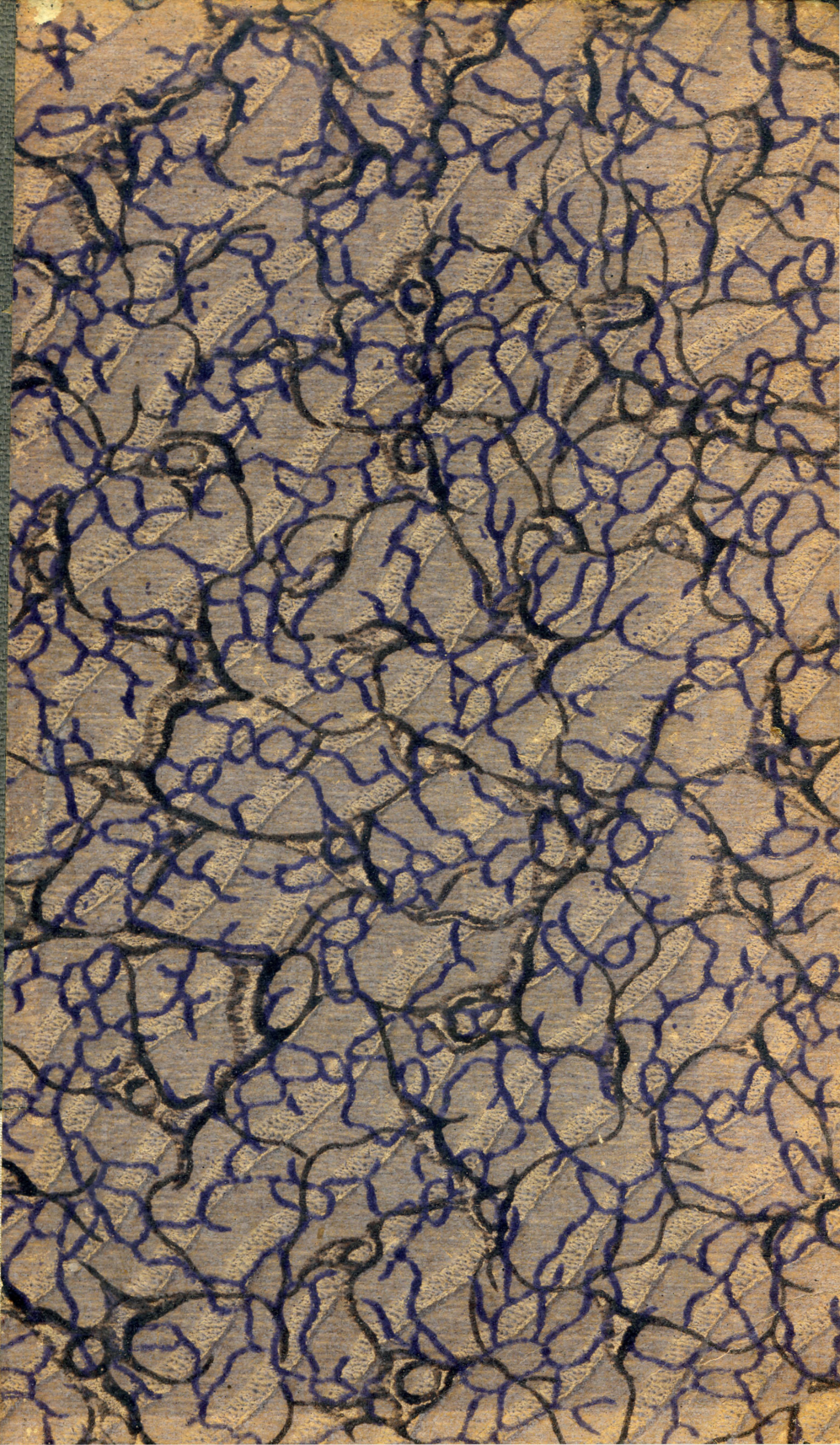
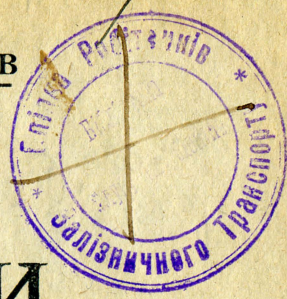


UNIVERSITY OF
CHICHESTER



У.Ф.1

Inp. Cocovtov
Инж. К. К. КОКОВЦОВ



625

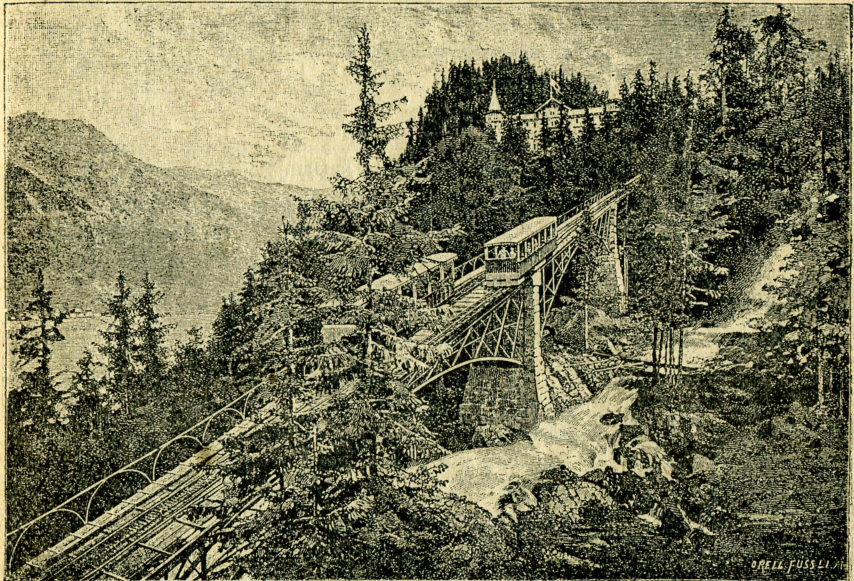
K59 *Sisteme* *h/h*

ДОРОГИ

particulare de drumuri.

ОСОБЫХ СИСТЕМ

830331
N 8700
N 4435



С 89 рисунками в тексте

ч/в
2/2

348

ДИИТ
БИБЛИОТ
ДИИТ
ПОДПИСАНО
20525

МОСКОВСКОЕ АКЦИОНЕРНОЕ
ИЗДАТЕЛЬСКОЕ ОБЩЕСТВО
МОСКВА — 1927 — ЛЕНИНГРАД

1000/6/1

Ленинградская Коммунальная Типо-литография. Ул. 3-го Июля, 55.
Ленинградский Гублит № 21378. Зак. № 8732. Тир. 3000 экз. 9^{1/2} л.

1999

05

Глава I.

Введение.



Пути сообщения являются с древних времен одним из важнейших показателей развития материального благосостояния и мощи народов. Еще у Геродота мы читаем подробное описание постройки каменной дороги для доставки массивов к большой пирамиде Хуфу (Хеопса). Рим, объединивший под своим владычеством почти все культурные страны древнего мира, обязан был этим в значительной мере своим превосходным шоссе. Раскинувшись на протяжении свыше 60.000 км., они покрывали громадное пространство от берегов Атлантического океана до Каспия, и от границы Шотландии до Атласа и Вереники (у Красного моря). Остатки этих монументальных дорог, с развалинами мостов и виадуков, до сих пор возбуждают справедливое удивление потомства.

На ряду с проведением колесных дорог ради политических и торговых целей, условия религиозного культа и гражданского быта пред'являли требования относительно устройства специальных способов транспорта, не имеющих ничего общего с обычным передвижением людей и грузов между данными городами или областями. Следы таких особых приспособлений мы также находим на древних памятниках. Так, на одном из ассирийских рельефов, найденных английским археологом Лэйярдом при раскопках древней Ниневии, и относящихся, примерно, к VII веку до начала нашей эры, изображена перевозка каменного колосса. Он поставлен на массивные сани и передвигается, при помощи деревянных катков, множеством людей посредством четырех канатов. Применение рычага и круглых деревянных бревен для под'ема и перемещения колонн, статуй и обелисков было также известно и в древнем Египте.

Возможно, что специальные способы перевозки практиковались и в более позднее время для доставки тяжестей, но все они несомненно имели такой же примитивный характер. Первые проблески заметного улучшения в деле специальных перевозок мы находим лишь в XVI веке, в рудниках Гарца. Это были досчатые полосы, по которым передвигались рудниковые тележки, снабженные ребордчатыми колесами.

В следующем столетии полосы-рельсы переходят из Германии в Англию, где они укладывались уже на дневной поверхности, в качестве обыкновенных проезжих дорог, а потом помещались и на деревянных поперечинах, возвышаясь над уровнем земли.

Во второй половине XVIII столетия мы уже встречаем в Ньюкестле и других горнопромышленных центрах Северной Англии правильную систему деревянно-колейных путей, по которым двигались большие четырехколесные повозки-вагоны с ребордами. Дороги эти устраивались специально для доставки угля.

К концу XVIII века на смену рельсов из дерева появляются чугунные полосы, а затем и чугунные эллиптические рельсы.

Все эти улучшения касались, однако, только одного элемента перевозочного устройства — путевого строения. Движущий механизм — мускульная сила людей и животных — остался тот же. Только с введением паровых двигателей транспортные средства вступают в новую фазу, которая, как мы знаем, произвела переворот в экономической жизни народов и, косвенным образом, значительно содействовала развитию специальных, вспомогательных способов передвижения.

В первое время после решения английским механиком Тревизиком мировой задачи — применения силы пара к движению по рельсовой колее, и после постройки, благодаря известным трудам Стефенсона, первой паровозной дороги общего пользования, Ливерпуль — Манчестер (1830), все внимание западно-европейских государств было направлено на проведение магистралей и транзитных линий. И только в начале второй половины прошлого века, когда рельсовая сеть Центральной Европы в главных чертах была почти закончена, а развитие народного хозяйства и заводско-промышленной техники настоятельно требовали создания особых, приспособленных к их нуждам, транспортных систем, вопрос о сооружении недорогих перевозочных средств обратил на себя серьезное внимание заинтересованных кругов, и, пройдя длинный ряд промежуточных опытных стадий, получил более или менее удовлетворительное разрешение в форме легких постоянных или переносных железных дорог, воздушных проволочноканатных линий и электроподвесных путей.

Рука-об-руку с упорядочением и удешевлением перевозки сельскохозяйственных, горнопромышленных и других специальных грузов идет разработка методов передвижения для удовлетворения нужд культурно-общественного быта — в тех случаях, когда устройство обыкновенной железной дороги представляется невозможным или невыгодным. Мы подразумеваем здесь: облегчение доступа на возвышенности, сообщение с горными климатолечебными станциями, улучшение городского

и пригородного движения и т. д. Для решения такого рода проблем, требующих совершенно иных приемов, техника также сделала очень много,—едва ли не более, чем для грузовых перевозок. Возникают наземные канатные и зубчато-колесные пути; совершенствуются и приспособляются системы, первоначально разработанные исключительно для переноски предметов и материалов; сооружаются городские подземные и эстакадные линии трамвайного типа.

Благодаря энергичному и дружному содействию технических сил, все эти вспомогательные способы передвижения быстро совершенствуются. Труды Кульмана, Флигнера, Делепалека, Риггенбаха, Абта, Обаха, Штруба, Блейхерта и многих других теоретиков и специалистов-практиков в значительной мере содействовали, как разработке вопросов, связанных с проектированием линий, так и улучшению конструкции отдельных частей. Методы построения теоретического профиля канатных железных дорог, предложенные: Хауером (Германия), Вотье (Швейцария) и Оппицци (Италия), дали прекрасные и разносторонние решения этой сложной механической задачи.

Описанию устройства отдельных линий и критической оценке различных систем посвящено в иностранной литературе несколько крупных монографий и множество отдельных статей и заметок в соответствующих технических изданиях. В отечественных технических органах сведения о дорогах особых систем печатались, большей частью, в виде заметок в отделе хроники. Только в конце истекшего и начале нынешнего столетия появились две работы, посвященные наземным канатным и зубчатым железным дорогам. Систематически сгруппированного материала, расчетов, критического разбора конструкций и описания дорог по двум другим большим группам: высшие канатные дороги и подвесные пути, насколько известно, нет. Между тем, помимо общей технической эрудиции, знакомство с перевозочными устройствами особых систем, казалось бы, могло быть полезным и у нас, где работающему в провинции технику приходится иногда, не имея под руками необходимых пособий, участвовать в решении многих вопросов народного хозяйства. Возьмем, хотя бы, лесоводственные операции. Лесные площади в пяти северных губерниях занимают от 50 до 70% всей территории. Не касаясь установления правильного лесооборота, составления рационального плана лесного хозяйства и других основных задач лесной экономики, как неимеющих прямого отношения к затронутому вопросу, отметим только, что стоимость вывозки и перевозки дров, шпал и поделочных материалов является часто одним из решающих факторов при оценке сравнительной выгоды разработки той или другой лесной дачи. Многие заграничные лесничества применяют у себя

уже давно, в зависимости от местных условий, кроме гужевой доставки и рельсовых путей нормального типа, деревянные подвесные дороги или легкие с'емные рельсовые пути или, наконец, воздушные канатные дороги. Возможно, что и у нас, при более детальном ознакомлении с условиями разработки, вывозки и сбыта лесных изделий данного района, а также со стоимостью в этой местности рабочих рук и подвод, один из специальных способов перевозки окажется более выгодным, чем средства, обычно практикуемые в наших лесных угодьях.

Цель настоящей книги—восполнить, хотя бы в слабой степени, указанный пробел. При этом автор, конечно, далек от мысли дать подробное теоретическое и практическое руководство к построению дорог особых систем. Это потребовало бы, во-первых, слишком много времени и ознакомления с новейшими типами и конструкциями на местах, а затем— оно и не входит в намеченную программу издания. Поэтому здесь предполагается только, по каждой из упомянутых четырех групп: представить исторический очерк развития системы и ее характеристику, рассмотреть важнейшие конструктивные элементы и дать краткое описание некоторых устройств, не останавливаясь на подробностях и уклоняясь в сторону теоретических соображений и расчетов лишь настолько, насколько это необходимо для ясного представления о предмете. Для лиц же, которые пожелали бы ознакомиться с положением дела более подробно, сделаны, в примечаниях, ссылки на соответствующую техническую литературу.



Глава II.

Подвесные дороги.

