схеме городов возможны только при весьма значительных капиталовложениях.

Наряду с повышением безопасности движения по сравнению со всеми видами наземного транспорта опыт эксплуатации монорельсовых дорог подтвердил, что дополнительными преимуществами дорог этого типа являются исключительно высокое качество хода экипажей, практически не достижимое у обычных видов транспорта, и возможность постройки дороги над улицами почти без помех существующему транспорту. Как видно из рис. 115, опоры двухпутной монорельсовой дороги легко размещаются в разделительной полосе автомобильной дороги, и занимаемая

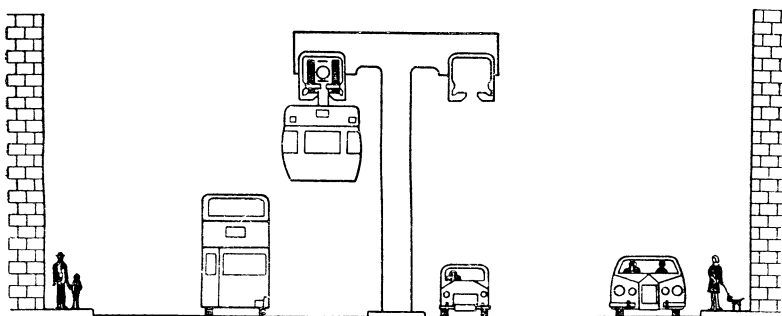


Рис. 115. Расположение монорельсовой дороги вдоль городской улицы

ими площадь не более площади квадрата со стороной 1,2 м на расстоянии 30 м одна от другой. Кроме того, вход в здания со станций монорельсовой дороги может быть обеспечен непосредственно с уровня второго этажа (рис. 116), что облегчает решение многих градостроительных задач.

Большим достоинством монорельсовых дорог является возможность преодоления значительных расстояний (при проходе над железными дорогами, транспортными пересечениями, каналами, реками и т. д.) с помощью порталных рам-пилонов T-образной формы и усиления сечения длиннопролетных балок. У подвесных дорог системы САФЕЖЕ усиление ходовой балки достигается путем увеличения сечения верхней части коробчатой балки и не вызывает необходимости подъема над поверхностью земли поверхностей качения (рис. 117). У навесных дорог усиление длиннопролетных ходовых балок возможно путем увеличения их высоты, что при соблюдении нормы просвета до проезжей части дорог требует несколько более высокого расположения поверхностей качения над уровнем поверхности земли. Это обстоятельство у подвесных монорельсовых дорог приводит к необходимости увеличения высоты опор, тогда как у навесных дорог она практически не меняется.

Наличие колес с пневматическими шинами обеспечивает, помимо высокого качества хода и бесшумности движения экипажа, также высокий коэффициент сцепления между колесами и ходовыми дорожками и, как следствие этого, позволяет реализовать общие высокие динамические характеристики экипажа. При сравнении этих экипажей с экипажами электрифицированного транспорта по приведенному параметру ускорения, т. е. ускорению пуска, обеспечиваемому установленной мощностью, отнесенной к весу тары экипажа, получаем следующее. При низких скоростях

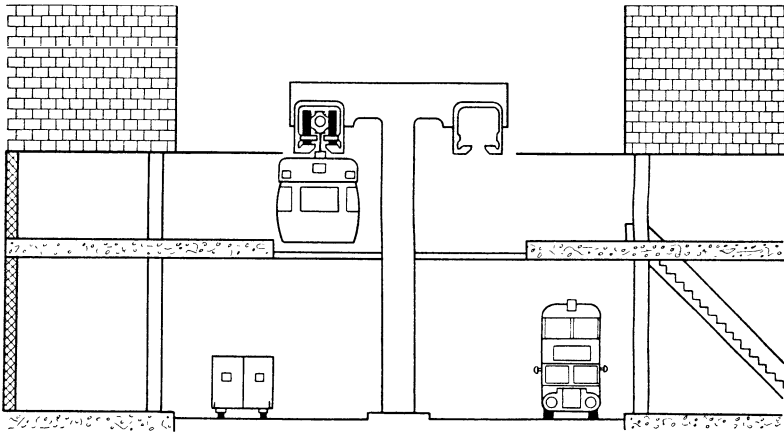


Рис. 116. Размещение монорельсовой дороги на улице со станцией в здании на уровне второго этажа

движения большая величина приведенного параметра ускорения характеризует возможность реализации высоких пусковых ускорений (в том числе и по сцеплению колес), а при высоких скоростях движения с увеличением этого параметра возрастает способность подвижного состава преодолевать аэродинамическое сопротивление, которое по сравнению с сопротивлением качению быстро увеличивается.

Наличием у вагонов монорельсовых дорог пневматических шин и высоких приведенных параметров ускорения обуславливается их наибольшая приспособленность как к городским условиям, так и к условиям скоростных магистральных дорог.

При использовании для современных городских пассажирских монорельсовых дорог исключительно колес с пневматическими шинами установлено, что основное влияние как на размеры ходовых балок (навесного и подвесного типов), так и на ходовые качества экипажей оказывают размеры шин и их характеристика.

Практика эксплуатации многих дорог и проводимые на них исследования и испытания показали, что при заданных характе-

ристик шин (зависящих часто от уровня развития шинной промышленности) увеличение веса экипажа и повышение скоростей движения может быть компенсировано только соответствующим увеличением размеров шин. В случае использования навесных монорельсовых дорог это приводит к еще большему увеличению части кожухов колес, располагаемой внутри пассажирского помещения, и может вызвать увеличение ширины ходовых балок;

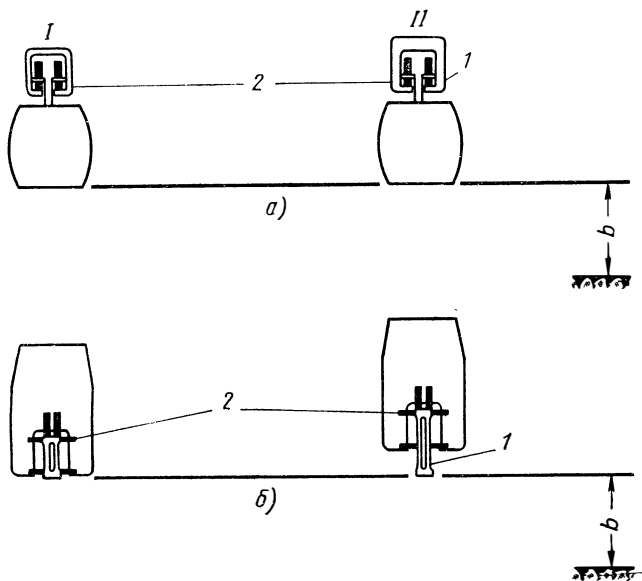


Рис. 117. Изменение сечения длиннопролетных балок у монорельсовых дорог:

a — подвесных; *б* — навесных; *I* — типовые ходовые балки; *II* — длиннопролетные балки; *b* — расстояние до поверхности земли; *1* — усиленные поперечные сечения; *2* — поверхность качения колес

в подвесных монорельсовых дорогах системы САФЕЖЕ увеличение размеров колес влечет за собой соответствующее повышение размеров коробчатой балки.

Опыт эксплуатации монорельсовой дороги Токио—Ханеда позволяет оценить долговечность работы колес с пневматическими шинами в условиях навесных монорельсовых дорог. На этой дороге пробег шин ходовых колес без смены дорожек протектора достигает 70 тыс. км, а горизонтальных направляющих колес — 200 тыс. км. Отмечается, что за время эксплуатации дороги шины направляющих колес ни разу не заменялись.

Оценено влияние на износ шин конструкции ходовых частей вагонов монорельсовой дороги. Оси ходовых колес вагонов монорельсовой дороги Токио—Ханеда имеют жесткую систему креп-

ления. Введение поворотных ходовых тележек должно увеличить пробег пневматических шин ходовых колес до 100 тыс. км.

Опыт строительства и эксплуатации монорельсовых дорог подтвердил большое влияние на характеристики дороги унификации основных элементов эстакад и правильного выбора скорости движения. При заданных объемах перевозочной работы большое значение имеет выбор правильных соотношений между размерами подвижного состава и элементами конструкций эстакады, причем последние должны соответствовать установившемуся типу строительных конструкций. Принятые размеры ходовых балок и расстояний между опорами должны обеспечивать минимум общей стоимости строительства (рис. 118).

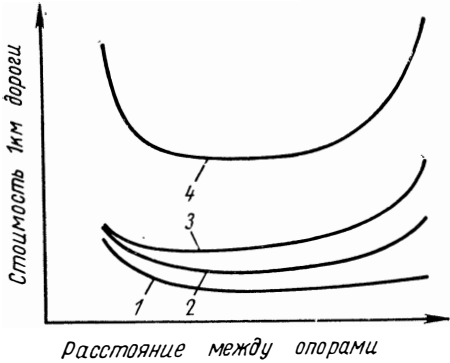


Рис. 118. Изменение стоимости постройки монорельсовой дороги и основных ее элементов в зависимости от расстояния между опорами ходовой балки:

1 — фундаменты; 2 — опоры; 3 — ходовые балки; 4 — вся дорога

ци основных элементов эстакад и правильного выбора скорости движения. При заданных объемах перевозочной работы большое значение имеет выбор правильных соотношений между размерами подвижного состава и элементами конструкций эстакады, причем последние должны соответствовать установившемуся типу строительных конструкций. Принятые размеры ходовых балок и расстояний между опорами должны обеспечивать минимум общей стоимости строительства (рис. 118).

Скоростные характеристики экипажей также влияют на экономичность транспортной системы в целом, так как, с одной стороны, с увеличением скорости движения сокращается потреб-

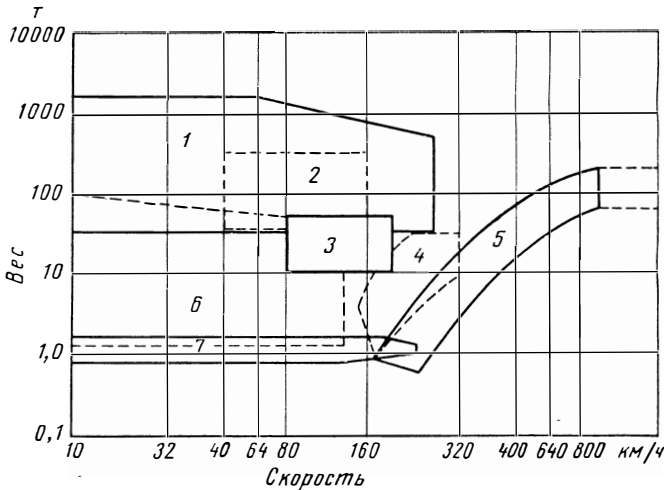


Рис. 119. Зависимость веса экипажей от скорости для различных видов транспорта:

1 — железнодорожный подвижной состав; 2 — транспортные средства на воздушной подушке; 3 — вагоны монорельсовых дорог; 4 — вертолеты; 5 — самолеты; 6 — автомобильные поезда; 7 — автомобили

ное количество экипажей и бригад обслуживающего персонала, а с другой — повышение скоростей требует увеличения силы тяги и количества потребляемой энергии, связанного также с размерами токосяемных рельсов и затратами на строительство тяговых подстанций. Поэтому правильный выбор скорости движения на монорельсовой дороге является одним из основных средств оптимизации всей системы (рис. 119).