Исторический обзор. В начальный период сооружения kolejных дорог в Англии, когда они служили почти исключительно для перевозки каменного угля и эксплуатировались конной тягой или же устраивались в виде механических канатных плоскостей, дороги эти, по словам лица, посетившего Ньюкестль в конце XVIII столетия, строились не иначе, как после тщательного выбора направления и соответствующего выравнивания местности, с производством необходимых земляных работ, чтобы избегнуть крутых уклонов. Тем более мы в праве признать, что в начале XIX века, когда некоторые владельцы копей пользовались уже для перевозки угля локомотивами, устройство полотна было сопряжено с довольно значительными расходами. Подобное положение вещей навело некоторых техников того времени на мысль, нельзя ли, сохранив принцип движения повозок по kolejному пути, применить его для перевозки небольших партий грузов в следующем виде: поднять рельсовую колею над поверхностью земли, исключив, таким образом, необходимость производить затраты на планировку, притом же и не всегда возможную по топографическим соображениям. Одновременно с экономией по возведению полотна, новый способ дал бы существенные сбережения и вследствие коренного изменения в основах движения, а именно: при подвешивании вагона с таким расчетом, чтобы центр тяжести его был ниже точки опоры, можно, основываясь на известных условиях устойчивого равновесия, заменить две линии рельсов—однорельсовым путем. Однорельсовые же дороги допускают более крутые кривые, и сопротивление движению по ним значительно менее, чем на kolejных путях.

Первая привилегия на постройку подвесных дорог указанного типа была получена в Англии Пальмером в 1821 г. Верхнее строение этих дорог состояло из ряда продольных брусьев, поддерживаемых на высоте около 2 м. отдельными деревянными опорами (козлами). По такой приподнятой колес движутся вагонетки в форме свешивающихся с двух сторон грузовых коробов.

Подвесные дороги, которые были известны, как указано выше, уже в двадцатых годах XIX столетия, являются, таким образом, в хронологическом порядке, первыми перевозочными средствами особого типа, после изобретения рельсовых путей. Дороги эти, однако, не получили в свое время распространения, вероятно в виду незначительного числа заводско-промышленных предприятий, где они могли бы быть использованы с выгодой, а также вследствие сравнительной дешевизны их только в лесистых местностях. Судя по крайне скудным печатным источникам того времени, в первое десятилетие существования патента Пальмера было открыто всего три небольших линии его системы.

В 1834 году появилась брошюра директора строительных работ Познанской крепости, прусского военного инженера М. Притвица: „О подвесных дорогах, в связи с проектом сооружения таких дорог в Пруссии“. Автор брошюры, ярый сторонник типа жестких подвесных дорог, важнейшими преимуществами которых, по его мнению, являются: простота конструкции, быстрота сооружения, дешевизна и безопасность, решил выстроить, в виде опыта, небольшую подвесную линию по типу Пальмера в районе крепостных верков Познани, для перевозки кирпича и дров. Она представляла, в главных чертах, линию дубовых столбов, в верхнюю часть которых вставлялись, в соответствующие пазы, вертикальные доски-лежни, поддерживающие плоские железные рельсы. Длина пути—1.390 м. Грузовые повозки (вагонеты) были устроены таким образом: колесо с неподвижной осью, к которой прикреплена прямоугольная рама, образует вагонный скат; к этой раме подвешены с обеих сторон, в виде вьюков, два открытых деревянных ящика для помещения груза. Тяга производилась лошадьми.

Удовлетворительные результаты эксплуатации Познанской дороги привели инженера Притвица к заключению о желательности постройки целой сети таких дорог в Пруссии, для перевозки войск.

В конце тридцатых годов XIX столетия подвесные дороги появляются и в Соединенных Штатах (патент Эммерса). Подобного рода пути нашли себе в обильной лесах Северной Америке большое распространение, в особенности в заболоченных районах.

В семидесятых годах прошлого века в технической литературе появляются краткие сведения о дорогах Штекеля, Кастеля и других систем, по конструкции примыкающих к типу Пальмера. Но они представляют, большей частью, приподнятые на небольшую высоту одноколейные деревянные дороги, и, в виду малой пропускной способности, получили очень ограниченное распространение.

В России подвесная дорога пальмеровского типа была впервые выстроена Хлудовым, в его Рязанском имении.

Краткие сведения об этой „рельсовой дороге на столбах“, построенной специально для вывозки леса, можно найти в брошюре инженера Н. А. Сытенко о висячих дорогах ¹⁾.

Согласно позднейшим сведениям, дорога Хлудова существовала еще в половине восьмидесятых годов и служила вполне исправно.

Нам не удалось собрать в отечественной литературе сведений о том, сооружались ли где-либо еще в России подвесные дороги, кроме Вязанской губернии, но судя по данным, имеющимся в иностранных источниках, есть основание предполагать, что они устраивались и в других местах для лесохозяйственных надобностей и работали вполне успешно ²⁾.

Указанная выше надземная дорога в Познани, повидимому, заканчивает собою попытки использовать деревянно-колейные подвесные дороги для перевозки грузов и материалов на европейском материке. В семидесятых годах прошлого столетия мы вновь встречаемся с проектом сооружения приподнятого жесткого подвесного пути, но уже металлического и более совершенной конструкции, с применением паровой тяги и приноровленного, по характеру движения, к железным дорогам нормального типа. Инициатива в деле подобного возведения подвесных дорог принадлежит английскому инженеру Феллю, известному строителю временной железной дороги через Мон-Сенис ³⁾. Система изобретателя, в ее первоначальном виде, представляет ряд отдельных круглых металлических столбов, на которых укреплен двойная линия продольных брусьев, поддерживающих рельсовую колею, шириною от 20 до 45 мм. Перевозочные приспособления обладают двумя колесными скатами, помещенными спереди и сзади вагона, несколько выше пола. Благодаря этому, известная доля вагонного веса расположена ниже линии осей и, следовательно, центр тяжести системы значительно ниже, чем в подвижном составе обыкновенных железных дорог. Для сохранения равновесия, в особенности при пробеге по закруглениям, экипажи были оборудованы еще горизонтальными направляющими катками, которые катятся по боковым направляющим брусьям.

¹⁾ Дешевые перевозочные средства, применяемые и в военное время I отд. Висячие дороги. Составил инженер Н. Сытенко. С.-Петербург. 1878.

²⁾ Профессор Экнер, сообщая в своей книге: «Das moderne Transportwesen im Dienste der Land- und Forstwirtschaft». Weimar 1877, S. 124, краткие сведения о подвесной углевозной дороге системы Кастеля, в заключение заявляет: «В России существует много весьма рационально устроенных дорог на столбах (Pilotten-Bahnen) для лесоводственных целей».

³⁾ Для увеличения силы сцепления при следовании по наибольшему подъему в 0,08, паровозы этой дороги были снабжены горизонтальными ведущими колесами, которые двигались по среднему (третьему) рельсу, будучи прижимаемы к нему с помощью спиральных рессор. Дороги этого типа были впоследствии построены в Бразилии и на о. Новой Зеландии.

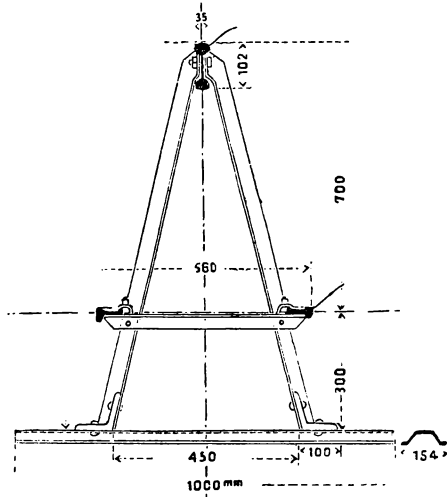
По этой системе была построена в 1870 году небольшая рудничная линия в Ланкашире, с наибольшим подъемом в 24%. Длина—1.609 м., ширина колеи—203 мм. Линия эксплуатировалась бесконечным канатом с помощью постоянной паровой машины.

В виду встреченных затруднений в движении вследствие чрезмерно узкой колеи, следующая дорога, сооруженная близ города Альдершота, в южной Англии, получает уже ширину в 457 мм. Путевое строение состояло из ряда связанных в одно целое деревянных сквозных ферм, более или менее сложной конструкции, на которых удерживались две линии продольных брусков с укрепленными на них американскими рельсами (с пятой)¹⁾. Линия эта—смешанного типа, т.-е. приспособлена как для пассажирского, так и для товарного движения. Паровозная тяга. Вагонные и паровозные колеса без гребней; вместо них, экипажи снабжены горизонтальными направляющими роликами, которые катятся по брускам из твердого дерева, помещенным в нижней части лежней.

Система Фелля послужила исходной точкой для целого ряда последующих конструкций, большая часть которых предусматривала пассажирское или смешанное движение применительно к эксплуатации рельсовых путей обычного типа. Подвесных линий, приспособленных только для перевозки грузов, почти не строилось: приспособить к движению по ним паровую силу было трудно, а электрическая тяга находилась еще в зачаточном состоянии. В виде исключения, подвесными дорогами пользовались только некоторые крупные промышленные фирмы (напр., свеклосахарные заводы), владельцы которых признавали выгодным нанимать для обслуживания воздушных дорог необходимое число рабочих. Равным образом, жесткие висячие дороги устраивались в тех случаях, когда, по ходу производственных операций, подача материалов небольшими партиями, при помощи подвесной дороги, вручную, была, по сравнению с перевозкой по легкой наземной дороге, удобнее и экономичнее. Это имеет место, например, на химических заводах, где подлежащие наполнению и выгрузке аппараты расположены в разных местах, и перевозка совершается не регулярно, а по мере надобности. На всех такого рода ручных подвесных линиях вагонеты, в отличие от системы Фелля, подвешивались *свободно*, снизу, посредством

¹⁾ Общепринятый на континенте Европы тип рельса с плоской подошвой и грибовидной головкой, за которым неблагодарное потомство упрочило наименование «рельса Виньоля» (английский инженер, уложивший впервые в Европе этот тип на одной из английских дорог в 1836 г.), изобретен американцем Стивенсом, по инициативе которого рельсы этого типа были впервые уложены на железной дороге Кемден-Амбой в 1832 г. (E. Locard, *Recherches sur les rails et leurs supports*. Paris. 1853, p. 342.—Haarmann. *Das Eisenbahn-Geleise*. Leipzig. 1891, B. I, S. 56).

скоб. Впоследствии, в начале текущего столетия, когда электротехнические заводы начали строить легкие электромоторы, обладающие достаточной мощностью, и когда была изобретена система автоматического движения вагонов, жесткие висячие пути нашли себе широкое применение для перевозки материалов и изделий на фабриках, заводах, пристанях и складах. Электроподвесные дороги получают в этом направлении в западно-европейских странах весьма большое и весьма разнообразное распространение. Воздушные дороги электроподвесной системы для перевозки пассажиров сооружались сравнительно редко и замкнулись в тесное кольцо небольшого числа дорог для обслуживания городского или пригородного движения. Затем, подвесные дороги, предназначенные для перевозки людей, должны были, по понятным причинам, значительно отличаться от грузовых линий в отношении прочности и надежности устройства пути и подвижного состава. По этим соображениям представляется более удобным проследить сначала, в общих чертах, развитие конструкции дорог пассажирского типа (включая сюда и смешанную систему), и затем уже перейти к характеристике дорог для перевозки грузов.



Черт. 1.

В 1876 году подвесные дороги для передвижения пассажиров возникают также и в Северной Америке. Пионером распространения этого способа железнодорожного сообщения считается Рой-Стон. Система его имеет много общего с конструкцией Фелля, но отличается от нее тем, что линия рельсов пролегает здесь гораздо ниже и затем, как путевое строение, так и паровозы и вагоны чрезвычайно простого устройства. По этому типу были, между прочим, сооружены две однопутевых паровозных дороги, одна в штате Пенсильвания, другая в штате Калифорния.¹⁾ На этой последней линия рельсов поддерживается деревянной призмой в 400 мм. высоты и 700 мм. ширины. Паровозы и вагоны со свешивающимися боковыми частями. По отзывам специалистов, дорога превосходит по простоте самые дешевые узкоколейные пути¹⁾.

¹⁾ Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens. 1878, S. 42. Einschieneneisenbahn in Californien.

Следующая стадия эволюции подвесных дорог рассматриваемой категории—система Лартига—переносит нас из Соединенных Штатов Северной Америки в Алжир, на родину артезианских колодцев, в страну финиковых пальм...

Инженер Лартиг (Франция) выступил с проектом своей системы легкой подвесной дороги для перевозки пассажиров и грузов в начале восьмидесятых годов прошлого века. В кратких чертах, предложенная названным инженером конструкция сводится к следующему. Над поверхностью земли, не менее чем на высоте 0,85 м., укладывается на металлических опорах,—или в виде треножника, т.-е. трех соединенных в верхней точке наклонно поставленных ребер (для переносных путей), или же в виде козел из двух наклонно поставленных уголков (для постоянных путей)—рельсовый путь из полосовой стали или из двухголовчатых рельсов (черт. 1 и рис. 2). Паровозы и вагоны, представляя род свешивающихся по сторонам выюков, катятся по такому однорельсовому пути при помощи укрепленных в центральной части и заключенных в чугунную раму желобчатых колес. Так как экипажи не подвешены к тележкам (как на висячих канатных дорогах), а ниже точки опоры находится только некоторая часть их, то они могут сохранять отвесное положение не при всяком распределении нагрузки, а лишь при более или менее одинаковом весе с обеих сторон. Если же нагрузка боковых частей вагона не одинакова, то они принимают наклонное положение, при котором центр тяжести их и точка опоры будут находиться в одной вертикальной плоскости. В отношении товарного подвижного состава явление это не представляет особых неудобств. В пассажирском составе дело обстоит иначе. В первоначально проектированном Лартигом шестиместном вагоне могут с одной стороны помещаться трое едущих, а на другой стороне только один. При такой разнице в нагрузке, отвесное положение вагона будет уже нарушено настолько, что движение такого вагона с пассажирами делается невозможным. В виду этого, пассажирские вагоны снабжены внизу горизонтальными роликами, которые катятся по приклепанным к стойкам направляющим железным брускам, и таким образом удерживают вагон в нормальном положении.

Приспособления для перевозок груза имеют самую разнообразную форму: для сыпучих тел—открытые коробки; для доставки снопов служат металлические сетки; камень грузится в металлические ящики и т. д. Все эти перевозочные средства, укрепляемые по обеим сторонам ходового ската с помощью железного коромысла, употребляются, конечно, в тех случаях, когда система Лартига применяется в качестве переносного пути или, вообще, эксплуатируется живыми двигателями. Вагоны для перевозки пассажиров (при механической тяге) не отличаются, как это видно на рисунке, по внеш-

нему виду от общепринятой формы. Едущие помещаются с каждой стороны в один ряд, ближе к середине.

Система Лартига может быть использована, как то замечено выше, как для укладки временного, переносного пути (при этом тяга вагонетов производится мулами или лошадьми), так и для сооружения постоянной дороги (при чем она эксплуатируется паровыми или электрическими двигателями).

Приводим ниже, для сравнительной характеристики, некоторые цифровые данные для отдельных конструктивных элементов ходовых типов обеих разновидностей:

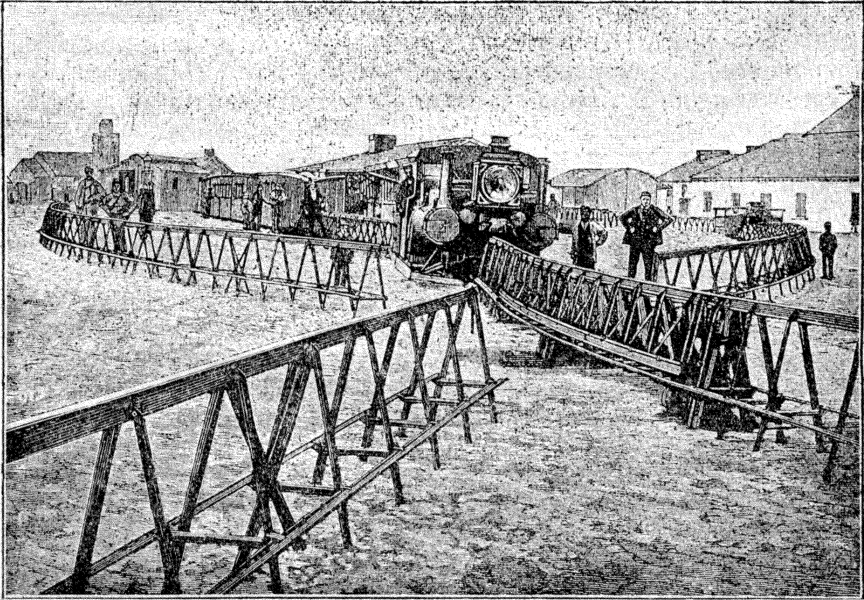


Рис. 2. Вид станции дороги Беллибённон.

	Пост. д.	Перен. д.
Путевой стальной рельс, весом	7,13 кгр./м.	4,15 кгр./м.
Расстояние между опорами	1—1,5 м.	1—1,5 м.
Вес опор (2 подкоса и 1 поперечина)	10,5 кгр.	7,3 кгр.
Вес 1 км. полного путевого строения при расстоянии между опорами 1,5 м.	15.000 кгр.	9.193 кгр. ¹).

Французские и английские технические круги отнеслись весьма сочувственно к новому способу передвижения, который, как не требующий почти никаких земляных работ, мог оказаться, по своей простоте и недорогой стоимости, крайне

¹) Le Génie civil. 1885. Т. VII, № 19, p. 299.

полезным в колониальных землях с небольшой плотностью населения. В виду этого, дороги Лартига получили вскоре же распространение в Алжире,—для нужд сельского хозяйства,—а затем и в Тунисе. По сообщению французской прессы¹⁾, в 1882 г. в Алжире было уже уложено 105 км. таких маленьких дорог.

Коробы-корзины и вагонетки перевозились на этих дорогах мускульной силой животных. Чтобы успешно конкурировать с другими перевозочными средствами однородного типа, система Лартига была вскоре же приспособлена к электрической тяге и к эксплуатации при помощи паровозов.

Произведенные в 1886 г. на пробном участке в Вестминстере поездки с вагонами системы Лартига, возглавленными паровозом, специально построенным для этой цели при участии известного знатока в деле паровозостроения, французского инженера Малле (Mallet), были настолько удачны, что послужили поводом к организации, среди сторонников подвесных дорог, финансовой группы для постройки небольшой паровой дороги системы изобретателя в Ирландии. Она соединяет железнодорожную станцию Листоуэл с морскими купаньями в местечке Беллибёнион. Постройка окончена в 1888 году²⁾.

Несколько ранее, по системе Лартига была сооружена горная дорога в восточных Пиринеях, для перевозки руды. Она эксплуатируется энергией тока. Электрический локомотив, при движении поезда вниз, утилизирует его вес для индукти-

¹⁾ La Chronique Industrielle. 1883, p. 546.

²⁾ Длина дороги — 16 км. Наибольший уклон 2%. Наименьший радиус закруглений—25 м. Верхнее строение представляет ряд козел из углового железа 45×45×5 мм. (черт. 1). Они расположены в расстоянии 1 м. друг от друга и прикреплены к поперечинам корытного железа, непосредственно уложенным на грунте. В болотистых местах под эти шпалы подводились деревянные брусья. Вершины таких трехугольных ферм служат подушками для укрепления двухголовых рельсов. Рельсовые звенья прикреплены к углам упоров одной заклепкой и соединены между собою простыми четырехдырными накладками и болтами. Стыки на весу, при чем стыковые упоры сближены между собою до 0,5 м. К подкосам фермы прикреплены внизу направляющие рельсы. В виду ровной местности, опорные козлы почти везде имеют высоту 1 м. Стрелки устроены в виде вращающихся частей путевого строения, передвигаемых на колесах.

Локомотивы дороги поддерживаются тремя соединенными между собою колесами. Среднее закреплено неподвижно, крайние могут вращаться в шаровых подшипниках. Локомотивы снабжены двумя горизонтальными котлами, по одному с каждой стороны (черт. 2). Вес паровоза в рабочем состоянии—6,5 тн. Вес тендера—4,6 тн. Давление пара в котле—10,8 атм. На случай недостаточности силы тяги паровоза, на тендере установлена вспомогательная паровая машина. Кроме того, тендерные колеса спариваются с паровозными для получения добавочного сцепления. Под каждым экипажем помещены по 4 штуки направляющих горизонтальных катков диаметром в 30 см., которые движутся по расположенным на высоте 30 см. от уровня земли направляющим рельсам. (Organ f. d. F. d. Eisenbahnwesens. 1889, S. 184. Lartigue Bahn Listowel Ballybunion).

рования тока, который, по боковому проводу, поступает в электровоз, находящийся внизу, во главе поезда с порожними вагонами, и доставляет, таким образом, тяговую силу для перемещения поезда вверх.

Система легких (переносных) дорог инженера Лартига проникла в свое время и в Россию. В 1885 году в Усть-Ижорском саперном лагере (под Ленинградом) производились сравнительные испытания переносных дорог Лартига и Дековила для выяснения, между прочим, вопроса, какому из этих двух типов следует отдать предпочтение при устройстве легких путей в наших средне-азиатских владениях ¹⁾. Опыты эти показали, что при укладке путевого строения Лартига (в лагере было уложено по 1 версте каждого типа) трое рабочих были в состоянии в течение 12 минут собрать и установить 1 м. пути. При пробных поездках, обыкновенная крестьянская лошадь свободно тинула по такой маленькой дороге, в горизонтальном направлении, до 228 пуд. (3750 кгр.). Опыты, произведенные в целях выяснения пригодности дороги для перевозки войск, также дали удовлетворительные результаты.

¹⁾ Хотя легкие полевые дороги переносного типа, как представляющие известную разновидность обыкновенных железных дорог, и не входят в программу настоящего труда, но, ради полноты, мы полагаем полезным сказать также несколько слов о дорогах Дековила и родственных им типах.

Переносные пути, в отличие от обыкновенных паровозных дорог, состоят из отдельных звеньев, или рам, длиною от 1 до 5 м., укладываемых непосредственно на грунте. Каждое такое звено, или рама представляет два параллельных отрезка рельсов, соединенных наглухо с деревянными или металлическими шпалами. Для закрепления рельсов на поперечинах пользуются теми же средствами, что и на железных дорогах нормального типа. В устройстве стыков наблюдается, однако, целый ряд оригинальных приспособлений, вызываемых требованиями, чтобы сборка и разборка такого летучего пути могла, при всякой погоде, производиться быстро и без затруднений. Конструкции эти довольно разнообразны. В некоторых системах рельсовые концы рам соединяются между собой зажимными подкладками, в виде скоб. Иногда один конец накладки приклепывается к рельсу, а другой обделывается в форме крюка, который навешивается на болт или шип смежного рельса, или падает в отверстие, просверленное в металлической шпале.

Отдельные рамы должны иметь известную боковую игру в стыке, которая допускала бы укладку небольших закруглений без выгиба рельсов. Для укладки более длинных и крутых кривых изготавливаются обыкновенно криволинейные звенья.

Стрелки устраиваются или передвижные, или обычного типа (с острьями). Некоторые системы применяют т. н. «накидные» стрелки, основанные на принципе перехода экипажа поверх существующих путей.

Ширина колеи легких подвижных дорог варьирует от 400 до 1000 мм.

Во главе многочисленных систем переносных линий стоят, появившиеся в 1876 г., дороги Дековила. Они быстро завоевали себе всеобщую симпатию. Уже к концу 1889 г. было уложено в разных странах до 7500 км. таких дорог. В том числе и 100 верст в б. Закаспийском крае.

Из других типов заслуживают внимания: дороги Дальберга, приспособленные для перевозки леса, тип Шпальдинга, с успехом примененный в прусских лесничествах, и Дитриха.

В Венгрии и Швейцарии пользовались для перевозки леса деревянно-колейными дорогами.

Затем было признано, что предлагаемый тип полевого пути чрезвычайно удобен для эвакуации раненых. На пробном участке был допущен предельный уклон в 6% и минимальный радиус в 6 сажень ¹⁾.

Дороги системы Лартига имеют свои положительные стороны, но в то же время не лишены и известных недостатков. К первым относится, прежде всего, возможность укладки этих дорог в качестве переносных путей. Затем: быстрота сборки и разборки; возможность пользования этими дорогами в степных районах, подверженных действию сильных ветров (песочные заносы), а также при переходе заливаемых водою низин; недорогая стоимость. К числу недостатков этой системы следует причислить: загромождение пересекаемой территории как бы сплошным забором, что крайне стеснительно при разработке сельскохозяйственных угодий и, вообще, в культурных, густо населенных районах; другое неудобство, на которое неоднократно указывалось,—это увеличение сопротивления при неравномерной нагрузке; но опыт показал, что при увеличении диаметра боковых роликов до 30—40 см., добавочное трение не имеет, при перевозке грузов, практического значения. Что касается до применения дорог Лартига в северных широтах, то хотя вагонеты, будучи приподняты над землей на 30 см., и в состоянии двигаться по снежному покрову, но система эта, казалось бы, является мало пригодной, т. к. легкое металлическое строение будет несомненно подвержено известному расстройству под влиянием изменения температуры и других атмосферных деятелей.

Прежде чем перейти, в исторической последовательности, к дальнейшей эволюции типа пассажирских дорог подвесной системы, следует сказать несколько слов о системе Бера. По существу—это та же система Лартига, только улучшенного типа (опорные стойки высотой в 1,2 м.; в нижней части стоек добавлена вторая пара направляющих брусовых рельсов). Не останавливаясь на подробностях, скажем только, что проживающий в Англии германский инженер Бер, принимавший деятельное участие в сооружении линии Беллибёнион, пропагандировал свою систему главным образом,—как это ни странно,—имея в виду достигнуть больших скоростей, при условии оборудования поездных составов электрическими двигателями. После детальной разработки вопроса с теоретической стороны, Бери удалось продемонстрировать свой тип электроподвесной дороги на всемирной выставке в Брюсселе, в 1897 г. При этих опытах скорость, на прямых, доходила до 120—135 км. в час (длина линии была всего 5 км.). Этот результат побудил энергичного защитника подвесной системы

¹⁾ „Железнодорожное Дело“. 1885, стр. 250. Опыты в Усть-Ижорском саперном лагере над однорельсовой железною дорогою системы Лартига.

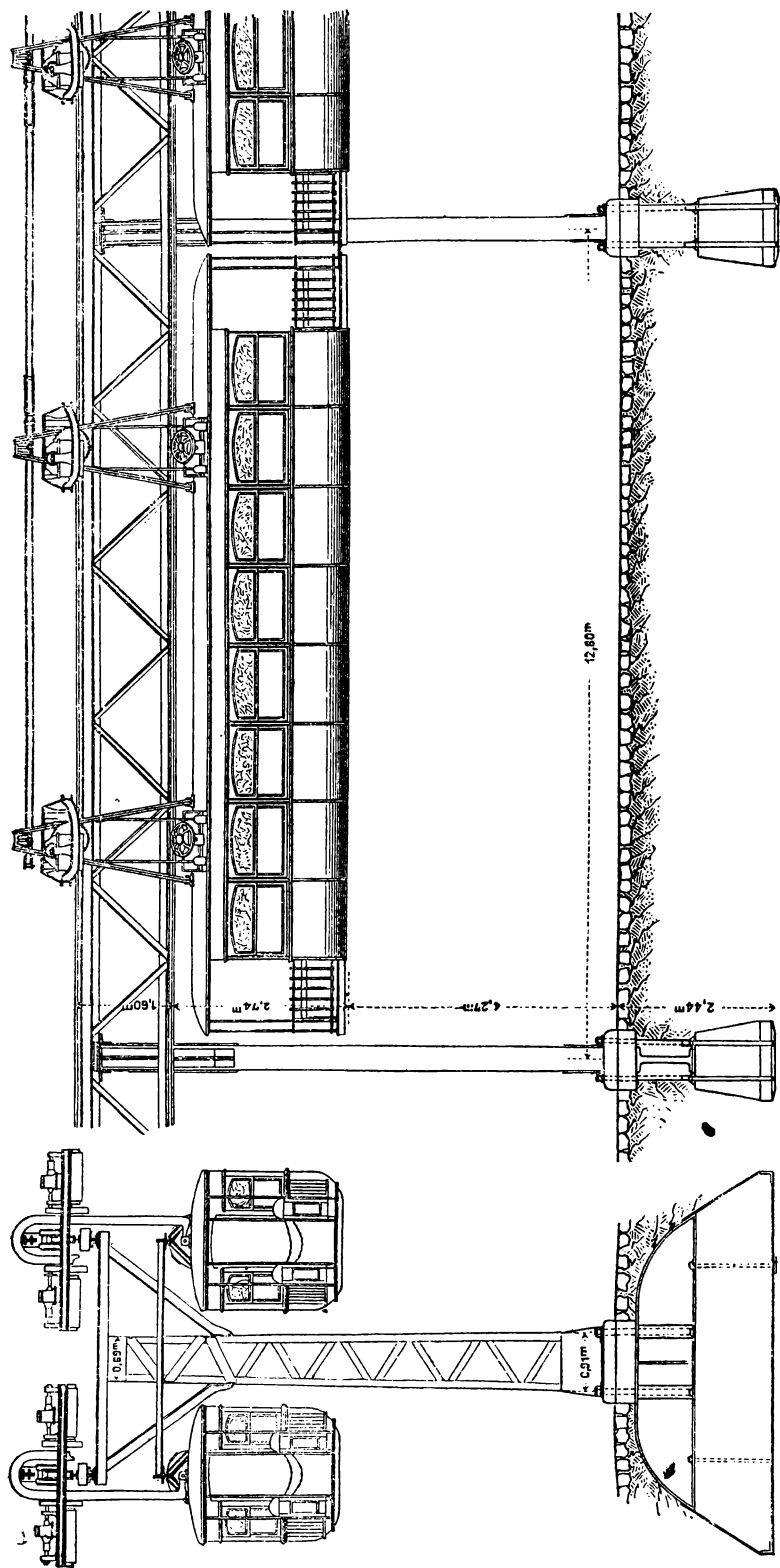
83032
выступить с предложением построить линию большой скорости из Ливерпуля в Манчестер, на которой составитель проекта рассчитывал довести скорость до 175 км./ч. Этот проект вызвал большое оживление в технических сферах, и в периодической технической литературе за 1899 и 1900 г.г. мы находим целый ряд статей и заметок, посвященных обсуждению этого проекта. Система Бера нашла себе властных защитников, и постройка была уже близка к осуществлению. Но образованная в 1901 г. при английском парламенте комиссия, после подробного рассмотрения мотивов за и против, признала, что электроподвесная дорога Лартига—Бера не представляет полной гарантии в отношении безопасности движения, и предлагала предложение Бера отклонить¹⁾.