Нахождение оптимальных соотношений между всеми строительными и эксплуатационными факторами с учетом использования минимума нестандартных элементов конструкций подвижного состава и стационарных устройств (что позволяет реализовать преимущества использования продукции массового производства) может быть достигнуто только с помощью новейших счетно-решающих устройств.



ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ МОНОРЕЛЬСОВЫХ ДОРОГ

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

В СССР пока еще нет монорельсовых дорог, поэтому с основными стоимостными показателями сооружения и эксплуатации таких дорог можно ознакомиться только по данным зарубежной практики или по данным отечественных проектов.

На стоимостные показатели монорельсовых дорог влияют план и профиль трассы, объем пассажироперевозок, размещение жилых и промышленных районов в городе, застройка по направлению трассы и т. п.

Экономическая эффективность различных видов транспорта определяется по приведенным строительно-эксплуатационным расходам, которые подсчитываются по формуле

$$K_n = \mathcal{E} + K\Delta,$$

где \mathcal{E} — годовые эксплуатационные расходы;

K — капиталовложения;

Δ — коэффициент эффективности.

Для транспорта коэффициент эффективности принимается 0,1 (при условном сроке окупаемости 10 лет).

Наиболее экономичным видом транспорта будет тот, для которого приведенные строительно-эксплуатационные расходы окажутся наименьшими.

Приведенные выше данные показывают, что монорельсовые дороги рассматриваются в настоящее время как средство облегчения транспортных затруднений в больших городах и как новый вид транспорта для районов с неблагоприятными климатическими и геологическими условиями.

Для оценки экономической эффективности монорельсовых дорог в условиях крупных городов рассмотрим три варианта размещения жилых и промышленных районов города при среднем рельефе и определим размеры капиталовложений, необходимых для постройки двухпутной линии длиной 20 км монорельсовой дороги, метрополитена мелкого заложения, трамвая, троллейбуса и автобуса, а также размеры эксплуатационных расходов на этих видах транспорта при освоении различных объемов пассажирских перевозок.

В первом варианте (рис. 120, а) вылетные и пригородные линии связывают город с промышленным районом, аэродромом, городом-спутником и т. п.; во втором (рис. 120, б) — промышленные районы расположены между двумя жилыми районами (Магнитогорск, Миасс и др.) и связь между ними осуществляется городскими и пригородными линиями; в третьем (рис. 120, в) промышленные районы и учреждения равномерно расположены в городе и транспортное обслуживание обеспечивается городскими линиями.

Наиболее важным при определении капиталовложений является объем перевозок в часы пик в одном направлении по наиболее загруженному перегону.

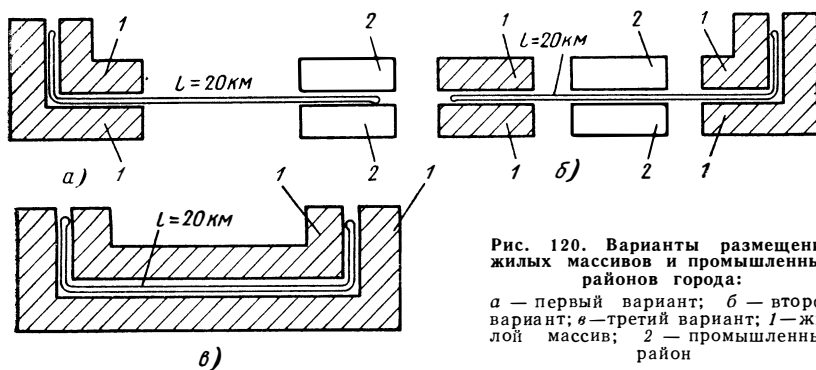


Рис. 120. Варианты размещения жилых массивов и промышленных районов города:

а — первый вариант; б — второй вариант; в — третий вариант; 1 — жилой массив; 2 — промышленный район

При определении эксплуатационных показателей и себестоимости перевозок наибольшее значение имеет полный объем пассажироперевозок в год.

При одинаковых объемах пассажироперевозок в часы пик в одном направлении по наиболее загруженному перегону в зависимости от условий застройки, количества остановочных пунктов, средней дальности перевозок и других факторов полный объем перевозок в год будет различным.

В первом варианте (рис. 120, а) он будет наименьшим, а в третьем (рис. 120, в) — наибольшим. Например, в первом варианте при расстоянии между остановками 4 км и объеме перевозок в часы пик в одном направлении по наиболее загруженному перегону 5 тыс. человек объем перевозок в часы пик по всем перегонам в обоих направлениях принимался равным 7,5 тыс. человек, так как предполагалось, что в обратном направлении будет следовать 1 тыс. человек и внутри города и в промышленном районе еще 1500 человек, которые сойдут с поезда или войдут в него до или после наиболее загруженного перегона. Среднее расстояние перевозок для первого варианта составляло 14 км. Продолжительность работы транспорта в течение суток принималась равной 18 ч, а в часы пик 5 ч. Объем перевозок в остальные

часы суток принимался равным 30% объема перевозок в часы пик. Было признано, что объем перевозок в выходные дни составляет 50% объема перевозок в рабочие дни. Соответственно при объеме перевозок в часы пик в одном направлении по наиболее загруженному перегону 5 тыс. человек в час годовой объем перевозок составит 22 млн. человек.

Для второго варианта (рис. 120, б) при расстояниях между остановками 3 км, средней дальности поездки 9 км, объеме перевозок в обычные часы 35% объема перевозок в часы пик и объеме перевозок по наиболее загруженному перегону в одном направлении 5 тыс. человек годовой объем перевозок составит 31 млн. человек.

Для третьего варианта при расстоянии между остановками 2 км, средней дальности поездки 5 км, объеме перевозок в обычные

Таблица 18

Основные показатели, необходимые для подсчета экономической эффективности различных видов транспорта

Показатели	Первый вариант				Второй вариант				Третий вариант			
	Монорельсовая дорога	Метрополитен	Трамвай	Троллейбус	Монорельсовая дорога	Метрополитен	Трамвай	Троллейбус	Монорельсовая дорога	Метрополитен	Трамвай	Троллейбус
Участковые скорости при времени стоянки 30 сек в км/ч	70	50	30	26	60	40	25	22	50	35	20	18
Расстояние между остановочными пунктами в км	4	4	2	2	3	3	1,5	1,5	2	2	1	1
Продолжительность работы транспорта в сутки в ч	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
Продолжительность работы транспорта в часы пик в ч	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Среднее расстояние поездки в км	14	14	14	14	9	9	9	9	5	5	5	5
Объем перевозок в часы пик в одном направлении на одном перегоне в %	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Коэффициент, учитывающий объем перевозок по всей линии в обоих направлениях, в ч	1,5	1,5	1,5	1,5	2,0	2,0	2,0	2,0	4,0	4,0	4,0	4,0
Объем перевозок в обычные часы суток по сравнению с часами пик в %	30	30	30	30	35	35	35	35	40	40	40	40

часы 40% объема перевозок в часы пик годовой объем перевозок равен 67 млн. человек.

В табл. 18 приведены основные усредненные показатели, принятые при подсчете экономической эффективности различных видов транспорта.

СТОИМОСТЬ СТРОИТЕЛЬСТВА

В зависимости от рельефа, плотности застройки, объема пассажирских перевозок, размещения промышленных объектов и жилых районов города стоимость строительства (включая подвижной состав) 1 км двойного пути различных видов городского и пригородного транспорта колеблется в значительных пределах. Если по обычным видам городского и пригородного транспорта, а именно трамваю, троллейбусу и метрополитену, на основании имеющегося отечественного опыта проектирования, строительства и эксплуатации можно достаточно точно определить строительно-эксплуатационные затраты в различных условиях работы транспорта, то для монорельсовых дорог эти затраты можно определить только с некоторой степенью приближения.

Данные по стоимости строительства монорельсовых дорог за рубежом весьма разнообразны и часто зависят от конъюнктурных соображений. Кроме того, большой удельный вес в стоимости строительства монорельсовых дорог за рубежом составляет стоимость отчуждения земель. Полная стоимость 1 км двухпутной дороги в Сиэтле составила около 2 млн. руб., а в Токио — 3,1—3,7 млн. руб. При этом надо иметь в виду, что дорога в Токио проходит в очень тяжелых условиях и большей частью по морскому заливу на глубоких кессонных фундаментах. В черте города во избежание больших затрат на отчуждение земель (стоимость 1 м² земли в Токио составляет около 2,5 тыс. руб.) эта дорога проходит в основном на высоте 20—25 м от земли, т. е. над двух- и трехэтажными зданиями.

Для подвесных монорельсовых дорог системы САФЕЖЕ, проектируемых к постройке в Англии, проведены многочисленные вариантные расчеты. Они показали, что, например, при провозной способности в часы пик 5 тыс. пассажиров (вариант А) и 10 тыс. пассажиров (вариант Б), имеющих трассу длиной в пределах от 8 до 25 км с промежуточными остановками, расположенными на расстоянии 0,8 км друг от друга, капиталовложения на 1 км дороги колеблются в пределах 0,81—1,50 млн. руб. для варианта А и в пределах 0,9—1,54 млн. руб. для варианта Б. Эти стоимости определены для средних условий и включают расходы по сооружению всех устройств монорельсовой дороги в предположении, что дорога полностью проходит над поверхностью земли, имеет извилистую трассу и пересекает как городские, так и пригородные районы. Стоимость полосы отчуждения не учтена.