Подобное решение нельзя не признать правильным. При движении с такой быстротой, малейшая неисправность путевого строения или порча ходовых частей могли бы быть крайне пагубны. Сам Лартиг, выступая со своими „Installations monorails“, вовсе не имел в виду применять новую систему для быстрой езды. Дороги его, хотя и были впоследствии приспособлены к механической тяге, пригодны по своей конструкции только в качестве второстепенных путей. Скорость на них может быть допущена, максимум, 40 км. в час, и то при самой тщательной пригонке частей и разбивке закруглений.

Рассмотренные нами до сих пор проекты подвесных дорог, при всем разнообразии в конструкции, имеют все же одну общую типовую черту: вагонеты не висят на своих ходовых частях свободно, как, например, висят подвешенные к брусу качели, а свешиваются только *отчасти*, и потому требуют для удержания равновесия устройства вспомогательных боковых колесиков, бегущих по расположенным внизу рейкам. Это, если можно так выразиться, суть дороги *полуподвесные*. Такие жесткие воздушные пути, где вагонные единицы, подобно подвижному составу висячих канатных дорог, помещаются *ниже* уровня рельсов, мы впервые встречаем в системе американского инженера Эноса (1888). Благодаря подобному изменению, экипажи получают устойчивое равновесие, независимо от положения нагрузки и влияния центробежной силы.

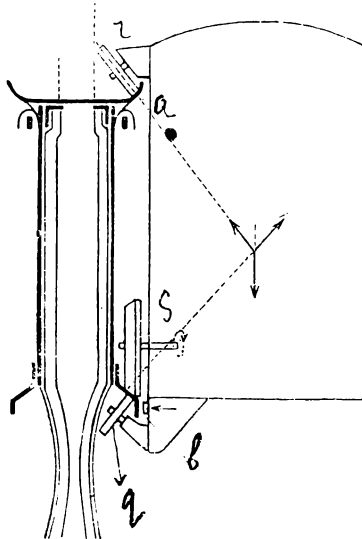
Путевое строение построенной по этому типу линии С.-Поль—Минеаполис, в штате Миннесота, длиною в 40 км., представляет две решетчатых фермы с прямолинейными поясами (черт. 3), на которых укреплены, один над другим, по два рельса (дорога в два пути). Эти фермы поддерживаются рядами опорных стоек с боковыми кронштейнами.

¹⁾ Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens. 1901, s. 92. Der Schnellbahnverkehr und die Schwebebahnen. von Dolezalek, professor zu Hannover.



Черт. 3. Электродорожная система Эноса

По верхнему рельсу, который поддерживается верхним поясом, движутся ведущие колеса вагономотора, с двумя закрайцами. По нижнему, укрепленному под нижним поясом, катятся помещенные на крыше вагона, под углом в 45° , два направляющих шкива. Каждый вагон висит на двух изогнутых дугах. Они служат подшипниками для верхних (ведущих) колес, и снабжены с боков горизонтальными полками, на которых помещаются два электродвигателя, приводящие непосредственно в движение вагонные оси. Электрический ток проходит из питательного провода к верхнему рельсу (надлежащим образом изолированному), поступает через ведущее колесо в двигатель, направляется затем по проводу к нижним вспомогательным ро-ликам и возвращается обратно через нижний пояс. Ручные тормоза могут быть, в случае надобности, усилены электрическим торможением, путем обращения двигателя в генераторную машину, замкнув ее на короткую цепь и включив ре-остат.



Черт. 4.

Демонстрированная на всемирной выставке в Чикаго (1893) модель подвесного пути Кука (черт. 4), в отношении устройства ферм, сходна с предыдущей системой, но существенно отличается от нее тем, что вагоны не подвешены к ферме снизу, а укреплены *сбоку*, т.е. с одной стороны, а другая сторона их свободно свешивается. Вагоны поддерживаются двумя парами колес, бегущих по укрепленным по бокам фермы, вверху и внизу, наклонным рельсам. Нижние, ведущие колеса *s* (конические) принимают на себя большую часть груза; верхние, цилиндрические, *r*, играют роль поддерживающих. Вагон спроектирован таким образом, что линии, по которым направлены давления на оба рельса, во избежание получения сгибающего момента, пересекаются на вертикальной вагонной оси. Против нижней линии рельсов устроено еще третья пара колес, *q*; будучи сильно нажимаемы, они предотвращают сдвиг вагона в сторону, и усиливают действие тормозных башмаков. Электродвигатели соединены, как и в системе Эноса, непосредственно с движущей осью, что позволяет, по мнению Кука, развить скорость до 320 км. в час ¹⁾.

¹⁾ Organ f. d. F. des Eisenbahnwesens. 1895, S. 129. Neue Hochbahnformen.

Из Америки система свободного подвешивания вагонов перешла и в Европу. Впервые, насколько известно, она была разработана в проекте подвесной городской дороги, составленном берлинскими профессорами Дитрихом и Мюллер-Бреслау для Берлина (1894). Система эта несколько напоминает конструкцию Эноса, но она значительно солиднее и надежнее. Вагоны подвешены не к одному верхнему поясу, а к выступающим в виде кронштейнов балочным перекрытиям обоих верхних поясов. Вагоны, следовательно, движутся вдоль поддерживающей фермы, и потому снабжены внизу горизонтальными боковыми катками, которые направляются по укрепленным на нижнем поясе рельсам. На упомянутых

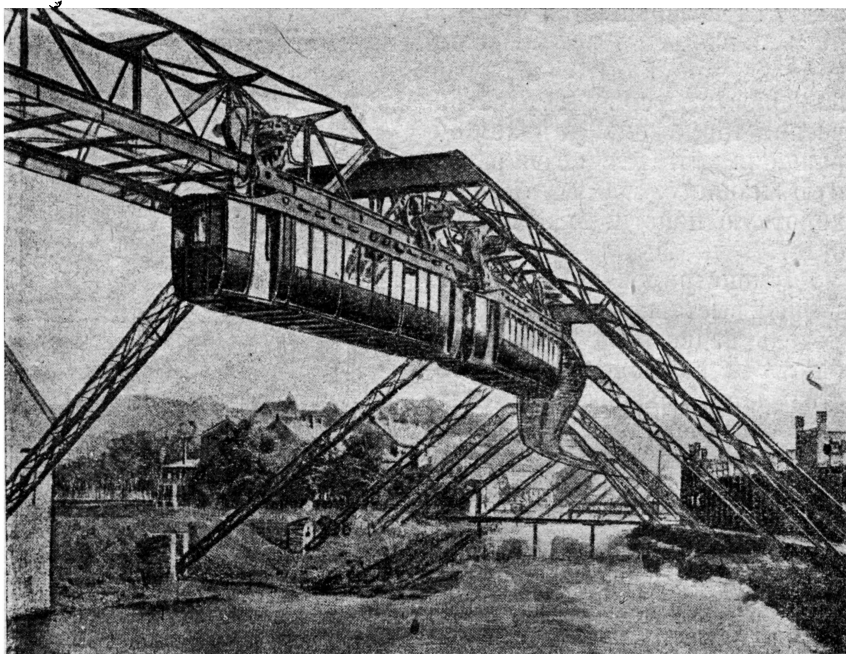


Рис. 5. Электроподвесная дорога системы Лангена.

выступающих кронштейнах проложены с каждой стороны по две пары рельсов, т.-е. две колес, по которым движутся вагоны посредством четырехколесных скатов; движущие колеса суть только те, которые идут с наружной стороны колес. Вагонные кузова висят свободно на этих скатах при посредстве соответственно изогнутых скоб.

В качестве движущей силы изобретатели предлагали канатную тягу, пар или электричество, предоставляя решение этого вопроса на усмотрение муниципалитета. Главное достоинство проекта Дитриха и Бреслау — это отсутствие

боковой качки, вследствие того, что вагоны движутся вдоль фермы, соприкасаясь с ней направляющими роликами.

Возникшая на континенте Европы, на рубеже XIX и XX столетий, электроподвесная однорельсовая система инженера Лангена является подвесной системой в ее *чистом виде* (рис. 5). Тридцатилетние наблюдения над работой подвесных дорог на принадлежащем изобретателю сахарном заводе в Кёльне показали, что коробки с грузом проходят по этим путям беспрепятственно, и движутся с большой быстротой по самым крутым кривым; перевозимые материалы не испытывают при этом никаких сотрясений; за все время эксплуатации не было ни одного случая схода. Все эти данные привели Лангена к убеждению в полной возможности применить принцип подвешивания вагонов и для устройства пассажирского сообщения в широком масштабе.

Чтобы достигнуть такого же спокойного хода поездов и при перевозке людей, Ланген, в отступление от конструкций, примыкающих к типам Фелля и Энosa, подвешивает вагоны к скатам совершенно свободно. Помещенные ниже точки опоры и не стесненные боковыми катками, экипажи могут качаться во все стороны. Поэтому, при проходе по закруглениям, они наклоняются под влиянием центробежной силы и принимают такое положение, что равнодействующая веса вагона и бокового давления всегда проходит через точку подвеса. Вследствие этого напряжение материала опорных стоек возрастает очень незначительно.

Для предупреждения сходов, Ланген предполагал под нижним поясом поддерживающей фермы поместить на вагонах контр-ролики. Эти вспомогательные катки могут быть, с помощью особого механизма, нажимаемы на нижний пояс, что дает, в случае надобности, возможность быстро остановить вагон. Устройство таких катков, кроме того, позволяет увеличивать по желанию силу трения ведущих колес о рельсы, а следовательно, и применять рассматриваемую систему и для горных дорог. Опасаясь, что при устройстве линий трамвайного типа, колебания вагонов, в виду большой скорости, могли бы достигнуть таких размеров, при которых они представляли уже серьезное неудобство для едущих, Ланген сначала предполагал, вместо одной линии рельсов, устраивать, по примеру обыкновенных железных дорог, двухрельсовый путь.

В соответствии с этими основными принципами были, в свое время, тщательно разработаны проекты: опор, стрелок, подвижного состава и других деталей новой конструкции.

Система Лангена, после всестороннего технического обсуждения, нашла себе практическое применение при постройке линии трамвайного типа Эльберфельд—Бармен. Эти два крупных торгово-промышленных центра Прирейнской Пруссии, рас-

положенные по берегам реки Вуппера, приблизительно в 10 км. друг от друга, разрослись к началу девяностых годов прошлого века настолько, что почти слились вместе своими пригородами. Проведение обыкновенного рельсового пути, за неимением свободной территории, потребовало бы громадных сумм на расходы по отчуждению. Постройка эстакадной дороги над Вуппером была немыслима, вследствие крайне извилистого течения этого притока Рейна. Поэтому, когда сотрудник Лангена, инженер Фельдман, известный составитель проекта воздушной пассажирской дороги на Веттергорн, выступил в 1894 году от его имени с предложением устроить между названными городами подвесную дорогу, то городские общества и торговые фирмы отнеслись к этому предложению весьма сочувственно, считая его наилучшим выходом из создавшегося положения. Но так как еще ранее одна берлинская фирма выработала для устройства названного междугородного сообщения проект эстакадной дороги, который она усиленно поддерживала, то, для окончательного решения вопроса с технической стороны, была образована в свое время экспертная комиссия. После подробного рассмотрения сравнительных достоинств и недостатков обеих систем, комиссия также высказалась в пользу постройки дороги подвесного типа ¹⁾. В виду такого мнения специалистов, заинтересованные организации остановились на сооружении дороги Эльберфельд—Бармен по системе Лангена.

Прежде чем приступить к работам, строители должны были, однако, решить вопрос, применить ли в настоящем случае двухрельсовый, т.-е. колеиный тип, по которому было первоначально предположено строить дорогу на основании результатов испытаний, произведенных на сооруженном еще в 1893 году пробном участке (при ширине колеи в 45 см.) или же остановиться на конструкции в одну линию рельсовых звеньев, которая во многих отношениях представляла с технической стороны преимущества. Для окончательного выяснения этого дела был построен в 1895 году второй опытный участок, с однорельсовым путем. Пробные поездки на нем показали: что скорость движения могла быть увеличена до 25 км. (вместо 12, как это было на первом участке), при чем езда была гораздо спокойнее; что при проходе по закруглениям вагон принимал наклонное положение под углом в 25°, при чем едущие не испытывали никаких неудобств.

¹⁾ В особенности комиссия обратила внимание на большую безопасность подвесной дороги сравнительно с эстакадной. В заключении комиссии по этому поводу сказано буквально следующее: «Подвесная дорога представляет, вследствие принудительного движения вагонов (исключения возможности схода с пути), значительно большую надежность при эксплуатации и безопасно допускает применение большей скорости, так как одновременно дает возможность существенно повышать тормозящую силу, что очень рекомендуется». (Glaser's Annalen für Gewerbe und Bauwesen. 1895. B. 36, S. 9).

В общем, результаты испытания на втором участке оказались настолько удовлетворительными, что, как городские управления, так и подлежащие власти решили осуществить намеченную постройку дороги по системе однорельсового пути. Весьма возможно, что при таком решении техники руководились также и известной осторожностью, так как, несмотря на теоретические расчеты, возможность сохранения параллелизма двух рельсовых питей, не связанных между собою непосредственно ¹⁾ (как на обыкновенной рельсовой колес), при следовании вагонов по крутым кривым,—не могло не возбуждать опасений.

Когда этот коренной вопрос был таким образом окончательно вырешен, было приступлено к составлению исполнительного проекта. Чтобы составить себе некоторое представление о той колоссальной работе, которая потребовалась на производство расчетов и детальную разработку столь сложной, ответственной и при том совершенно новой конструкции, достаточно упомянуть, что техническим бюро по постройке было изготовлено свыше 6.000 листов рабочих чертежей ²⁾.

Возникшие пререкания относительно выбора направления, а также и некоторые предварительные действия несколько задержали приступ к работам, так что линия Бармен—Эльберфельд—Фовинкель ³⁾ была открыта лишь в 1902 г. Длина ее—13,3 км. На протяжении 10 км. путь проходит над руслом реки. Технические данные, касающиеся устройства дороги, помещены ниже. Здесь же заметим только, что металлическое строение линии—совершенно особого типа, примененного на Эльберфельдской дороге впервые. Оно замечательно прозрачно, отнимает мало воздуха и света, и отличается легкостью, несмотря на то, что на линии обращаются четырнадцатитонные вагоны ⁴⁾.

Вскоре после постройки линии Бармен—Эльберфельд, в технических органах появилось сообщение о системе электро-подвесных дорог пассажирского типа, изобретенной русскими инженерами Талем и Вейсом. Предложенная кон-

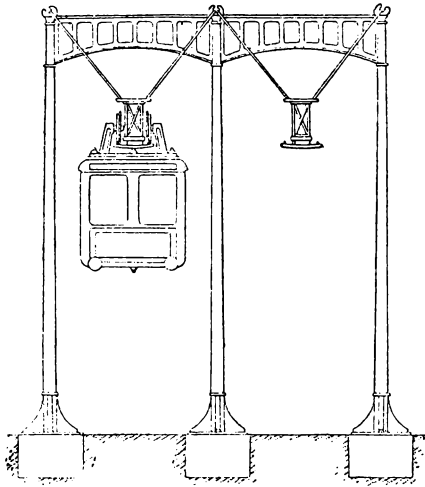
¹⁾ Путевая ферма, проектированная в системе Лангена для двухрельсового пути, имела форму буквы П, при чем рельсы предположено было прикрепить к внутренней стороне вертикальных стенок.

²⁾ Glaser's Annalen für Gewerbe und Bauwesen. 1902, S. 67.

³⁾ При окончательной выработке проекта дорогу было решено продолжить до местечка Фовинкель, южнее Эльберфельда.

⁴⁾ Почти одновременно с открытием дороги Эльберфельд—Бармен, построена в 1901 году, по проекту Фельдмана, небольшая горная подвесная канатная дорога в местечке Лошвиц, близ Дрездена. Ряд высоких металлических козел, перекрытых решетчатыми поперечными фермами со свешивающимися консолями, поддерживают массивные рельсовые балки, нижние стороны которых обделаны в форме зубчатки. Движение происходит при помощи конечного каната, обвивающего верхний шкив, который приводится в попеременное вращение двумя локобилями. Длина дороги—250 м. Высота подвеса—80 м. Наибольший уклон—400⁰/00.

струкция, по основной идее, аналогична с первоначальным проектом Лангена—устроить движение подвесных вагонов по двухрельсовому возвышенному пути. Характерную особенность ее представляет путевая ферма. Она имеет в разрезе форму

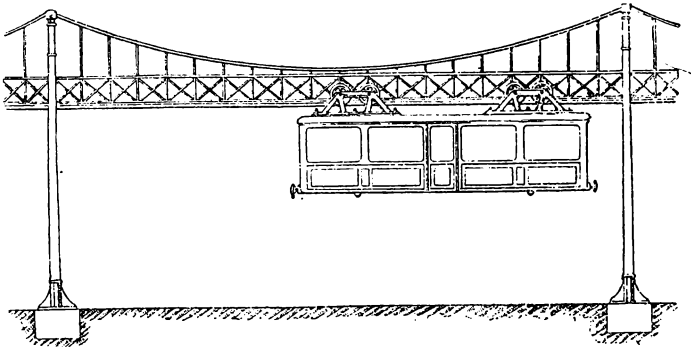


Черт. 6.

четырехугольника и оканчивается снизу рядом перекладин, на свешивающихся концах которых укреплены рельсы. Таким образом изобретатели удачно решили проблему получения непосредственного соединения линий рельсов, чего не было достигнуто в двухрельсовой системе Лангена. Затем, передача давления путевого полотна на опорные столбы посредством наклонных тяг, прикрепленных к криволинейным поясам, придают системе известную эластичность. Общее расположение ча-

стей видно из черт. 6 и 7.

Изобретатели имели в виду применить свою систему и для автоматической перевозки почтовой корреспонденции. Проектируемые ими почтовые дороги должны были передвигать не-



Черт. 7. Электроподвесная дорога Таля и Вейса.

большие вагонеты, подъемной силой до 3 тонн, с быстротой в 300 км. в час. Идея эта была встречена в заграничной печати сочувственно, но, насколько известно, система эта не была осуществлена на практике.

В 1897 году выступил с предложением своей системы электрических подвесных дорог инженер И. В. Романов. Устройство ее изложено в двух брошюрах инженера К. Н. Каншина, изданных в 1901 и 1904 г.г.¹⁾, а также в докладе, сделанном им, в начале 1901 г., в Русском Техническом Обществе по вопросу о применении системы изобретателя к организации быстроходного сообщения между Ленинградом и Москвой²⁾.

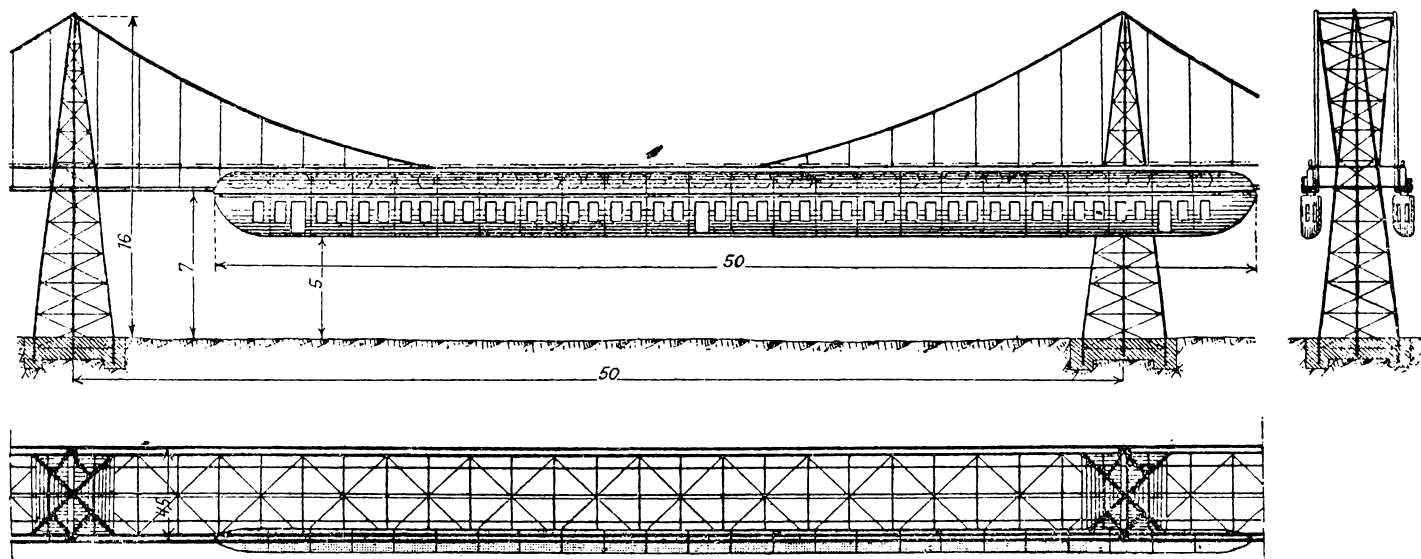
Система И. В. Романова, по общей концепции, примыкает к группе дорог с центральным подвесом экипажа (типы Эноса, Лангена и др.), но отличается от них более прочным устройством поддерживающей рельсовый путь мостовой фермы, прекрасно разработанной конструкцией подвесного аппарата и лучшим способом электрического оборудования. Инженер Романов, по примеру инженера Бера, имел, главным образом, в виду путем сооружения надземных дорог своей системы содействовать решению назревшего за границей вопроса о постройке специальных рельсовых путей большой скорости. В этом отношении, рассматриваемая система является, казалось бы, несомненно более пригодной и надежной, чем дороги Лартига—Бера. Однако, проект Романова построить линию большой скорости в пределах полосы отчуждения б. Николаевской ж. д., как известно, не получил, по техническим и экономическим соображениям, поддержки в подлежащих сферах, и идея изобретателя нашла себе практическое применение только в виде небольшого пробного участка, построенного в г. Троице (б. Гатчина) в 1900 г. Длина этой маленькой дороги была всего 100 саж. Она имела в плане форму восьмерки. Наименьший радиус—5 саж. Скорость движения вагона доходила до 20 верст в час.

Предложенная в 1914 году французским инженером Мелем (Mahl) система быстроходной электроподвесной дороги, сходная по способу подвески экипажей с типом дороги Эльберфельд—Бармен, существенно отличается от нее конструкцией путевого строения и формой подвижного состава.

Путевое строение подвешено на цепях к проволочным канатам, закрепленным на решетчатых металлических колоннах, расположенных через каждые 50 м. (черт. 8). Высота опор—16 м. Верхнее строение образует, таким образом, род

¹⁾ К. Н. Каншин. Об электрических подвесных дорогах вообще и о подвесной электрической дороге системы И. В. Романова в частности, с применением ее к военно-полевому передвижению. 1901.—Электрические железные дороги подвесной системы, как наиболее рациональные для быстрого передвижения. Доклад инженера путей сообщения К. Н. Каншина на третьем Всероссийском Электротехническом Съезде в С.-Петербурге. 1904, стр. 4.

²⁾ Железнодорожное Дело. 1901, стр. 119. О подвесной железной дороге системы И. В. Романова в применении к Николаевской жел. дор. Стенографический отчет по докладу К. Н. Каншина и беседе в VIII Отделе Технического Общества, 15 февраля 1901 г.



Черт. 8. Быстроходная подвесная дорога системы Меля,

висячего моста. Рельсы таврового профиля. Звенья их соединены между опорами наглухо, и только на опорах они связаны накладками, с овальными болтовыми отверстиями, для возможности продольного перемещения под влиянием изменения температуры. Оригинальный вагон-поезд, длиною в 50 м., очень узкий, состоит из целой серии соединенных шарнирами отдельных частей, снабженных скамейками, которые могут качаться в направлении, перпендикулярном движению поезда. Каждая часть такого коленчатого состава висит на двух колесах, оси которых удалены друг от друга на один метр. Эти колесные скаты, будучи оборудованы отдельными электромоторами, представляют независимые друг от друга движущие механизмы.

Линию предполагается разделить на отдельные тяговые участки в 5 км., из которых каждый может быть самостоятельно выключен из цепи. Движение предусмотрено организовывать по такой схеме: поезд, дойдя до конца участка, действуя на особый рычаг, автоматически разобщает этот участок с контактным проводом и вводит в цепь третий задний перегон. Благодаря этому, движущийся поезд будет всегда иметь за собой два участка, выключенных из цепи.

Проектируя свою дорогу, инженер Мель предполагал установить наименьший радиус закруглений в 1.000 м., наибольший подъем в 50‰ и максимальную скорость—в 300 км./ч.¹⁾

Системой быстроходной дороги Меля,—этой дороги будущего,—мы закончим наш обзор подвесных дорог с пассажирским движением и перейдем к жестким возвышенным путям, предназначенным исключительно для доставки грузов. Если по существу дела подвесная система не могла вступить в соревнование с паровозными железными дорогами в отношении *единовременной* массовой перевозки грузов на далекие расстояния, то она нашла себе вскоре обширное поле деятельности при перевозках предметов и материалов в небольших количествах, *отдельными партиями*. Для такой работы естественно можно было довольствоваться легкими перевозочными средствами, элементарной конструкции, лишь бы только они удовлетворяли намеченной цели и обладали подъемной силой, примерно в 1—1,5 тн. Этим и объясняется отчасти тот факт, что разновидностей жестких висячих дорог для грузового движения чрезвычайно мало. Сохранив основной принцип движения системы Пальмера, эти подвесные дороги,

¹⁾ Organ f. d. F. des Eisenbahnwesens. 1915, S. 40. Schwebebahn von Mähl.

В последнее время взят в Германии патент на устройство легкой подвесной дороги для перевозки пассажиров, основанной на соединении путевой балки, между опорными стойками, с канатом в нескольких точках. Но при этом, для усиления путевого строения, снизу подвешивается еще другой канат, и вся конструкция приводится в трехугольную систему вертикальными распорками. (Fördertechnik und Frachtverkehr. 1925. Heft 21).

однако, существенно отличаются от основного типа тем, что вагонеты подвешиваются не с двух сторон, а снизу, по примеру висячих канатных дорог.

При такой простоте устройства, сведения о постройке той или другой подвесной дороги не проникали в технические органы, и потому выяснить, с какого времени эти вспомогательные транспортные средства стали входить в состав оборудования заводских предприятий,—трудно. Первые указания на устройство таких путей (солевозная дорога в Галле) появляются в специальной литературе в семидесятых годах пр. в., но, насколько можно судить по другим источникам, подвесные дороги, эксплуатируемые мускульной силой, функционировали на больших заводах уже в половине шестидесятых годов.

Передвижение грузов по жестким надземным путям вручную продолжалось, примерно, до конца XIX столетия. С усовершенствованием конструкции электродвигателей, уменьшением их размеров и с постройкой тихоходных машин (*slow speed*) с одной передачей и даже вовсе не требующих передаточных механизмов для уменьшения угловой скорости,—явилась возможность применить электрическую тягу и к подвесным путям. Другим важным нововведением было *автоматическое* передвижение вагонетов, которое чрезвычайно упростило процесс развозки. Если к этим техническим улучшениям пользования надземными дорогами мы добавим еще их органические качества: малое сопротивление движению, отсутствие необходимости производить периодическую очистку пути от выпадающих из вагонетов частиц, возможность лучшей утилизации внутренней площади помещения и большую эластичность в выборе направления,—то станет совершенно ясным почему, начиная с 1900 года, электроподвесные дороги уже занимают выдающееся место среди прочих способов перевозки: на электротехнических, газовых и других заводах, в горнозаводском деле, при вывозке шлаков и отбросов и во многих других случаях.

Первые шаги в деле сооружения висячих дорог с электрической тягой были сделаны в Англии. Вскоре же после устройства Вернером Сименсом, в Германии, первого электрического локомотива (1879), в Соединенном Королевстве возник проект приспособить энергию тока к перемещению грузов по туго натянутому кабелю, в нескольких сцепленных между собою вагонетах, при чем головной экипаж получал движущую силу от находящегося на нем электромотора. Патент на постройку таких воздушных линий, получивших название *тельферных* дорог, был выдан профессору Дженкинсу в Эдинбурге. Чтобы поездные единицы (из 10 экипажей) могли двигаться по такой линии самостоятельно, она делилась на участки. Электрический ток поступал в каждый из таких перегонов при помощи особых замыкателей,

приводимых в действие вступающими на участок вагонами-локомотивами. После прохода поезда, данный участок автоматически выключался из цепи до пробега следующего состава. Подобная система оказалась, однако, на практике очень сложной, вызвала замешательство в движении, и потому дальнейшая постройка таких путей приостанавливается.

Из Англии тельферные дороги перешли в конце прошлого века в Северную Америку. Несмотря на сделанные местными электрическими заводами улучшения и на изменения в способе перевозки (она производилась в отдельно идущих вагонетах), тельферные дороги не получили в то время в Новом Свете заметного развития, в виду слабой провозоспособности: вагон-мотор был в несколько раз тяжелее перевозимого груза.