Последние данные, определенные во Франции для монорельсовой дороги на воздушной подушке, свидетельствуют о том, что 1 км двухпутной эстакады такой дороги будет стоить 370 тыс. руб. (постройка 1 км обычного железнодорожного пути стоит 0,44—0,8 млн. руб., а 1 км современной автострады для движения автомобилей в четыре ряда — 550 тыс. руб.). Стоимость постройки 1 км однопутной эстакады этого типа определена равной 180 тыс. руб., а общая стоимость постройки 1 км двухпутной дороги со всеми устройствами и подвижным составом оценивается в 1,71 млн. руб. При этом стоимость одномоторного аэропоезда на 80 пассажиров определена равной 270—320 тыс. руб., а на 180 пассажиров — 450—540 тыс. руб.

Имеющиеся материалы свидетельствуют, что, как правило, стоимость построенных и проектируемых за рубежом монорельсовых дорог составляет 15—31% стоимости метрополитена для той же трассы, т. е. обходится дешевле строительства метрополитена в 3—6 раз.

Стоимость строительства эстакады по данным зарубежного опыта и по проектам, выполненным институтами Промтранспроект и Метрогипротранс, в зависимости от объема пассажирских перевозок составляет 40—70% общей стоимости строительства. При больших объемах пассажирских перевозок значительную долю в стоимости монорельсовой дороги составляет стоимость подвижного состава.

В табл. 19 приводится расчетная стоимость строительства двух систем монорельсовых дорог протяжением 20 км с вылетными линиями (связь города с промышленным районом, городом-спутником, аэродромом и т. п.) для средних условий рельефа и за-

Таблица 19

Стоимость строительства в руб. двухпутной монорельсовой дороги

Вид затрат	Навесная дорога системы Алвег (железобетонная)				Подвесная дорога французской системы (металлическая)			
	Число пассажиров, перевезенных в час							
	5000	10 000	20 000	30 000	5000	10 000	20 000	30 000
Подготовительные работы	220	220	220	220	220	220	220	220
Эстакада	10 140	10 140	10 140	10 140	14 000	14 000	14 000	14 000
Контактная сеть	180	180	180	180	180	180	180	180
Остановочные платформы	200	250	350	550	200	250	350	550
Тяговые подстанции	360	480	960	1 560	360	480	960	1 560
СЦБ и связь	260	280	300	320	260	280	300	320
Деповские устройства	700	880	1 260	1 640	770	960	1 400	1 810
Общестроительные расходы	2 540	2 680	2 940	3 120	3 510	3 650	3 910	4 190
Подвижной состав	1 210	2 420	4 840	7 260	1 040	2 180	4 360	6 540
Итого	15 810	17 480	21 190	24 950	18 540	22 320	25 680	29 370
Затраты на 1 км пути	791	874	1 059	1 248	927	1 116	1 284	1 469

стройки, при расстояниях между остановками 4 км в зависимости от объема пассажирских перевозок в часы пик в одном направлении.

Как видно из табл. 19, даже для наиболее благоприятных условий строительства монорельсовой дороги с вылетными линиями стоимость 1 км ее достаточно высока и колеблется в зависимости от объема пассажирских перевозок и типа дороги от 0,8 до 1,5 млн. руб. Стоимость строительства эстакады составляет 41—65%, а стоимость подвижного состава — 8—29%.

Приведенные выше показатели для монорельсовых дорог характерны в основном только для первого варианта (см. рис. 120, а) размещения жилых и промышленных районов города. При втором (см. рис. 120, б) и особенно при третьем (см. рис. 120, в) вариантах размещения жилых и промышленных районов города стоимость строительства монорельсовых дорог возрастет, так как потребуются более частые площадки для остановок при худших условиях для их строительства и устройств подходов к ним для пассажиров, уменьшатся участковые скорости движения, что вызовет большую потребность в подвижном составе, а следовательно, и более дорогих деповских устройствах. Кроме того, увеличится стоимость подготовительных работ по переустройству коммуникаций и сносу строений.

В табл. 20 по данным научно-исследовательских и проектных работ, выполненных в 1962—1965 гг., приведены сравнительные стоимости строительства двухпутных навесных монорельсовых дорог для трех вариантов размещения жилых и промышленных районов города при разных объемах пассажирских перевозок в часы пик в одном направлении для линии протяжением 20 км.

Т а б л и ц а 20

Стоимость строительства в тыс. руб. двухпутной навесной монорельсовой дороги системы Алвег

Показатели	Число пассажиров, перевозимых в час в одном направлении			
	5000	10 000	20 000	30 000
	Первый вариант (см. рис. 120, а)			
Полная стоимость строительства . . .	15 810	17 480	21 190	24 950
Стоимость 1 км двойного пути . . .	791	874	1 059	1 248
	Второй вариант (см. рис. 120, б)			
Полная стоимость строительства . . .	16 980	18 940	23 000	28 200
Стоимость 1 км двойного пути . . .	849	947	1 150	1 410
	Третий вариант (см. рис. 120, в)			
Полная стоимость строительства . . .	17 800	20 320	25 660	30 800
Стоимость 1 км двойного пути . . .	890	1 016	1 283	1 590

Стоимость строительства 1 км двойного пути навесной монорельсовой дороги колеблется в зависимости от условий размещения жилых и промышленных районов города и объемов пассажирских перевозок 5 — 30 тыс. человек в час в одном направлении по наиболее загруженному перегону при средних условиях рельефа и застройки от 0,8 до 1,6 млн. руб. Стоимость строитель-

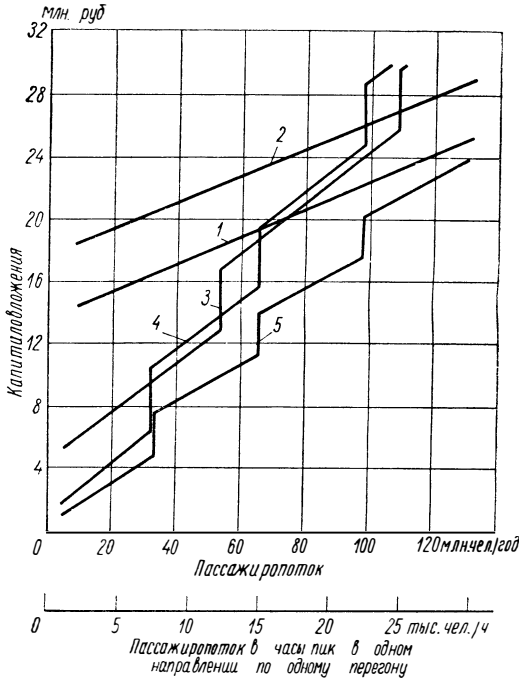


Рис. 121. Графики изменения капиталовложений для различных видов городского транспорта в зависимости от объема пассажирских перевозок для первого варианта (см. рис. 120, а) размещения промышленных и жилых районов города при длине трассы 20 км: 1 — навесная монорельсовая дорога системы Алвег; 2 — подвесная монорельсовая дорога с закрытой балкой (французская система); 3 — трамвай; 4 — троллейбус; 5 — автобус

ства 1 км двойного пути подвесной дороги французской системы в аналогичных условиях составит 0,95—1,9 млн. руб.

Полная стоимость строительства навесной монорельсовой дороги в Киеве протяженностью 1,8 км по сметно-финансовым расчетам Промтрансниипроекта составила 1299 тыс. руб., в том числе эстакада и две станции — 718 тыс. руб., стрелочный перевод — 112 тыс. руб., энергоснабжение и контактная сеть — 54 тыс. руб., СЦБ и связь 27 тыс. руб., изыскание и проектирование — 121 тыс. руб., общестроительные затраты — 267 тыс. руб.

На рис. 121 приведен график капиталовложений для различных видов городского транспорта в зависимости от объемов пасса-

жирских перевозок для первого варианта размещения жилых и промышленных районов города (см. рис. 120, а).

Усредненные стоимостные показатели по трамваю, троллейбусу и автобусу по видам затрат были подсчитаны по данным конкретных проектов.

Для троллейбусного и автобусного транспорта при объеме перевозок до 7,5 тыс. пассажиров в час не учитывалась стоимость строительства автомобильных дорог в предположении, что при трамвайном и монорельсовом транспорте они также необходимы.

При автобусном, троллейбусном и трамвайном транспорте в связи с небольшими участковыми скоростями движения значительно увеличится в процентном отношении стоимость приобретения подвижного состава. Например, при объеме перевозок 10 тыс. пассажиров в час стоимость подвижного состава для монорельсовой дороги составит 14% общей стоимости строительства, в то время как для трамвая, троллейбуса и автобуса — около 30%.

В табл. 21 приведена сравнительная стоимость 1 км двойного пути вылетных линий монорельсовой дороги, метрополитена открытого типа и мелкого заложения (для первого варианта) в зависимости от объема пассажирских перевозок в часы пик в одном направлении.

Т а б л и ц а 21

**Сравнительная стоимость 1 км двойного пути вылетных линий
в тыс. руб.**

Вид транспорта	Число пассажиров, перевезенных в час.			
	5 000	10 000	20 000	30 000
Монорельсовая навесная дорога	791	874	1059	1248
Открытый метрополитен	1290	1350	1480	1620
Метрополитен мелкого заложения	3580	3670	3780	3920

Примечание. Стоимость строительства метрополитена приведена по данным Академии коммунального хозяйства им. Панфилова.

По стоимостным показателям при объеме перевозок до 15—20 тыс. пассажиров в час стоимость строительства монорельсовой дороги значительно выше, чем обычных видов транспорта (трамвая, троллейбуса, автобуса). В то же время стоимость строительства навесных монорельсовых дорог на 20—40% ниже, чем открытых линий метрополитена, и в 3 раза ниже, чем метрополитена мелкого заложения.

Стоимость строительства 1 км двухпутных симметричных монорельсовых дорог в зависимости от объемов перевозок составляет 0,8—1,9 млн. руб.

Стоимость строительства асимметричных дорог (типа Хаустонской, Даллаской и др.) при расчетных скоростях до 100 км/ч на 20—30% ниже.

Стоимость строительства грузо-пассажирских монорельсовых дорог для условий с неблагоприятными рельефно-климатическими и геологическими условиями может быть оценена на основе выполненных проектных и научно-исследовательских работ по выбору вариантов транспортного освоения таких районов, как Камчатка и Западная Сибирь. При этом следует учитывать, что трудность

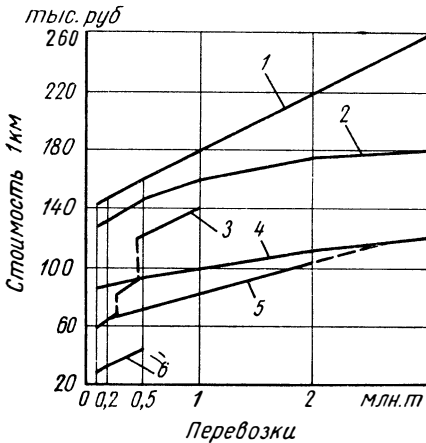


Рис. 122. Стоимость строительства магистральных дорог различных типов в условиях севера Западной Сибири

определения многих технических и эксплуатационных параметров дорог перспективного, еще не построенного типа не могла не привести в некоторой степени к ориентировочным общим выводам.

В процессе разработки описанной выше Камчатской монорельсовой дороги были проанализированы строительные и эксплуатационные расходы для следующих видов транспорта: подвесной монорельсовой дороги, железной дороги (колеи 1524 и 750 мм) и автомобильной дороги IV категории. Сопоставление итоговых технико-экономических параметров показало, что стоимость сооружения 1 км монорельсовой дороги среднего типа (с подвижным составом грузоподъемностью 8—10 т) оказалась наименьшей, стоимость железной дороги с нормальной колеей — выше в 3,6 раза, автомобильной дороги — до 2 раз и железной дороги с узкой колеей — в 1,75 раза.

При сопоставлении различных видов транспорта в условиях севера Западной Сибири анализировалась стоимость строительства, отнесенная не только к единице длины (1 км), но и к единице перевозочной работы (1 ткм). Полученные данные (табл. 22 и рис. 122) показали, что для перспективных размеров грузооборота (1,0—3,0 млн. т) наиболее экономичными являются монорельсовые дороги среднего и тяжелого типов. Так, при объеме перевозок в грузовом направлении 1,0 млн. т (1,5 млн. т с учетом негрузового направления) стоимость постройки 1 км монорельсовой дороги среднего типа равна 82,0 тыс. руб., что на 72% ниже стоимости постройки автомобильной дороги (140,5 тыс. руб.) и на 220% дешевле строительства в этом районе железной дороги с нормальной колеей (180,0 тыс. руб.).

**Стоимость строительства магистральных дорог различных видов
в условиях севера Западной Сибири в тыс. руб. на 1 км (в числителе)
и в коп. на 1 т·км (в знаменателе)**

Вид транспорта	Объем перевозок в млн. т					
	0,1; 0,15 *	0,2; 0,3 *	0,5; 0,75 *	1,0; 1,5 *	2,0; 3,0 *	3,0; 4,5 *
Автомобильная дорога с капитальным покрытием (кривая 3, рис. 122)	61,5 <u>41,0</u>	68,0 <u>22,7</u>	120,5 <u>16,0</u>	140,5 <u>9,4</u>	—	—
Обычная железная дорога с тепловозной тягой (кривая 2)	128,0 <u>85,3</u>	135 <u>45,0</u>	147 <u>19,5</u>	160 <u>10,7</u>	175 <u>5,8</u>	180 <u>4,0</u>
То же, в северных районах (кривая 1)	143 <u>95,3</u>	148,5 <u>49,5</u>	160 <u>21,4</u>	180 <u>12,0</u>	220 <u>7,3</u>	260 <u>5,8</u>
Монорельсовая дорога:						
тяжелого типа (кривая 4)	86,5 <u>57,8</u>	87,0 <u>29,0</u>	94,0 <u>12,5</u>	98,0 <u>6,6</u>	113,0 <u>3,8</u>	131,0 <u>2,7</u>
среднего » (кривая 5)	—	66,0 <u>22,0</u>	72,0 <u>9,6</u>	82,0 <u>5,5</u>	104,0 <u>3,5</u>	—

* С учетом негрузового направления.

При отнесении строительной стоимости к 1 т·км перевозочной работы сравниваемые виды транспорта в этих условиях имеют следующие показатели: монорельсовая дорога среднего типа 5,5 коп., автомобильная дорога 9,4 коп. и железная дорога с нормальной колеей 12,0 коп.

Наиболее дешевыми зимними автодорогами (кривая 6) можно пользоваться только сезонно.

ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ РАСХОДЫ И СЕБЕСТОИМОСТЬ ПЕРЕВОЗОК

В связи с более высокими, чем на обычных видах городского транспорта, участковыми скоростями, меньшей потребностью в подвижном составе, а следовательно, и в обслуживающем персонале, а также меньшими расходами на содержание пути в зимнее время эксплуатационные расходы на монорельсовых дорогах и себестоимость перевозок на них ниже, чем на обычных видах городского транспорта. Это подтверждается как опытом эксплуатации монорельсовых дорог за рубежом, так и выполненными проектными проработками в Советском Союзе.

В течение более чем шестидесятилетнего периода эксплуатации монорельсовой дороги в Вуппертале (ФРГ) себестоимость перевозок по ней была на 20% ниже, чем на самом дешевом в отношении эксплуатационных затрат городском транспорте — трамвае.

Эксплуатационные расходы на монорельсовом транспорте значительно меньше, чем на метрополитене, в связи с меньшими амортизационными отчислениями на путь, более низким расходом электроэнергии на освещение и меньшими расходами на обслуживающий персонал.

Об экономичности эксплуатации малогабаритных монорельсовых дорог можно судить, например, по следующему факту. Описанная ранее монорельсовая дорога в Телеканаве (близ Лозанны), перевозящая до 8 тыс. пассажиров в час, при наличии на линии 20 поездов, вмещающих по 98 пассажиров, имеет установленную мощность на одно пассажироместо около 0,4 *квт*, т. е. примерно в 10—12 раз меньше, чем на современном трамвае.

При сопоставлении английского проекта монорельсовой дороги с поездами на воздушной подушке Ховеркрафт с высокоскоростной железнодорожной магистралью типа Нью-Токайдо подтверждаются большие преимущества монорельсовой дороги. Вследствие меньшего веса поезда и более низкого расположения вагонов (из-за отсутствия тележек) уменьшаются силы, воздействующие на эстакаду, и требуются тоннели меньших сечений.

Эксплуатационные расходы на такой монорельсовой дороге также будут меньше благодаря меньшему объему работ по ремонту вагонов и пути, а также вследствие относительно меньшего расхода энергии на разгон поезда и его тягу (из-за меньшей площади сечения вагонов и меньшего аэродинамического сопротивления).

Результаты расчета эксплуатационных расходов для монорельсовой дороги на воздушной подушке при различных объемах перевозок пассажиров и амортизационных сроках службы приведены в табл. 23.

В табл. 24 приведены размеры годовых эксплуатационных расходов для различных видов городского транспорта при объеме

Т а б л и ц а 23

Сравнительные эксплуатационные расходы монорельсовой дороги на 1 пассажиро-километр

Вид затрат	Число перевозимых пассажиров	
	2000	5000
Прямые эксплуатационные расходы без амортизации	0,006	0,0044
Амортизационные отчисления при сроке службы 25 лет	0,031	0,012
Прямые эксплуатационные расходы при сроке амортизации:		
25 лет	0,037	0,0164
50 »	0,0248	0,012

Годовые эксплуатационные расходы в тыс. руб. для различных видов транспорта

Вид затрат	Моно-рельсо-вая дорога Алвер	Метро-политен мелкого заложения	Трамвай	Трол-лейбус
Амортизация пути зданий и сооружений	408	1080	246	264
Амортизация подвижного состава	173	195	595	710
Заработная плата водителей	240	388	600	846
Ремонт и содержание подвижного состава	515	900	1050	1220
Ремонт и содержание пути	44	208	100	60
Ремонт и содержание прочих зданий и сооружений	100	322	50	30
Ремонт резины	96	—	—	220
Стоимость электроэнергии	516	820	204	376
Содержание управления охраны и прочего персонала	204	257	263	301
И т о г о	2296	4170	3168	4127
На 1 пассажиро-километр в коп.	0,38	0,68	0,51	0,67
» одного пассажира в коп.	5,4	9,5	7,1	9,4

пассажироперевозок 10 тыс. человек в часы пик в одном направлении для линии длиной 20 км при первом варианте размещения жилых и промышленных районов города (см. рис. 120, а).

При первом варианте размещения жилых и промышленных районов города в обычные (кроме пиковых) часы работы транспорта объем перевозок будет незначительным (до 30% объема перевозок в часы пик); кроме того, при этом варианте будет наибольшая средняя дальность поездки, в связи с чем себестоимость перевозок одного пассажира будет наивысшей. При втором, и особенно при третьем варианте, объем перевозок в обычные часы будет равен 30—40% объема перевозок в часы пик; значительно возрастет также объем пассажироперевозок в год при меньшей средней дальности поездки, так как трасса дороги с более частыми остановками проходит по более застроенным территориям.

Если при первом варианте при объеме перевозок 10 тыс. человек в часы пик в одном направлении по наиболее загруженному перегону годовой объем перевозок составит 40—50 млн. человек, то при втором варианте он будет равен 60—70 млн. человек, а при третьем — 100—130 млн. человек. Поэтому при примерно одинаковой во всех трех вариантах себестоимости перевозок 1 пасса-

жиро-километра стоимость перевозки одного пассажира при втором и третьем вариантах значительно снизится и составит (в коп.):

при втором варианте:		при третьем варианте (городской транспорт):	
на монорельсовом транспорте	3,7	на монорельсовом транспорте	2,1
на метрополитене	6,3	на метрополитене	4,0
» трамвае	5,1	» трамвае	2,9
» троллейбусе	6,2	» троллейбусе	3,9

На рис. 123 приведен график эксплуатационных расходов различных видов городского транспорта в зависимости от объемов пассажироперевозок для первого варианта размещения жилых

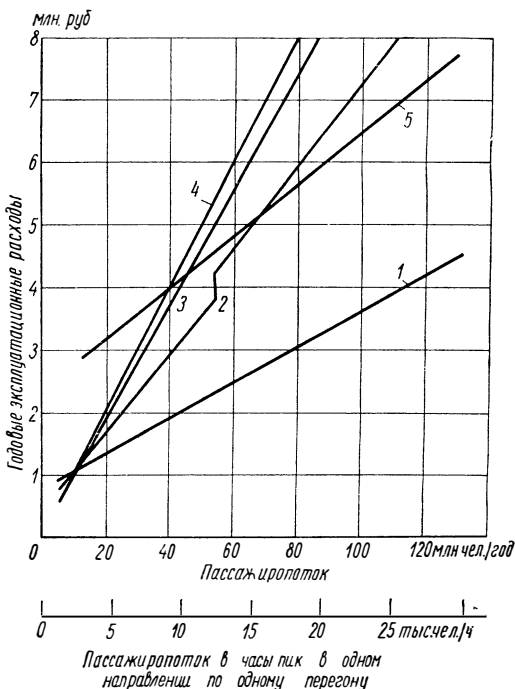


Рис. 123. Изменение годовых эксплуатационных расходов различных видов городского транспорта в зависимости от объемов пассажирских перевозок для первого варианта (см. рис. 120, а) размещения промышленных и жилых районов города при длине трассы 20 км:

1 — монорельсовая дорога; 2 — трамвай; 3 — троллейбус; 4 — автобус; 5 — метрополитен

и промышленных районов города. Эксплуатационные расходы на монорельсовом транспорте были подсчитаны при участковых скоростях движения 50—70 км/ч. При полном использовании мощностей двигателей эти скорости можно увеличить до 80—100 км/ч, но при этом резко возрастет расход электроэнергии и,

несмотря на уменьшение количества подвижного состава, эксплуатационные расходы несколько увеличатся.