Почти одновременно новый тип воздушных путей стал входить в употребление и в Германии, которая, в виду быстрого роста промышленной жизни страны, крайне нуждалась в дешевых и удобных способах перевозки мелких грузов. Фирма А. Блейхерт в Лейпциге, которая специализировалась на сооружении висячих проволочно-канатных дорог, выработала к 1904 году также и более совершенные типы путевого строения и моторов для электроподвесных линий. Конструкция Блейхерта, как показала практика, вполне удовлетворила требования сложного технического оборудования современных заводов. За последние 20 лет электроподвесные дороги получают самое широкое распространение. Отличаясь друг от друга, в зависимости от своего назначения, способами укрепления опор, формой рельсовых балочек, типом вагонетов и моторов, дороги эти, тем не менее, сохраняют всюду общую основную схему, которая сводится к следующему. Отдельные вагонетки приводятся в движение посредством помещенного на них электромотора и совершают весь свой путь автоматически, т.-е. без какого-либо наблюдения за ними и сопровождения их. Укрепленный на раме колесного ската, по середине или сбоку, мотор передает движение ведущей оси посредством одиночного зубчатого привода. При прекращении тока, падает удерживаемый особым электромагнитом тормоз, и вагон останавливается. Ток подводится по голому контактному проводу или по тавровой железной балке, посредством дугового токоприемника. Качающиеся подвески и грузовые коробки сходны с устраиваемыми на висячих канатных дорогах. Пользование дуговыми приемниками предпочтительнее, чем нажимными роликами (тролли), так как исключает надобность в устройстве воздушных стрелок.

Автоматическая эксплуатация подвесных электрических дорог совершается согласно патентованной блокировочной системы фирмы Блейхерт. При этой системе выключение и включение тока происходит принудительным образом самим

проходящим вагоном. С этой целью контактный провод разделяется на равные участки известной длины, могущие быть изолированными друг от друга. Если вагон, скажем, вступает на какой-либо участок *a*, то дойдя до конца этого участка, выключает его, путем поворота коммутатора, из цепи и только дойдя до конца следующей блокированной части пути, *b*, посредством другого коммутатора, участок *a* снова присоединяется к питательному проводнику. Подобная же блокировка пути происходит и при подаче коробов под нагрузку.

Электрические дороги подвесной системы для перевозки грузов снабжаются обыкновенно двигателями постоянного тока с последовательным возбуждением, как наиболее пригодными при частых остановках и изменении сопротивления.

Конструктивные элементы. Из помещенного выше исторического обзора видно, что пассажирские линии подвесной системы отличаются довольно большим разнообразием в способах устройства пути и подвешивании экипажей.

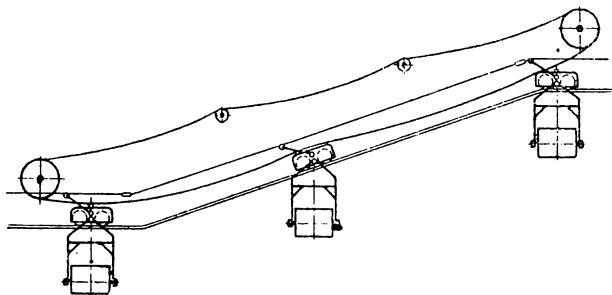
Но из всех этих типов получили практическое применение на европейском материке только однорельсовые дороги Лартига и Лангена, и то в небольшом масштабе. В отношении висячих путей для перевозки грузов наблюдается обратное явление; отличаясь между собой в деталях, они составляют одну общую семью и нашли себе широкое распространение в промышленности. Не останавливаясь на причинах этого явления, которое, по нашему мнению, коренится главным образом в неоднородности условий, которым должны удовлетворять дороги пассажирского и товарного типа, мы не можем, однако, с ним не считаться при дальнейшем изложении. Из указанных двух систем, дороги Лартига, как показал опыт, пригодны в качестве легких промысловых дорог исключительно в южных, степных, малонаселенных районах. Система же Лангена не получила дальнейшего распространения, — полагаем мы, — главным образом потому, что топографические условия постройки пригородных линий в других местностях не представляли такой благоприятной ситуации для применения подвесной системы в столь крупном масштабе¹⁾.

В виду высказанных соображений, мы полагали бы более целесообразным, не останавливаясь на конструктивных деталях пассажирских дорог, дать более полную техническую характеристику линии Бармен—Эльберфельд. Что же касается грузовых дорог подвесной системы, то, наоборот, мы рассмотрим отдельные конструктивные элементы их, не отводя много места описанию дорог, которые разнятся между собою скорее своими вспомогательными устройствами, чем типовыми особенностями.

¹⁾ По новейшим сведениям, подвесная система Лангена, нашла себе применение в Гамбурге.

И первоначально пользовались для передвижения вагонетов по подвесным путям ручной силой; впоследствии была введена электрическая тяга. В зависимости от этого и устройство дорог обеих категорий отличается, одно от другого, типом вагонетов.

Электроподвесные дороги, в свою очередь, распадаются на две категории—по способу эксплуатации. Чем легче тара автомобильного подвешенного вагона, тем бо́льшая часть груза падает на перевозимый материал. Поэтому бывает иногда более выгодным,—если начальная и конечная точки находятся на разных горизонтах,—трассировать бо́льшую часть линии нулевыми уклонами, вставляя в нее лишь на короткие протяжении крутые под'емы. Подобного рода наклонные участки



Черт. 9.

эксплуатируются при помощи бесконечного каната, совершенно независимо от остальной части линии (черт. 9). Благодаря такой *комбинированной* системе облегчается вес обрабатываемых по линии моторов, уменьшается трата энергии и, что особенно ценно для экономической работы установки,—единичное количество потребляемой энергии за все время движения сохраняет постоянную величину.

Другую разновидность представляют электроподвесные дороги обычного типа,—без включения в них механических канатных плоскостей.

Так как большинство подвесных дорог эксплуатируется в настоящее время электрической энергией, и, кроме того, путевое строение дорог, независимо от способа тракции, одинаково, то мы рассмотрим ниже только главные элементы устройства электроподвесных линий.

Путевое строение представляет, большей частью, одно-тавровые и двутавровые балки или же обыкновенные железнодорожные рельсы; реже употребляется круглое железо и полосовая сталь. Путевые балки-рельсы поддерживаются укрепленными в стенах мастерских, складов и других помещений консолями или специальными металлическими свя-

зями. По таким однорельсовым путям перевозятся в двухосных вагончиках отдельные грузы до 1,5 тонн. Если же дорога рассчитывается на подъемную силу свыше 1,5 и до 10 тонн, то рельсовый путь таких линий представляет обыкновенную колею, которая поддерживается двутавровой балкой или решетчатой фермой.

Употребляемые путевые переводы, с вращающимися остряками,—такой же, приблизительно, конструкции, как и на обыкновенных железных дорогах. Принимая, однако, во внимание, что неправильное положение стрелки может иметь последствием не только сход вагонета с пути, но и падение

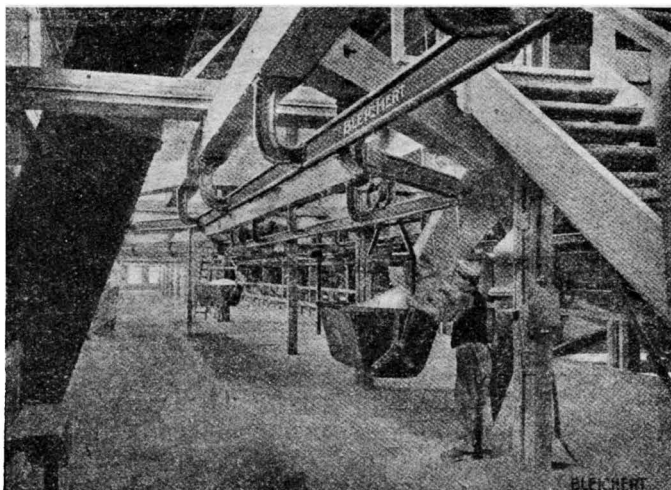


Рис. 10.

его, устроены особого рода приспособления для автоматического предупреждения подобных случаев. Приспособления эти основаны на том, что когда остряк лежащей на пути следования вагона стрелки открыт, то часть расположенного над ним контактного провода разобщается с остальной сетью.

Из новейших изобретений в области путевого строения однорельсовых электроподвесных дорог укажем на поворотный круг системы инженеров Полига и Тома, патентованный в 1916 году ¹⁾.

Чтобы составить себе некоторое представление об устройстве путевого строения во внутренних помещениях, на рис. 10 представлена часть подвесной дороги химического

¹⁾ Описание его устройства помещено в Organ für die F. des Eisenbahnwesens. 1916. S. 126.

завода в Шлеттау близ Галле (Саксонская провинция) для получения хлористого калия. Так как требуемые для добычи этого материала химические и механические процессы производятся в трех этажах, при чем подача материалов происходит по мере надобности, то перемещение вагонеток к электрическим элеваторам и обратно совершается помощью рабочих рук.

Подвижной состав электрических подвесных дорог состоит из вагонеток, приводимых в движение помещенными на ходовых тележках электромоторами. Как видно из рис. 11, на котором изображен вагонет для перевозки груза

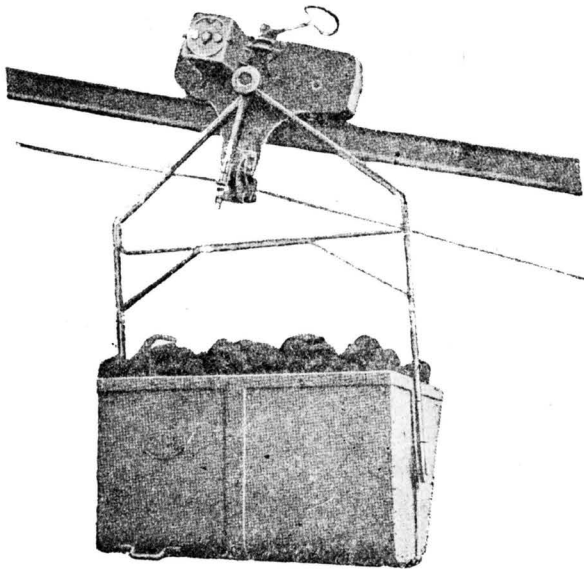


Рис. 11.

не свыше 1,5 тонн, ходовые части экипажа представляют помещенную в закрытом со всех сторон металлическом кожухе колесную пару, электродвигатель и шкворень, на котором, при посредстве дугообразной обоймы, укреплен металлический короб или грузовая корзина. Для удобства и ускорения выгрузки, вагонеты также бывают приспособлены к самопрокидыванию. С этой целью закрепляющая кузов скоба, удерживающая его в отвесном положении, посредством удара о находящийся на пути стержень освобождается, после чего вагонет, будучи подвешен к обойме ниже центра тяжести, переворачивается.

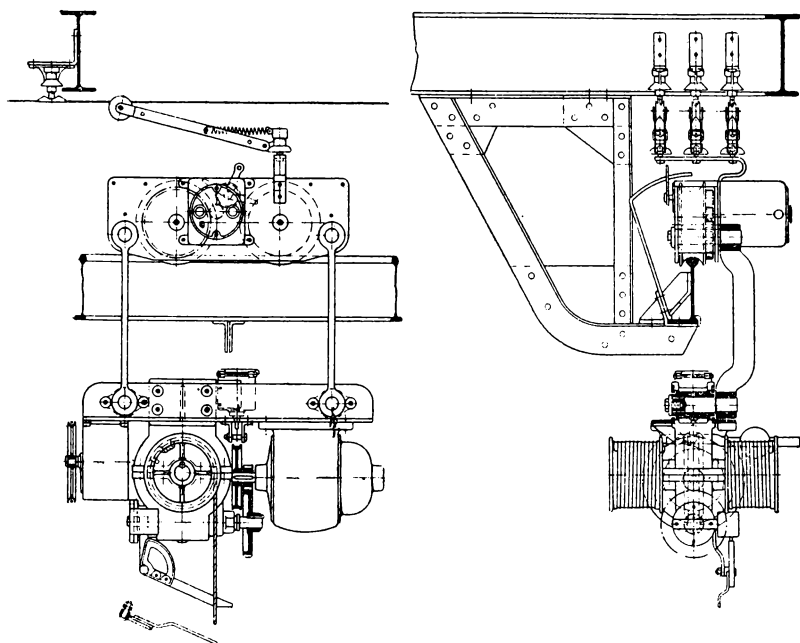
Электрический ток подводится ~~не~~ ^к особому проводнику, обратный ток направляется ~~по~~ ^{по} путевому рельсу. Вагонеты

Дор. особ. сист.



снабжены особыми самодействующими переключателями, при посредстве которых вагонет, достигнув известного пункта, автоматически останавливается, и получает обратное движение ¹⁾).

При сооружении подвесных дорог, рассчитанных на перевозку одним вагонетом груза более 1,5 тонн (или 1500 кгр.), или же в тех, сравнительно редких, случаях, когда жесткий путь заменен канатом (что увеличивает тяговое усилие



Черт. 12.

вследствие провисания кабеля), колесный скат вагона вмещает два двигателя.

Стальные колеса ходовой тележки, помещенные между вертикальными стенками кожуха, укреплены на полых осях, которые служат вместе с тем и вместилищем для смазки. Ступицы этих колес несколько выступают с одной стороны, чтобы на них можно было укрепить движущий и тормозной шкивы. На ступице одного колеса насажен зубчатый диск; с ним непосредственно соединяется стальная шестерня мотора, которая проникает сквозь боковую стенку, во внутреннюю часть колесного ската. На ступице другого колеса помещен тормозной шкив, тормозная лента которого натя-

¹⁾ Схема устройства этого приспособления помещена в статье Дитриха «Elektrisch betriebene Schwebetransporte». (Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure. 1904, Bd. 48, S. 1721).

шута сильной спиральной пружины. Тормоз этот, в период движения, находится в приподнятом состоянии посредством помещенного между стенками кожуха магнита.

На фабриках и заводах часто приходится, предварительно развозки материалов, поднимать их из судов. Поэтому вскоре же после начала сооружения подвесных дорог для целей транспорта ими начали пользоваться и для перемещения грузов в вертикальной плоскости — присоединив к передвижной тележке механизм ворота. Такого рода снаряды оборудованы двумя моторами: для перемещения вагонета и для движения подъемного крана (лебедки). На черт. 12 изображен подобного рода подвесной кран. Тележка для крана прикреплена в двух точках. Для более равномерной нагрузки и притом по возможности ближе к центральной части, имеется не один, а два канатных барабана. Между этими барабанами, сидящими на общей оси, помещен червячный привод (винтовая зубчатая передача), который получает движение от особого, прикрепленного к тележке снизу, второго электродвигателя посредством зубчатой передачи. В зависимости от вращения червячного снаряда в ту или другую сторону, подъемный канат получает движение вверх или вниз.

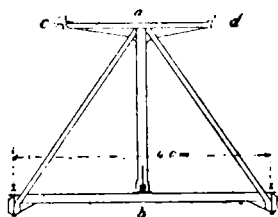
При погрузке больших океанских пароходов является надобность сразу отправлять большое количество груза. Тогда из одиночных вагонетов составляют целые поезда (сняв с вагонетов токоприемники) и помещают во главе такого воздушного поезда вагон для вожатого. На этом вагоне укреплен токоприемник и помещены все предохранительные и регулировочные аппараты.