Для грузо-пассажирских монорельсовых дорог в неблагоприятных климатических условиях эксплуатационные расходы оказываются обычно наименьшими вследствие почти полного отсутствия затрат на борьбу со снежными заносами, которые для всех дорог со сплошным земляным полотном составляют значительную долю общих эксплуатационных расходов. Так, для Камчатской монорельсовой дороги годовые эксплуатационные расходы определены в сумме 4,2 млн. руб., что составляет менее $\frac{1}{5}$ эксплуатационных расходов для автомобильной дороги в тех же условиях (22,3 млн. руб.).

В условиях севера Западной Сибири монорельсовые дороги среднего и тяжелого типа при всех размерах грузооборота имеют наименьшие эксплуатационные расходы (табл. 25 и рис. 124).

Таблица 25

**Эксплуатационные расходы в тыс. руб. на 1 км (в числителе)
и средняя себестоимость в коп. 1 т·км (в знаменателе)
магистральных дорог для различных видов транспорта
в условиях севера Западной Сибири**

Вид транспорта	Объем перевозок в млн. т					
	0,1	0,2	0,5	1,0	2,0	3,0
Автомобильная дорога с капитальным покрытием	$\frac{7,3}{7,9}$	$\frac{13,5}{7,3}$	$\frac{15,4}{6,9}$	$\frac{41,6}{6,8}$	—	—
Обычная железная дорога с тепловозной тягой	$\frac{7,4}{4,9}$	$\frac{7,5}{2,5}$	$\frac{7,9}{1,06}$	$\frac{8,5}{0,57}$	$\frac{10,3}{0,33}$	$\frac{11,1}{0,24}$
То же, в северных районах	$\frac{9,2}{6,0}$	$\frac{9,8}{3,5}$	$\frac{11,9}{2,0}$	$\frac{15,2}{1,0}$	$\frac{21,6}{0,75}$	$\frac{28,0}{0,70}$
Монорельсовая дорога:						
тяжелого типа	$\frac{3,4}{2,25}$	$\frac{3,66}{1,22}$	$\frac{4,7}{0,63}$	$\frac{6,3}{0,42}$	$\frac{10,1}{0,33}$	$\frac{14,3}{0,32}$
среднего »	$\frac{3,7}{2,43}$	$\frac{4,3}{1,3}$	$\frac{6,2}{0,83}$	$\frac{10,4}{0,68}$	$\frac{23,0}{0,55}$	—

При грузообороте 1,0 млн. т в грузовом направлении эксплуатационные расходы на монорельсовых дорогах (6,3—10,4 тыс. руб. на 1 км соответственно для дорог тяжелого и среднего типов) на 240—145% меньше эксплуатационных расходов для железной дороги с нормальной колеей (15,2 тыс. руб. на 1 км) и в 6,6—4,0 раза меньше, чем на автомобильной дороге (41,6 тыс. руб. на 1 км).

Себестоимость перевозок на монорельсовой грузо-пассажирской дороге в условиях Камчатки при дальности транспортирования

свыше 100 км получена равной 1,6 коп. на 1 т·км, что почти вдвое меньше себестоимости перевозок по железной дороге с узкой колеей (3,0 коп. на 1 т·км), втрое ниже, чем по железной дороге с нормальной колеей (5,0 коп. на 1 т·км) и в 5,5 раза меньше себестоимости перевозок на автомобилях (8,6 коп. на 1 т·км).

В условиях севера Западной Сибири средняя себестоимость перевозок при объеме пе-

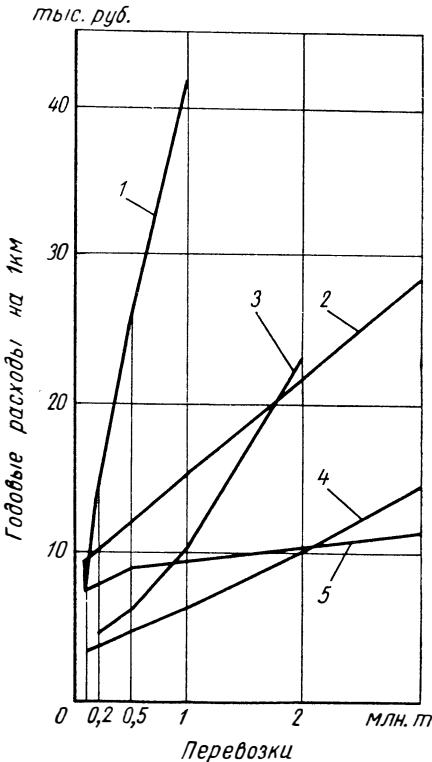


Рис. 124. Эксплуатационные расходы на дорогах различного типа в условиях севера Западной Сибири:

1 — автомобильная дорога; 2 — железная дорога в северных районах; 3 и 4 — монорельсовые дороги соответственно среднего и тяжелого типов; 5 — железная дорога в обычных условиях

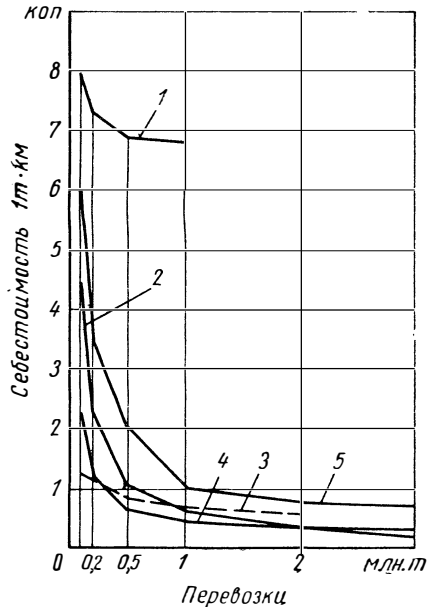


Рис. 125. Себестоимость перевозок на дорогах различных типов в условиях севера Западной Сибири:

1 — автомобильная дорога; 2 — железная дорога в обычных условиях; 3 и 4 — монорельсовые дороги соответственно среднего и тяжелого типов; 5 — железная дорога в северных районах

ревозок 1,0 млн. т (см. табл. 25 и рис. 125) для монорельсовых дорог тяжелого (0,42 коп. на 1 т·км) и среднего (0,68 коп. на 1 т·км) типов в 2,4—1,5 раза меньше себестоимости перевозок по железной дороге в этих условиях (1,0 коп. на 1 т·км) и в 16—10 раз меньше себестоимости перевозок по автомобильной дороге (6,8 коп. на 1 т·км).

Из анализа приводимых данных видно, что, несмотря на почти 10-летний период, прошедший со времени разработки проекта монорельсовой дороги для Камчатки до момента выбора типа

транспорта для района севера Западной Сибири, общая закономерность изменения эффективности различных видов транспорта в условиях с неблагоприятным климатом остается той же.

СТРОИТЕЛЬНО-ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ЗАТРАТЫ

В зависимости от условий размещения жилых и промышленных районов города, а также объемов пассажироперевозок сферы экономической эффективности применения различных видов транспорта различны.

В табл. 26 приведены основные экономические показатели для трех вариантов размещения жилых и промышленных районов в городе (см. рис. 120), а на рис. 126, *а*, *б* и *в* приведено сопоставление строительно-эксплуатационных затрат монорельсового транспорта, трамвая, троллейбуса и автобуса для данных вариантов.

В рассматриваемых условиях монорельсовый транспорт может быть экономически выгоден при объемах пассажироперевозок более 7 тыс. человек в часы пик в одном направлении по одному перегону или при годовых перевозках более 30 млн. человек для первого варианта, более 50 млн. человек для второго варианта, более 100 млн. человек для третьего варианта.

По расчетам Академии коммунального хозяйства им. Панфилова монорельсовые дороги должны рассматриваться как наиболее рентабельный вид массового городского общественного транспорта, начиная с пассажиропотока 3,5—4,0 тыс. человек в часы пик (рис. 127).

Метрополитен мелкого заложения при средних условиях застройки и рельефа будет иметь большие, чем у монорельсового транспорта, строительные и эксплуатационные затраты. Однако следует иметь в виду, что при больших объемах пассажироперевозок (свыше 30 тыс. человек в час в одном направлении) на монорельсовом транспорте могут возникнуть значительные трудности по устройству наземных высотных станций и по организации подходов и выходов для пассажиров.

Кроме того, не всегда по направлениям наиболее грузонапряженных трасс могут иметься достаточной ширины улицы для прокладки эстакады монорельсовой дороги (без ухудшения условий движения наземного транспорта). Особенно это относится к третьему варианту (см. рис. 120, *в*). Поэтому, несмотря на большие строительные и эксплуатационные расходы, в городах с населением более миллиона метрополитен, по всей видимости, останется основным видом транспорта.

В качестве пригородного или городского транспорта на напряженных вылетных линиях (в условиях первого и второго вариантов, см. рис. 120, *а* и *б*), где имеется больше возможности для прокладки эстакад и устройства наземных станций, монорельсовая дорога может быть наиболее удобным и экономически выгодным видом транспорта.

**Основные экономические показатели при пассажирских перевозках 2500—20 000 человек в часы пик
в одном направлении по одному перегону**

Показатели	Вид транспорта	Первый вариант (см. рис. 120, а)				Второй вариант (см. рис. 120, б)				Третий вариант (см. рис. 120, в)						
		5000		10 000		5000		10 000		5000		10 000		20 000		
		2500	5000	10 000	15 000	20 000	2500	5000	10 000	15 000	20 000	2500	5000	10 000	15 000	20 000
Полная строительная стоимость в млн. руб.	Монорельсовая дорога	14,58	15,79	17,48	19,36	21,24	14,63	15,98	17,94	20,13	22,21	15,06	16,61	19,11	21,76	24,26
	Трамвай	6,36	7,94	11,51	18,87	22,50	6,93	7,97	11,58	17,09	20,61	6,84	8,91	13,34	21,68	26,12
	Троллейбус	2,93	4,73	12,41	15,61	—	2,92	4,70	10,17	15,53	—	3,65	6,16	15,68	20,57	—
	Автобус	1,94	3,26	8,93	11,54	—	2,00	3,37	7,61	11,80	—	2,96	5,34	13,42	18,19	—
Капиталовложения на 1 км двухпутной линии в млн. руб.	Монорельсовая дорога	0,73	0,79	0,87	0,97	1,06	0,73	0,80	0,90	1,01	1,11	0,75	0,83	0,96	1,09	1,21
	Трамвай	0,32	0,40	0,58	0,94	1,12	0,32	0,40	0,58	0,85	1,03	0,34	0,45	0,68	1,08	1,31
	Троллейбус	0,15	0,24	0,62	0,78	—	0,15	0,24	0,51	0,78	—	0,18	0,21	0,78	1,08	—
	Автобус	0,10	0,16	0,45	0,58	—	0,10	0,17	0,38	0,59	—	0,15	0,27	0,67	0,91	—
Годовые эксплуатационные расходы в млн. руб.	Монорельсовая дорога	1,03	1,42	2,10	2,65	3,30	1,08	1,51	2,28	2,91	3,62	1,17	1,66	2,63	3,35	4,21
	Трамвай	1,17	1,81	3,22	4,95	6,46	1,14	1,83	3,18	4,73	6,23	1,25	2,06	3,90	5,64	7,28
	Троллейбус	1,17	2,08	4,15	6,04	—	1,05	1,97	3,84	5,69	—	1,41	2,67	5,31	7,77	—
	Автобус	1,18	2,19	4,41	6,40	—	1,20	2,23	3,40	6,53	—	1,76	3,28	6,65	2,64	—
Годовые приведенные эксплуатационные и эксплуатационные расходы в млн. руб.	Монорельсовая дорога	2,49	2,99	3,84	4,58	5,43	2,55	3,11	4,08	4,92	5,84	2,67	3,33	4,54	5,52	6,64
	Трамвай	1,80	2,60	4,37	6,84	8,70	1,78	2,62	4,34	6,44	8,29	1,93	2,95	5,24	7,81	9,98
	Троллейбус	1,41	2,55	5,37	7,61	—	1,35	2,44	4,85	7,25	—	1,78	3,29	6,87	9,83	—
	Автобус	1,38	2,51	5,31	7,55	—	1,40	2,56	5,17	7,71	—	2,06	3,82	7,99	11,46	—
Себестоимость пассажиро-километра в коп.	Монорельсовая дорога	0,67	0,46	0,38	0,29	0,27	0,61	0,54	0,41	0,35	0,32	0,70	0,58	0,39	0,34	0,32
	Трамвай	0,76	0,59	0,52	0,51	0,51	0,85	0,66	0,57	0,56	0,56	0,64	0,61	0,58	0,56	0,54
	Троллейбус	0,72	0,68	0,67	0,66	—	0,79	0,71	0,69	0,68	—	0,85	0,69	0,68	0,68	—
	Автобус	0,77	0,71	0,70	0,69	—	0,89	0,80	0,79	0,78	—	1,06	0,67	0,96	0,96	—

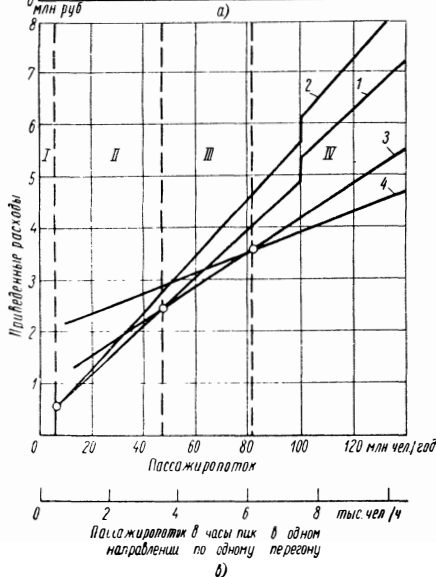
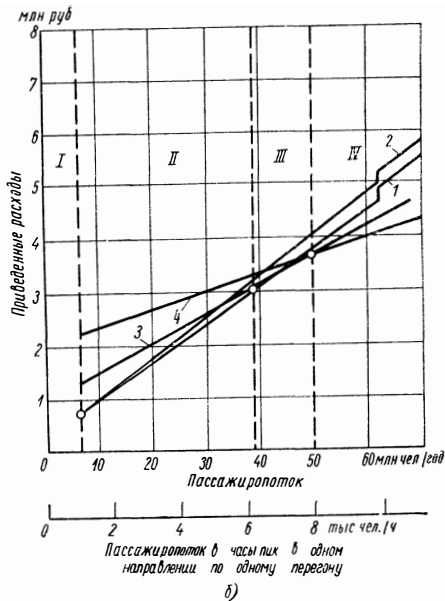
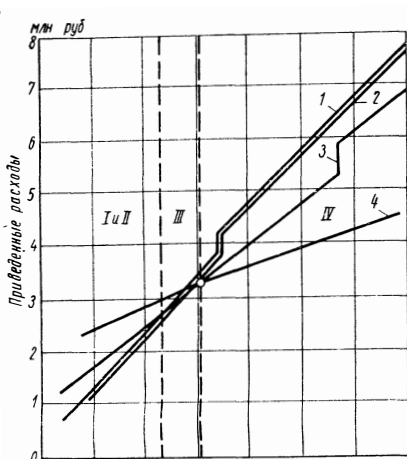


Рис. 126. Графики изменения приведенных строительно-эксплуатационных расходов различных видов городского транспорта в зависимости от объема пассажирских перевозок при длине трассы 20 км и размещении промышленных и жилых районов города (шкала по оси абсцисс на графике а такая же, как и на графике б):

а — по первому варианту (см. рис. 120, а); б — по второму варианту (рис. 120, б); в — по третьему варианту (см. рис. 120, в); I — зона эффективности автобуса; II — зона эффективности троллейбуса; III — зона эффективности трамвая; IV — зона эффективности монорельсового транспорта; 1 — троллейбус; 2 — автобус; 3 — трамвай; 4 — монорельсовая дорога

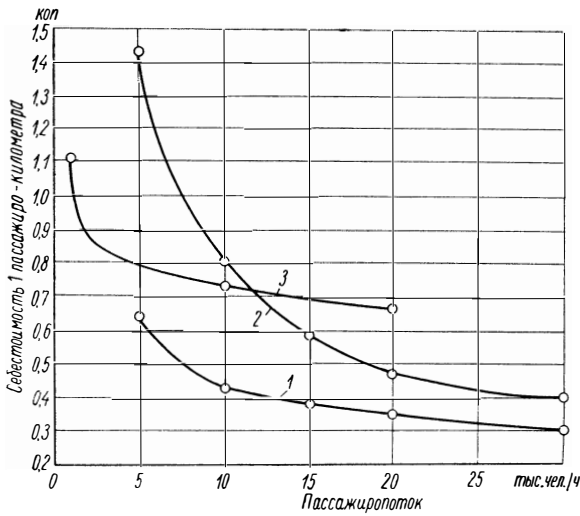


Рис. 127. Себестоимость перевозок на различных видах массового городского транспорта:
1 — монорельсовый транспорт; 2 — метрополитен; 3 — трамвай

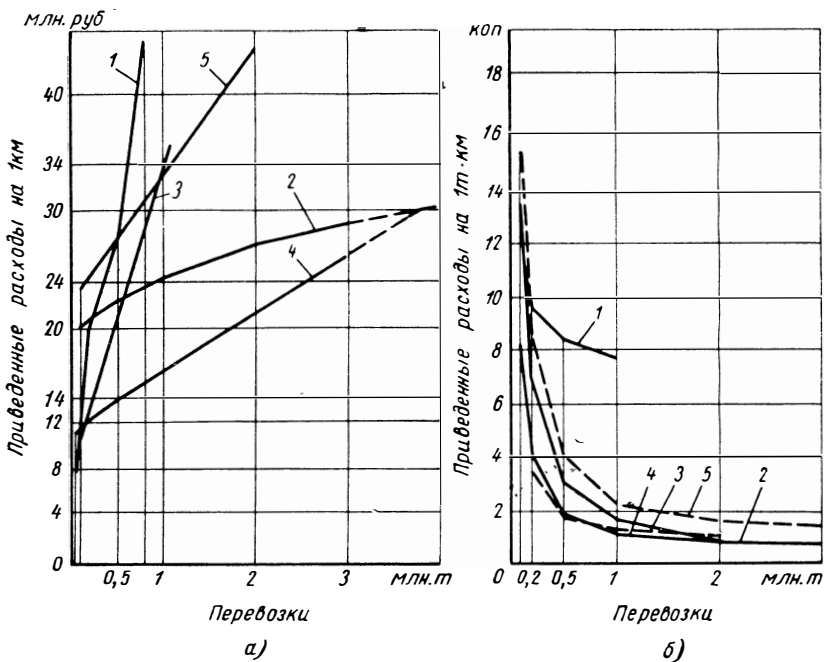


Рис. 128. Приведенные строительно-эксплуатационные расходы магистральных дорог различных типов в условиях Западной Сибири; обозначения те же, что и на рис. 125

Анализ приведенных строительно-эксплуатационных расходов для различных видов транспорта в условиях севера Западной Сибири (табл. 27), отнесенных к 1 км трассы (рис. 128, а) и к 1 т·км

Т а б л и ц а 27

Приведенные строительно-эксплуатационные расходы магистральных дорог для различных видов транспорта в условиях севера Западной Сибири в тыс. руб. на 1 км (в числителе) и в коп. на 1 т·км (в знаменателе)

Тип дороги	Объем перевозок в млн. т					
	0,1	0,2	0,5	1,0	2,0	3,0
Автомобильная дорога с капитальным покрытием	13,45 9,0	20,3 6,8	27,45 3,7	55,65 3,7	—	—
Обычная железная дорога с тепловозной тягой	20,2 13,4	21,0 7,0	22,6 3,0	24,5 1,6	27,3 0,9	29,1 0,6
То же, в северных районах	23,5 15,5	24,6 8,5	27,9 4,1	33,2 2,2	43,6 1,5	54,0 1,3
Монорельсовая дорога:						
тяжелого типа	12,1 8,0	12,4 4,1	14,1 1,9	16,1 1,1	21,4 0,7	26,4 0,6
среднего »	—	11,1 3,5	13,4 1,8	18,6 1,2	33,4 0,9	—

перевозочной работы (рис. 128, б), показывает, что монорельсовые дороги обладают наилучшими показателями. Так, при объеме перевозок 1,0 млн. т в грузовом направлении приведенные строительно-эксплуатационные расходы на монорельсовых дорогах (16,1—18,6 тыс. руб. на 1 км) в 2—1,8 раза меньше, чем на железной дороге с нормальной колеей (33,2 тыс. руб. на 1 км), и в 3,5—3,0 раза меньше, чем на автомобильной дороге (55,65 тыс. руб. на 1 км).