Переходя к вопросу о типах электродвигателей и роде энергии, следует заметить, что электрические подвесные дороги снабжаются обыкновенно, по примеру трамваев, приемниками энергии в форме постоянного тока ¹⁾. Двигатели этой категории (с последовательным возбуждением) развивают, как известно, наибольшую тяговую силу при трогании с места

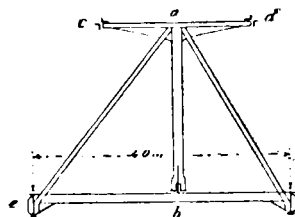
¹⁾ Электродвигатели постоянного тока, — устройство которых основано, как известно, на свойстве динамомашин производить механическую работу, когда в зажимы ее будет пропущен ток, — распадаются на три группы: а) двигатели с последовательным возбуждением; б) двигатели с параллельным возбуждением (шэнт-двигатели), и в) двигатели со смешанным возбуждением. Моторы первой группы (работающие при постоянном напряжении тока) обладают способностью развивать наибольший вращающий момент (M) в начале движения. Кроме того, при изменении нагрузки, величина M также соответственно изменяется, скорость же изменяется в обратную сторону. Шэнт-двигатели (той же категории) имеют свойство, при следовании вагона под уклон, работать в качестве генераторов, и вследствие этого тормозить поезд. Третья группа для тяги не применяется.

Двигатели переменного трехфазного тока (основанные на образовании вращающегося магнитного поля) способны, подобно шэнт-моторам, автоматически регулировать скорость нисходящего поезда, при рекуперации электрической энергии.

и, кроме того, обладают свойством увеличивать вращающий момент при увеличении нагрузки, при чем скорость автоматически уменьшается. Поэтому они признаются наиболее пригодными. Но при условиях движения вагонетов на заводах (короткие расстояния, небольшие уклоны, скорость не выше 9 км/ч.), казалось бы нет оснований, в тех случаях, когда это является удобным, пользоваться также и двигате-

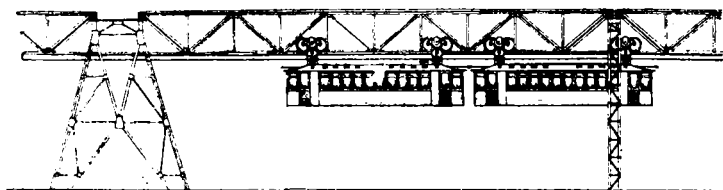


Черт. 13.



Черт. 14.

лями переменного тока, так как, по данным о применении постоянного и трехфазного электрического тока на линиях Западной Европы, устройство электрической дороги при пользовании трехфазным током даст экономию не менее 25—30%. Однако обстоятельство это не должно служить исходной точкой для суждения о выборе наиболее выгодного двигателя для подвесных путей. Не следует забывать, что



Черт. 15.

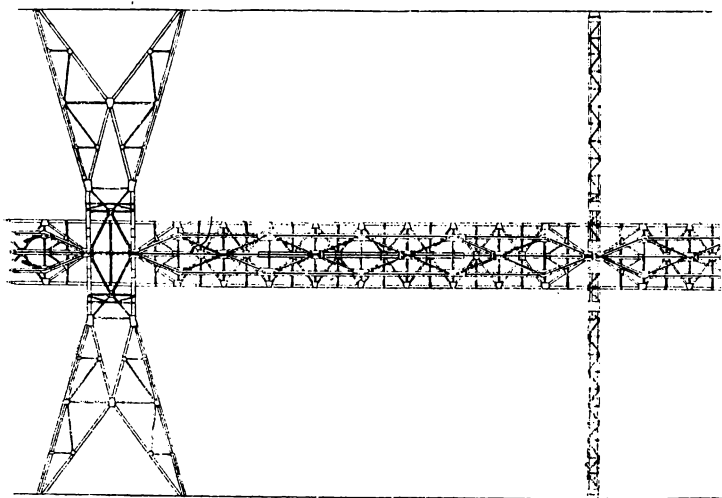
наиболее важными элементами в данном случае являются вес и размеры мотора. Наиболее же легким и компактным двигателем, как показывает многолетний опыт электрической тяги, является—при одинаковой мощности и числе оборотов обмотки—электродвигатель постоянного тока с последовательным возбуждением¹⁾.

Описание дорог. Сначала мы познакомимся с устройством и техническим оборудованием линии Бармен-Эльбер-

¹⁾ Dr. F. Niethammer, Die elektrische Bahnsysteme der Gegenwart, Zürich, 1905, S. 35.

фельд-Фовинкель, а затем приведем несколько отдельных примеров для характеристики грузовых дорог.

Линия Бармен-Эльберфельд-Фовинкель. Детальную разработку проекта и постройку дороги приняло на себя Континентальное Общество электрических предприятий в Нюрнберге. К работам было приступлено в 1898 г. Первый участок, длиною около 8 км., был открыт 1 июня 1901 г. Движение по всей линии открыто в 1902 г. Дорога построена в два пути. Протяжение—13,3 км. Наибольший уклон—45⁰/₁₀₀. Дорога образует, благодаря поворотным петлям на конечных станциях, сомкнутое кольцо. Кривые на упомянутых поворотных участках описаны радиусом в 75 м. На главном пути

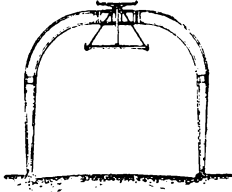


Черт. 16.

радиус кривых не менее 90 м.; при подходах к станциям он понижается до 30 м., а на второстепенных путях доходит до 8 м. Прямые части пути и закругления соединены между собою кубическими параболами в 50 м. Протяжение кривых превышает 50% общей длины.

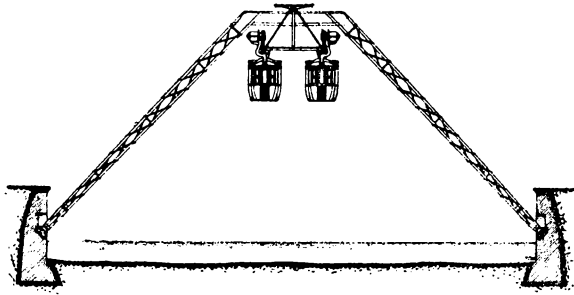
Металлическое путевое строение особого типа; применено на Эльберфельдской дороге впервые. В честь изобретателя оно носит наименование фермы Риппеля (Rieppel-Träger). Новая конструкция состоит из двух горизонтальных и одной (средней) вертикальной фахверковых ферм. Эта сложная система, как видно из чертежей (черт. 5, 13, 14, 15 и 16), представляет, собственно говоря, ряд расположенных в расстоянии 3 м. друг от друга (по продольному направлению), укрепленных на двух линиях подрельсовых балок и соеди-

пешных по верху двумя непрерывными продольными связями,—поперечных двутавровых балок с длинными и неравными поясами, cd и ef , и двумя тягами, ae и af . Вертикальные стенки этих ферм, ab , приведены в неизменяемую систему



Черт. 17.

наклонными раскосами, а ряды подрельсовых балок и верхних продольных уголков соединены между собой горизонтальными диагональными ветровыми связями. Все строение поддерживается опорами (черт. 17 и 18), установленными на промежутках от 21 до 32 м. друг от друга. Через каждые 200—300 м. опоры устроены неподвижными; расположенные между ними фермы, на промежуточных опорах, снабжены приспособлениями для продольного перемещения, в целях выравнивания укорочения и удлинения под влиянием изменений температуры ¹⁾.



Черт. 18.

В кривых частях пути, стенка ab и пояс cd остаются без изменения; перемещаются только: нижний пояс ef и поддерживающие его рельсовые балки,—в зависимости от радиуса и направления кривых,—вследствие чего установка фермы Риппеля на закруглениях не вызывает особых затруднений. В этом отношении, принятый тип нельзя не признать удачным, так как извилистое течение реки потребовало укладки многочисленных кривых.

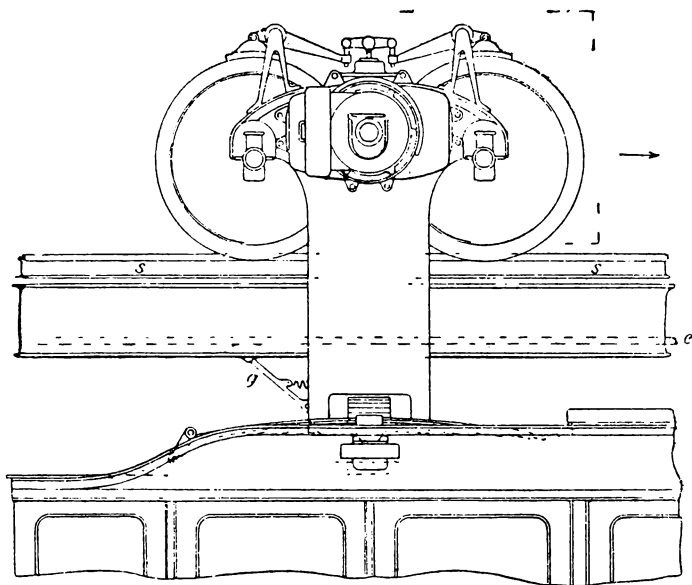
Рельсы, типа Гаармана (составные, с перекрытием стыка) лежат на подкладках; между последними и верхней гранью рельсовой балки помещены войлочные подстилки. Опоры—двух типов: в форме траншей—там, где путь проходит над

¹⁾ Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure. 1900, S. 1373. Die Schwebbahn Barmen-Elberfeld. — В этой статье, иллюстрированной многочисленными рисунками, автор входит в детальное рассмотрение устройства путевой фермы, с сообщением расчетных данных, а также подробно останавливается на конструкции опорных стоек и стрелочных переводов.

руслем Вуппера, и арочный (в виде портала)—в остальной части линии. Высота опорных стоек определена с таким расчетом, чтобы расстояние от уровня улицы до нижней части вагона была не менее 4,5 м.

Стрелки двоякого типа: с вращающимися острьяками и передвижные.

Вес металлического строения, включая и опорные стойки, составляет, в среднем, 1100 кгр. на 1 пог. м. пути. Между тем, на эстакадной электрической дороге в Берлине, при расстоянии между опорами в 16,5 м., вес этот, без рельсов,



Черт. 19.

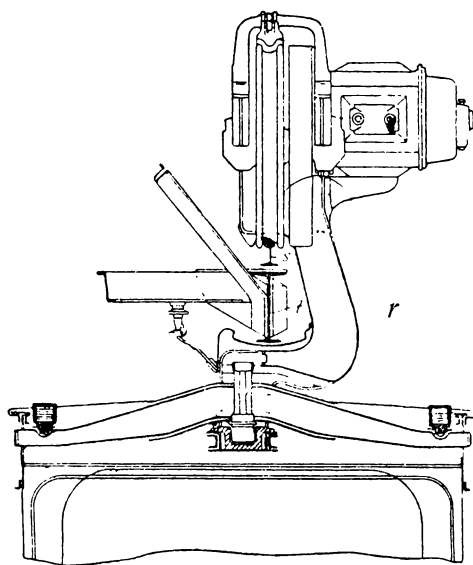
равен 1400 кгр. Столь малый единичный вес путевого строения Эльберфельдской линии объясняется, главным образом, тем, что ферма расположена над вагонами, благодаря чему можно всегда выбрать такую конструкцию, при которой получается наивыгоднейшее распределение материала.

Вагоны, длиною 11,5 м., висят на двух поворотных двухколесных скатах, помещенных в расстоянии 8 м. Диаметр колес—30 см. Эти тележки приводятся в движение, посредством зубчатой передачи, двумя электромоторами, по 36 сил каждый, при чем один мотор приводит в движение обе оси тележки и, следовательно, вес поезда утилизируется целиком.

Общее устройство подвесных приспособлений видно на чертежах 19 и 20. Рама подвесной скобы r охватывает рельсовую балку t при таком малом зазоре, что поднятие вагонного колеса на рельсы представляется абсолютно невозможным.

Электрический ток, посредством скользящего контакта, доставляется по рельсу легкого типа, заменяющему собою питательный провод.

На закруглениях вагоны принимают требуемое центробежной силой наклонное положение без сотрясений, так что пассажиры почти не замечают изменения экипажа.



Черт. 20.

Конструкция ферм допускает угол наклона вагона в 15° , что соответствует движению по кривой радиуса в 90 м. со скоростью в 55 км./ч. Нормальная скорость—30 км./ч.

Вагоны оборудованы тормозами четырех различных систем: 1) воздушным тормозом Вестингауза, действующим на рельсы сверху; 2) ручным тормозом, одновременно действующим и на стержень воздушного тормоза; 3) электрическим тормо-

зом, основанным на том, что двигатель разобщается с цепью и работает в качестве генератора на включенные сопротивления (т. н. динамо-тормоз) и 4) электрическим предохранительным тормозом, основанным на перемене направления тока ¹⁾.

Для регулирования скорости пользуются обычной системой последовательно-параллельного соединения. На линии имеется 24 остановочных пункта. Поезда состоят из двух вагонов. Вместимость вагона—48 человек. Грузный вагон весит около 14 тонн. Блокировочная автоматическая система допускает отправление поездов через каждые 2—3 минуты. Кроме того, на линии введена автоматическая сигнализация,

¹⁾ Centralblatt der Bauverwaltung. 1900. Die Schwebebahn Barmen-Vohwinkel.

благодаря которой, как показал опыт, замешательства в движении чрезвычайно редки ¹⁾).

Общая стоимость 1 км. дороги Бармен-Фовинкель—1.200.000 мар. Электрическая возвышенная дорога в Берлине стоила 2.000.000 мар. с километра ²⁾).

В июне 1902 г., т.-е. незадолго до окончания производства работ и после открытия первого участка, владелица Бармен-Эльберфельдского подвешного пути обратилась с просьбой высказать свое мнение по поводу выстроенной дороги к трем экспертам,—Кёпке, Гёрингу и фон-Боррису,—которые, восемь лет тому назад, дали заключение в пользу сооружения названной линии по проекту инженера Лангена с укладкой двух рядов рельсов.

Во исполнение этого желания, упомянутые лица, после тщательного осмотра всех сооружений и после целого ряда поездок, дали подробный отзыв, который, в главных чертах, сводится к следующему.

Члены комиссии прежде всего остановили свое внимание на преимуществах однолинейной подвешной системы против колеяного типа. При системе одного рельса вагоны свободно устанавливаются по направлению равнодействующей из веса их и центробежной силы—при любой скорости. Обстоятельством этим устраняется беспокоящее пассажиров влияние центробежной силы, и она становится для них неощутительной. Между тем, на всякой двухрельсовой линии необходимо, для противодействия влиянию центробежной силы, поднятие наружного рельса, которое соответствует только одной определенной скорости; при других же скоростях центробежная сила будет вызывать боковые толчки. Но если бы даже и пришли к решению соорудить дорогу исключительно для движения скорых поездов, то при установлении предельной скорости в 160—200 км./ч. вряд ли, по мнению комиссии, возвышение наружного рельса было бы допущено более, чем на $1\frac{1}{3}$ (tang $11\frac{1}{3}^\circ$). Закругления тогда пришлось бы очерчивать радиусом около 2000 м., что явилось бы серьезным препятствием к проведению рельсовых путей в густо населенных

¹⁾ Подтверждением сказанного может служить, до известной степени, тот факт, что только в 1908 г., т.-е. по прошествии шестилетней эксплуатации, на линии Бармен-Фовинкель произошел первый несчастный случай: на одном из остановочных пунктов порожний поезд столкнулся с поездом, в котором ехали пассажиры. При этом 5 лиц были легко ранены.