При отнесении приведенных строительно-эксплуатационных расходов к перевозочной работе они будут иметь следующие значения: для монорельсовой дороги 1,1—1,2 коп. на 1 т·км, для железной дороги 2,2 коп. на 1 т·км и автомобильной дороги 3,7 коп. на 1 т·км.

К важным технико-экономическим преимуществам монорельсовой дороги по сравнению с другими видами городского транспорта следует отнести наличие высоких скоростей сообщения, которые обеспечивают значительную экономию времени для пассажиров. Если принять, что пассажир современного города ежедневно должен преодолевать при поездках на работу и с работы и для культурно-просветительных целей расстояние около 30 км, то при пользовании монорельсовой дорогой ежегодно может быть экономлено для одного пассажира около 300 ч, так как скорость монорельсового транспорта равна 70 км/ч, а трамвая — 20 км/ч.

СФЕРЫ ПРИМЕНЕНИЯ МОНОРЕЛЬСОВОГО ТРАНСПОРТА

Распределение общей суммы капиталовложений между отдельными категориями затрат, полученное на основании анализа проектов строительства монорельсовых дорог в ряде городов США (Детройте, Новом Орлеане, Лос-Анджелесе и Сан-Франциско), имеет приблизительно следующий характер. На стационарные устройства (эстакады, станции, депо, подстанции, сигнализация и связь) расходуется примерно 70%; подвижный состав (вагоны) примерно 10%; приобретение земельного участка 10%, а общие и административные расходы составляют 10%. Распределение общей суммы эксплуатационных расходов выглядит примерно следующим образом: содержание пути и сооружений 10—15%, содержание подвижного состава 10—35%, служба движения 20—30%, электроснабжение 20—40%, общие и административные расходы 10%.

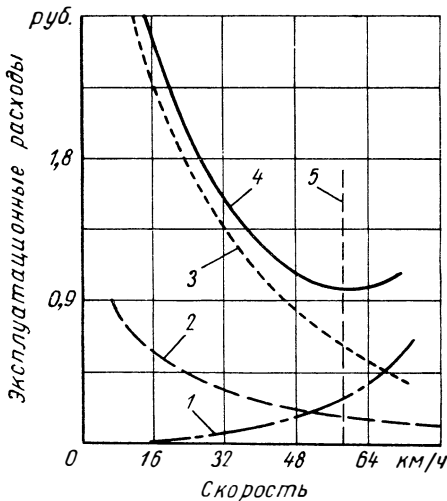


Рис. 129. Зависимость эксплуатационных расходов на монорельсовой дороге, отнесенных к пробегу одного вагона, от скорости движения:

1 — стоимость энергии; 2 — расходы по содержанию подвижного состава; 3 — заработная плата обслуживающего персонала; 4 — суммарные расходы; 5 — наиболее экономичная скорость движения

скорости движения. Однако вследствие лучших динамических характеристик и независимости условий движения область наиболее экономичных средних эксплуатационных скоростей городских монорельсовых дорог находится около 60 км/ч (рис. 129).

Установлено, что монорельсовый транспорт является наиболее экономичным видом городского общественного транспорта при пассажиропотоках более 4 тыс. пассажиров в час, а при объеме перевозок 30 тыс. пассажиров в час он оказывается в 2,5 раза

выгоднее скоростного трамвая и на 30% дешевле метрополитена мелкого заложения.

Экономическая эффективность монорельсовых дорог по сравнению с другими видами городского транспорта подтверждена и проектными материалами Промтрансниипроекта по обоснованию наиболее рационального вида общественного транспорта для таких городов с крупными промышленными предприятиями, как Магнитогорск, Миасс и др.

О тех преимуществах, которые получают пассажиры от монорельсового транспорта при ежедневных трудовых поездках, можно судить по проекту монорельсовой дороги в Магнитогорске (табл. 28), по которому использование монорельсовой дороги

Т а б л и ц а 28

Время доставки рабочих до цехов Магнитогорского комбината монорельсовым транспортом и трамваем

Показатели	Монорельсовая дорога	Трамвай
Среднее расстояние от места жительства до остановки транспорта в км	0,6	0,3
Время хода до остановки транспорта в мин	7,0	3,5
Среднее расстояние по монорельсовой дороге или трамвайной линии в км	10	10
Средняя эксплуатационная скорость в км/ч	49	20
Время следования на транспорте в мин	12,5	30
Среднее расстояние от станции до места работы в км	0,5	0,8
Время хода до места работы в мин	6	9
Полное время в пути в мин	25,5	42,5
Экономия времени в пути при пользовании монорельсовым транспортом в мин	17	—

обуславливает сокращение времени, необходимого для поездки на работу и с работы, более 30 мин в среднем для каждого работающего. Из сопоставления основных технико-экономических показателей проектов монорельсовых дорог для Магнитогорска и Миасса видно, что стоимость постройки однопутной линии монорельсовой дороги в условиях Магнитогорска и Миасса равна 0,62—0,87 млн. руб.

Полученные общие экономические показатели монорельсовых дорог в сравнении с другими видами городского общественного транспорта (табл. 29) позволили оценить по срокам окупаемости сравнительную степень рентабельности различных видов городского общественного транспорта при различных объемах пассажирских перевозок (табл. 30).

В табл. 30 римскими цифрами обозначена степень рентабельности от высокой (I) до низкой (X), а прочерк в графе обозначает,

Основные экономические показатели различных видов городского общественного транспорта

Показатели	Монорельсовая дорога		Метрополитен, шестивагонный поезд	Трамвай		Троллейбус		Автобус	
	Один вагон	Трехвагонный поезд		одиночный	сочлененный	одиночный	сочлененный	одиночный	сочлененный
Средняя дальность поездки в км	15	15	7	3	3	2,91	2,96	3,83	3,83
Тариф в коп.	10	10	5	3	3	4	4	5	5
Себестоимость пассажиро-километра в коп.	0,47	0,41	0,42	0,775	0,7	0,84	0,76	1,05	0,95
Себестоимость билета в коп.	7,2	5,85	2,94	2,32	2,1	2,49	2,25	4,02	3,64
Доход с билета в коп.	2,8	4,15	2,06	0,68	0,9	1,51	1,75	0,98	1,36
Доход с пассажиро-километра в коп.	0,187	0,277	0,294	0,227	0,8	0,51	0,59	0,256	0,355
Коэффициент рентабельности	28,0	41,5	41,2	22,7	30,0	37,8	43,7	19,6	27,2
Отношение тарифа к себестоимости	1,39	1,71	1,70	1,29	1,43	1,6	1,77	1,25	1,37

что данный вид транспорта не удовлетворяет требованиям освоения указанного пассажиропотока вследствие недостаточной провозной способности.

Из табл. 30 видно, что при пассажиропотоках 20—30 тыс. человек в час монорельсовые дороги являются наиболее рентабельными по сравнению со всеми остальными видами транспорта, а при меньших пассажиропотоках (5—10 тыс. пассажиров в час) они уступают только скоростному трамваю с сочлененными вагонами на обособленном полотне. При этом окупаемость монорельсовой дороги с трехвагонными поездами при пассажиропотоках 10—30 тыс. пассажиров в час проходит в очень короткие сроки (0,24—3,6 года).

При пассажиропотоках 40 тыс. пассажиров в час монорельсовая дорога с трехвагонными поездами уже не удовлетворяет в отношении провозной способности и интервалов движения. Такие пассажиропотоки могут быть освоены четырех- и шестивагонными поездами монорельсовой дороги, и в таком случае монорельсовая дорога по провозной способности становится сопоставимой с метро-

Сравнительная степень рентабельности основных видов городского общественного транспорта при различных объемах пассажирских перевозок

Вид транспорта	Количество пассажиров в час				
	5000	10 000	20 000	30 000	40 000
Трамвай:					
одиночный	III	—	—	—	—
сочлененный	I	I	—	—	—
Тролейбус:					
одиночный	VII	—	—	—	—
сочлененный	V	IV	—	—	—
Автобус:					
одиночный	VIII	—	—	—	—
сочлененный	VI	V	—	—	—
Метрополитен	X	VII	IV	IV	II
Монорельсовая дорога:					
с одновагонными поездами	IV	III	III	III	—
» трехвагонными »	II	II	II	II	—
» шестивагонными »	IX	VI	I	I	I

политеном. Практика эксплуатации навесной монорельсовой дороги в Токио показывает, что на ней успешно эксплуатируются даже девятивагонные поезда.

При оценке сфер рационального применения монорельсовых дорог следует учитывать также данные зарубежных исследований. Так, по данным проф. Ламберта (ФРГ), построившего кривые максимальной эффективности различных видов общественного транспорта в функции удельных амортизационных отчислений и размеров пассажиропотоков (рис. 130), навесные монорельсовые дороги являются наиболее выгодным видом внеуличного общественного транспорта. Все другие виды надземного (железные дороги) или подземного (трамвай и метрополитен) транспорта оказываются по удельным капиталовложениям менее эффективными.

Для районов с тяжелыми климатическими условиями относительная эффективность монорельсовой дороги может быть оценена на основании материалов проекта Камчатской монорельсовой дороги и исследования методов транспортного освоения районов севера Западной Сибири. Путем детального расчета себестоимости перевозки $1 \text{ т} \cdot \text{км}$ нетто по конкретной трассе в условиях Камчатки при дальности транспортирования свыше 100 км получено, что себестоимость перевозки по подвесной монорельсовой дороге в 2 раза меньше, чем по узкоколейной железной дороге (с мотовозной или паровозной тягой), в 3 раза меньше, чем по железной

дороге с широкой колеей, и в 5 раз меньше, чем по автомобильной дороге.

В районах севера Западной Сибири, где по условиям перспективных транспортно-экономических связей и объемов грузооборота требуется обеспечить регулярное транспортирование не-

больших количеств грузов (до 1 млн. *t* в год) на значительные расстояния (сотни километров), средняя себестоимость перевозок по монорельсовым дорогам оказывается в 1,5—2,4 раза меньше себестоимости перевозок по железной дороге с нормальной колеей и в 10—16 раз ниже себестоимости перевозок по автомобильной дороге.

С учетом размеров приведенных строительно-эксплуатационных расходов и себестоимости перевозок на сравнимаемых видах транспорта были сделаны следующие основные выводы о рациональных сферах применения монорельсовых дорог в этих условиях:

1. При небольших объемах перевозок (до 75—100 тыс. *t* в год) целесообразно использовать автомобильные дороги с твердым покрытием. Несмотря на относительно высокую себестоимость перевозок, меньшие капиталовложения для этих дорог приводят к относительно низким приведенным строительно-эксплуатационным расходам.

2. В сравнительно небольшом диапазоне грузооборота

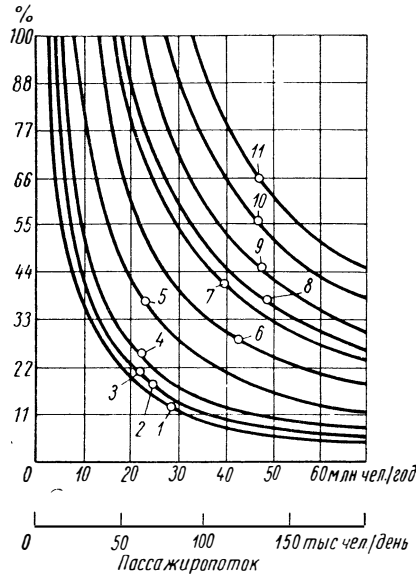


Рис. 130. Кривые относительных затрат в % для различных видов общественного транспорта:

- 1 — обычный трамвай; 2 — трамвай на обособленном полотне; 3 — монорельсовая дорога системы Алвег с провозной способностью трамвая; 4 — монорельсовая дорога системы Алвег с повышенной провозной способностью; 5 — скоростная монорельсовая дорога системы Алвег с высокой провозной способностью; 6 — наземная железная дорога с провозной способностью трамвая; 7 — быстроходная наземная железная дорога; 8 — подземный трамвай; 9 — подземный трамвай повышенной провозной способности; 10 — метрополитен; 11 — скоростной метрополитен в водонасыщенных грунтах

(100—300 тыс. *t* в год) экономичными являются монорельсовые дороги среднего типа.

3. При грузооборотах 300 тыс. *t* — 3 млн. *t* наилучшие экономические показатели имеют монорельсовые дороги тяжелого типа.

4. Грузооборот более 3,0 млн. *t* в год (в грузовом направлении) экономически целесообразно осваивать путем строительства железных дорог с нормальной колеей и тепловозной тягой.

При оценке сферы целесообразного применения грузо-пассажирских монорельсовых дорог следует учитывать также резуль-

таты исследований эффективности грузовых монорельсовых дорог. Применительно к условиям промышленного транспорта и при учете срока окупаемости в 10 лет получены следующие экономические преимущества монорельсовых дорог (рис. 131). Установлено, что монорельсовые дороги среднего типа (с вагонами грузоподъемностью до 10 т) имеют преимущества перед другими видами транспорта при грузообороте 0,4—1,3 млн. т в год и дальности перевозок свыше 25—30 км. При меньшем грузообороте более эффективным транспортом являются автомобильные дороги, а при большем — железные дороги. Монорельсовые дороги тяжелого типа с самоходными вагонами оказываются самым выгодным транспортным средством при перевозках на расстоянии от 2,5 до 10—25 км и грузооборотах 3—5 млн. т в год и более. При этих грузооборотах и расстояниях перевозок менее 2,5 км экономические преимущества имеют ленточные конвейеры, а при перевозках на расстояния более 10—25 км — железнодорожный транспорт.

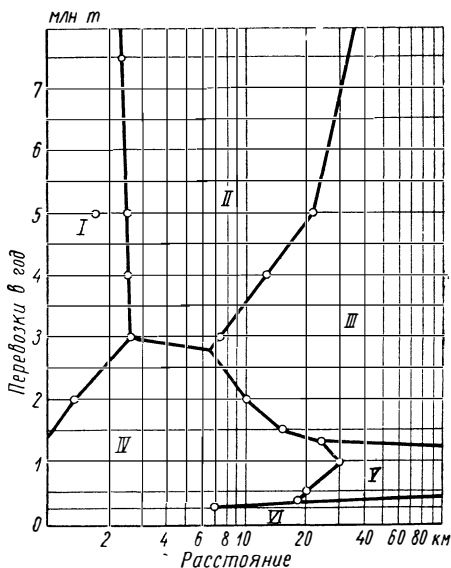


Рис. 131. Сферы применения различных видов транспорта для грузовых перевозок: I — ленточный конвейер; II — монорельсовая подвесная дорога тяжелого типа; III — железнодорожный транспорт; IV — канатная подвесная дорога; V — монорельсовая дорога среднего типа; VI — автомобильный транспорт

Анализ достигнутого уровня развития монорельсовых дорог и методов их строительства, их экономических и технико-эксплуатационных параметров в сравнении с другими видами транспорта, а также наметившихся тенденций их совершенствования позволяет рекомендовать монорельсовые дороги для:

1. Пассажирского внутригородского и пригородного сообщения и связи крупных городов с аэропортами, отдаленными жилыми массивами или крупными промышленными предприятиями, а также с городами-спутниками, зонами массового отдыха и т. п. Эти монорельсовые дороги должны проектироваться с учетом таких скоростей движения, которые являются экономически целесообразными при частых остановках.

2. Пассажирского междугородного сообщения как между отдельными крупными городами, так и между крупными административными и индустриальными центрами страны. Такие моно-

рельсовые дороги должны проектироваться как скоростные транспортные средства, способные быстро, при максимальном комфорте, доставлять большое количество пассажиров из центра одного города в центр другого без пересадок и использования нескольких видов транспорта. Конструкция таких дорог и их устройство должны выбираться в зависимости от климатических условий районов, где проходят трассы, с использованием всех достижений современного развития вагоно-, автомобиле- и самолетостроения для обеспечения максимальных скоростей и наибольшей комфортабельности езды.

3. Междугородного транспорта в суровых климатических условиях. Такие монорельсовые дороги должны быть приспособлены как для пассажирских, так и для грузовых перевозок.

ЛИТЕРАТУРА

Вальднер С. С. Сверхскоростной поезд будущего. М., Гострансжелдориздат, 1941.

Галонен Ю. М. Городской пассажирский транспорт. М., «Знание», 1961.

Галонен Ю. М. Применение в городах новых видов пассажирского транспорта. «Городской транспорт». Сборник научных сообщений Академии коммунального хозяйства им. К. Д. Памфилова. Вып. XIII. М.—Л., Изд. Министерства коммунального хозяйства РСФСР, 1962.

Галонен Ю. М. Монорельсовые скоростные дороги и другие виды городского пассажирского транспорта. М., Изд. Центрального правления Научно-технического общества городского хозяйства и автомобильного транспорта, 1962.

Елизарьев Н. Е. и Сорочан Ю. П. Надземный однорельсовый транспорт за рубежом. «Транспортное машиностроение», 1960, № 2.

Иванов Б. В. и Колесов Л. И. К гипотезе транспортного освоения Обского Севера. Сборник статей «Вопросы промышленного развития районов Севера». М., «Наука», 1967.

Костенецкий К. Подвесной скоростной транспорт. «Архитектура СССР», 1960, № 7.

Михеев А. П. и Чиркин В. В. Монорельсовые дороги и перспективы их применения. «Железнодорожный транспорт», 1963, № 11.

Назаров С. Подвесной монорельсовый транспорт в городе. «Строительство и архитектура», 1961, № 7.

Петровский В. Монорельсовая дорога в городе. «Архитектура СССР», 1960, № 7.

Сессарский А. Н. Монорельсовые дороги. «Транспортное строительство», 1961, № 2.

Файн А. Г. Новые виды городского электротранспорта. «Жилищно-коммунальное хозяйство», 1957, № 12.

Федоров Г. В. Тип дороги для однорельсового транспорта Москвы. «Городское хозяйство Москвы», 1961, № 12.

Чиркин В. В. Монорельсовый транспорт за рубежом. Бюллетень технико-экономической информации ГОСИНТИ РСФСР, 1963, № 4.

Чиркин В. В. Монорельсовый транспорт. «Основные направления в развитии техники транспорта за рубежом». «Транспорт», 1965.

Петренко О. и Ратнер Е. Монорельсовый пассажирский транспорт и перспективы его развития в СССР. «Энергетика и транспорт». Известия Академии наук СССР, 1966, № 1.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие (В. В. Чиркин)	3
Развитие и современное состояние монорельсового транспорта (В. В. Чиркин, О. С. Петренко, Ю. М. Галонен)	7
Существующие монорельсовые дороги	8
Проекты монорельсовых дорог	38
Перспективы совершенствования монорельсовых дорог	55
Подвижной состав монорельсовых дорог (В. В. Чиркин, О. С. Петренко)	74
Основные характеристики и компоновочные схемы вагонов монорельсовых дорог	74
Принципы подвешивания и стабилизации вагонов	108
Ходовые части вагонов	122
Сравнение вагонов различных типов	140
Эстакады монорельсовых дорог (А. С. Михайлов, О. С. Петренко)	146
План и профиль дороги	146
Основные принципы расчета конструкций эстакад монорельсовых дорог	151
Конструкции эстакад различных систем монорельсовых дорог	154
Искусственные сооружения	163
Расход материалов и стоимость строительства эстакад различных систем	166
Стрелочные переводы	168
Организация строительства эстакад	173
Станции и основные устройства монорельсовых дорог (А. С. Михайлов, В. В. Чиркин, Ю. М. Галонен)	177
Станции	177
Устройства сигнализации, централизации, блокировки и связи	180
Деповское и вагонное хозяйство	188
Энергоснабжение	190
Опыт эксплуатации монорельсовых дорог (В. В. Чиркин)	192
Сравнение результатов эксплуатации Токийской и Вуппертальской монорельсовых дорог	192
Оценка динамических характеристик экипажей и уровня комфорта	195
Совершенствование методов содержания и ремонта эстакад	202
Совместная работа монорельсовых дорог и других видов транспорта	204
Технико-экономические показатели монорельсовых дорог (А. С. Михайлов, В. В. Чиркин, Ю. М. Галонен)	212
Исходные данные	212
Стоимость строительства	215
Эксплуатационные расходы и себестоимость перевозок	221
Строительно-эксплуатационные затраты	227
Сферы применения монорельсового транспорта (В. В. Чиркин)	232
Литература (Ю. М. Галонен)	239

95 к.

ИЗДАТЕЛЬСТВО
«МАШИНОСТРОЕНИЕ»