При расследовании оказалось, что несчастье произошло от небрежности вагонновожатого порожнего поезда и начальника остановочного пункта, не исполнивших требований инструкции, но не имеет решительно никакого отношения ни к системе дороги, ни к прочности ее устройства. (Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens. 1908, S. 210).

²⁾ Einschienige Schwebebahnen nach Patenten Eugen Langen, Köln A. R. H. Continental Gesellschaft für elektrische Unternehmungen, Nürnberg. 1899. S. 59.

и холмистых местностях. На подвесной же дороге, при вполне допустимом наклоне экипажа до угла в 35° , радиус кривизны может быть понижен до 500 м. Затем, было отмечено: а) что при возможности нажатия в подвесной системе рельсовых балок снизу, тормозящая сила значительно повышается и б) что при одинаковой провозной способности, вагоны и путевые фермы подвесной дороги легче и расход энергии значительно менее, чем на возвышенных дорогах обычного устройства пути. По сравнению же с расходом энергии на электрических дорогах нормального типа, подвесные дороги, согласно приведенному подсчету, дают сбережение не менее 18%.

Не отрицая наличия качаний экипажей в известных частях пути, члены комиссии объяснили это неточной разбивкой соединительных кривых. Колебания эти, во всяком случае, чрезвычайно слабы. В общем, подвесной тип следует, по мнению комиссии, признать не менее обеспечивающим безопасность движения, чем обыкновенные возвышенные дороги. В отношении же быстроты торможения и мер, принятых для предотвращения схода с пути,—подвесные дороги стоят безусловно выше последних. В заключение, эксперты обращают внимание на преимущественную пригодность подвесных дорог системы Лангена для установления скоростного сообщения, и вполне присоединяются к мнению профессора Долецаля о целесообразности проведения этих дорог над существующими путями нормального типа ¹⁾.

Установки для перевозки грузов в заводской промышленности. Примером сооружения подвесной дороги в широком масштабе для грузового движения может служить сеть подвесных дорог на одной писчебумажной

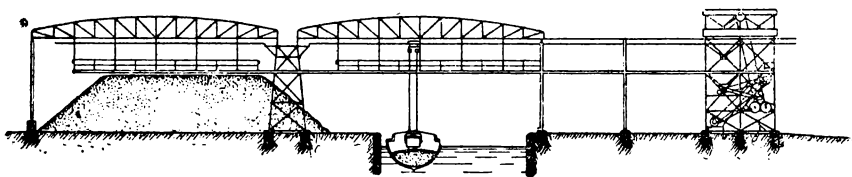
¹⁾ Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens. 1902, S. 246. Mitteilungen über die Schwebobahn Vohwinkel-Elberfeld-Barmen.—Centralblatt der Bauverwaltung. 1902, S. 413.

Известный знаток в деле постройки и эксплуатации дорог особых систем, профессор Долецаль, в статье «Der Schnellverkehr und die Schwebobahnen» (Organ f. d. F. des Eisenbahnwesens за 1901 г.), между прочим, говорит: «конструкция Лангена имеет так много преимуществ, что, по всей вероятности, она может рассчитывать не только на применение для городского движения, но, при известных условиях, и на применение в более широких размерах,—для скорых путей. Близкая к осуществлению мысль поставить новые, скорые пути сообщения в тесную связь с существующими магистралями и даже сооружать их над последними, чтобы использовать все выгоды такой связи, бесспорно может быть наилучшим образом выполнена подвесными дорогами Лангена».

По сведениям журнала «Fördertechnik und Frachtverkehr» за 1925 г. (Heft 4). в настоящее время проектируется постройка быстроходной подвесной дороги из Парижа в С.-Дени. Позднее имеется в виду ее продолжить и приспособить для дальнего следования до Брюсселя. Высота подвесного пути над уровнем земли—14 м. Намеченная скорость—80 км./ч. Для приведения вагонов в движение предполагается применить воздушные винтовые двигатели, приводимые в действие энергией тока.

фабрике в Голландии, для автоматического снабжения углем батареи из 10 котлов. Расположение путей показано на черт. 21 и 22.

• Прибывающие по каналу лихтера с углем подводятся под перекинутый через канал мост, по которому проложено два пути подвесной дороги. Вагонные коробки, емкостью в 0,75 кб. м., опускаются в суда на лебедках и там наполняются. Затем, они поднимаются, пропускаются чрез автоматически действующие весы со счетчиком, и направляются к эстакадному помосту, построенному вдоль площади для склада угля. По одному краю этого помоста движется катучая поперечная мостовая ферма. Одним концом она опирается на продольный помост помощью колесного ската, а другая



Черт. 21.

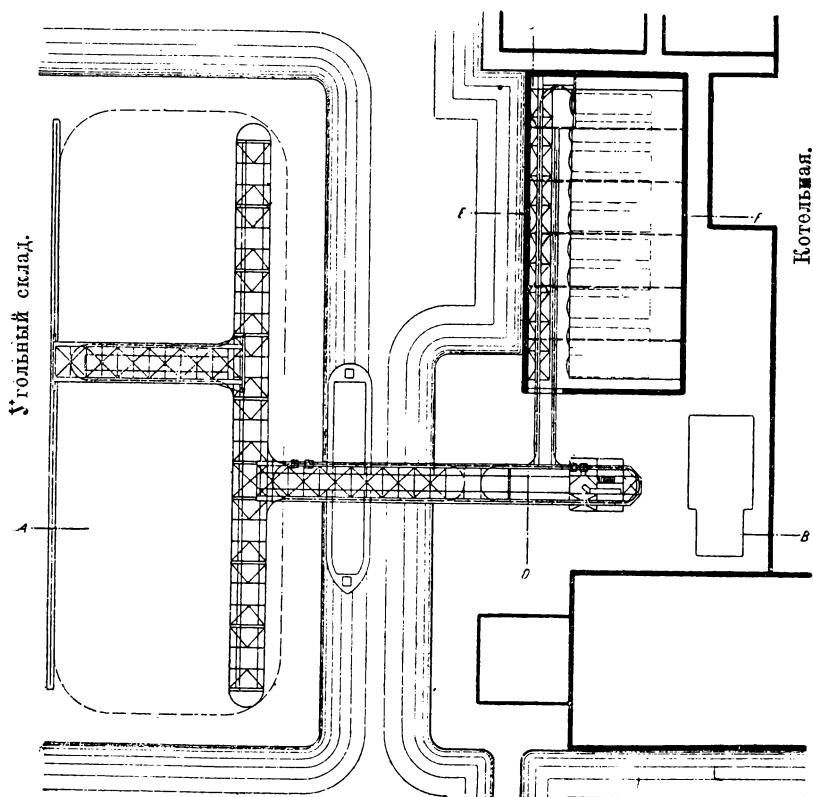
сторона ее, на территории склада, поддерживается движущейся на колесах качающейся опорой. На этом поперечном помосте также устроен подвесной путь, соединенный посредством упругих вращающихся стрелок с путями неподвижного продольного путепровода, так что вагонетки могут переходить с него беспрепятственно на поперечный помост. Здесь, при помощи ударного стержня, вагонеты опрокидываются. Затем, вследствие автоматического выключения цепи, вагоны, при обратном движении, останавливаются на мосту через канал.

Отправка угля к месту раздробления его или к котельному отделению организована следующим образом. Угольные коробки, будучи наполнены углем на складе, поднимаются на продольный помост или поперечную ферму и направляются к углеотбойной машине. Содержимое высыпается в верхнюю часть аппарата; раздробленный уголь поднимается затем посредством элеватора из нижней части раздробителя в угольный магазин, где и погружается вновь в те вагонеты, в которых он был доставлен к механизму для измельчения. Вагонетки эти вторично подвергаются взвешиванию и доставляются в котельную, где и выгружают содержимое в воронку одной из топочных камер, после чего возвращаются обратно в главный склад.

Производительность всей установки составляет, кругло, 30 тонн в час, при скорости вагонетов в 1,5 м/с. Мощность вагонных моторов—0,5 л. с. Мощность лебедки -3 л. с.

Указанная выше производительность в 300 тонн в сутки (при 10-часовой работе) является далеко не предельной. На одном из крупных свеклосахарных заводов в Бельгии электроподвесные дороги перевозят ежедневно до 900 тонн груза; общая длина путей этой установки свыше 1000 м.

Подвесные дороги с электрической тягой получили также большое распространение в Северной Америке, для перевозки руды, угля и, в особенности, для отвозки шлаков и всякого



Черт. 22.

рода отбросов с площади заводов, расположенных на берегу моря. В последнем случае вагоны-моторы перевозят шлаки до устроенных над поверхностью моря эстакад, где содержимое автоматически вываливается. Движением таких коробов управляет только один служащий. Чтобы иметь возможность остановить вагонетку с грузом в определенном пункте, контактный провод разделен на секции, каждая из которых обслуживается особым коммутатором; когда он открыт—ток прерывается, и вагонет останавливается.

Подвесные дороги получили в последнее время большое распространение на чугуноплавильных заводах в Германии: для доставки кокса, сырья и флюсов—с помощью электроподвесных дорог, и для перевозки жидкого чугуна и отливок—ручным способом. При устройстве такого рода сети подвесных путей на заводе Борзига в Тегеле применены все новейшие приспособления для равномерной загрузки домны и производства прочих операций ¹⁾.

На одном из прирейнских заводов пользуются жесткой висячей дорогой для перевозки болванок в краснокальном состоянии к прокатному стану и обратно. С этой целью устроен особый, двойной вагон-двигатель. Он состоит из платформы с воротом и из будки для кондуктора и рабочих, отделенной от платформы двумя железными стенками. Полезная нагрузка вагона—2000 кгр. Такой соединенный экипаж подвешен к двойному рельсовому пути посредством двух четырехколесных скатов (по два колеса с каждой стороны пути); имеет два тяговых двигателя и один—для лебедки. Движущие моторы обладают мощностью в 1,5 силы, а мотор лебедки—12,5 сил.

На некоторых крупных заводах подъемные краны подвесных дорог бывают гораздо больших размеров. Так, например, на железоделательном заводе Рама-Мурани в Будапеште устроена транспортная подвесная установка для перемещения металлических балок до 20 метров длины и весом до 5 тонн. Путевое строение такой дороги, из двух рядов рельсов, представляет решетчатую ферму, уложенную вдоль мостового крана в 90 м. длины. Вагон, подобно типу прирейнской дороги, состоит также из двух отдельных единиц. Тяговые моторы находятся внизу и приводят в движение вагонные колеса помощью двойной передачи. Вся установка эксплуатируется двигателями трехфазного тока. Вагонные моторы развивают мощность по 6 л. с., а двигатель подъемного механизма—35 лш. с.

Описанные выше типы передвижных механизмов с двумя отдельными моторами употребляются преимущественно на американских заводах. Разработка деталей конструкции крана-тележки в Германии привела к упрощенному типу—с одним электродвигателем, который служит, как для приведения в действие механизма ворота, так и для вращения осей тележки.

¹⁾ Fördertechnik und Frachtverkehr. 1925, Heft 20. Moderne Hängebahnanlagen in Giessereien.

Глава III.

Наземные канатные дороги.

Исторический обзор. Следуя хронологическому порядку, мы должны были бы теперь ознакомиться с возникновением и развитием атмосферных и пневматических дорог, но так как дороги эти в настоящее время почти совершенно оставлены, то мы не будем на них останавливаться и перейдем к следующей группе—к группе наземных канатных дорог ¹⁾.

Канатные плоскости, которыми пользовались первоначально только для эксплуатации наиболее крутых склонов обыкновенных железных дорог, нашли себе в скором времени разнообразное применение и для специальных целей: для доставки строительных материалов, руды, угля и т. п. В тех случаях, когда перевозка производилась сверху вниз, причем тангенциальной составляющей силы тяжести спускающегося груза было вполне достаточно для подъема порожних поездных единиц, такие наклонные плоскости получили название *тормозных скатов*. Если же передвижение предметов производилось по сравнительно ровной местности или же нужно было перемещать грузы вверх, то приходилось прибегать к сооружению *механических канатных плоскостей*. Старейшими примерами подобного рода устройств могут служить: углевозная дорога Моч—Чёнк в Пенсильвании, построенная еще в 1829 г. (вместо проволочного каната, который тогда

¹⁾ *Атмосферные дороги* основаны на движении, при помощи разреженного или сжатого воздуха, поршня, находящегося в особой, проложенной между рельсами, трубе и соединенного с вагоном посредством стержня. По этой системе было построено, в сороковых годах прошлого века, четыре небольшие дороги в Англии, Ирландии и во Франции. Движение поршня происходило с помощью разряжения воздуха.

Пневматические дороги отличаются от предшествующей системы тем, что вагон представляет вместе с тем и поршень воздушного насоса, т. е. сам движется в трубе соответствующих размеров. Принцип этот был применен в свое время в центральной Европе только для перевозки почты. За последние десятилетия сеть городских пневматических почтовых сообщений в Европе значительно возросла. К 1916 году общее протяжение линий было около 1000 км. (Org. f. d. F. d. E—W. 1916, S. 247).

еще не был известен, тяга производилась железной лентой), и 4 наклонных плоскости для перевозки судов по Эльбинг-Оберландскому каналу (Западная Пруссия). Сооружение это выстроено около 1860 г. Для вращения канатных барабанов пользуются гидравлическим двигателем.

После того, как дальнейшие опыты выяснили, что при употреблении достаточно сильных паровозов можно с выгодой и вполне безопасно эксплуатировать, силой сцепления ведущих колес локомотива, подъемы до 0,025 и выше, канатные плоскости на европейских дорогах, к половине XIX века, постепенно упраздняются. По ту сторону океана ими еще продолжали, однако, некоторое время пользоваться при проектировании горных дорог (линия Сан Паоло в Бразилии).

Если канатные подъемы являются нежелательным элементом в качестве промежуточных звеньев паровозных дорог, то, с технической точки зрения, они вполне уместны для проведения небольших самостоятельных линий на отдельные высоты. Первой дорогой подобного типа был построенный французскими инженерами Молино и Пронье, в 1862 г., паровой канатный подъем для соединения главной части города Лиона с расположенным на 80 м. выше кварталом Круа—Русс. Длина линии—489 м. Дорога имеет однообразный уклон—0,160. К конечному проволочному канату, пять раз обвивающему верхний барабан, с каждой стороны подвешиваются по три вагона, которые совершают рейсы одновременно, двигаясь, попеременно, вверх и вниз. На всем протяжении пути канат поддерживается небольшими катками. Особое внимание строителей было обращено на оборудование подвижного состава надежными тормозными приспособлениями, которые составляют наиболее ответственную и важную часть системы, ее главный, центростремительный нерв. Канатная дорога Круа—Русс была, таким образом, первой канатной наземной или *канатной железной дорогой* в прямом значении этого слова, т.-е. в смысле отдельного, самодовлеющего транспортного средства, не входящего в состав какого-либо другого пути сообщения.

Через восемь лет после открытия линии в Лионе, строится паровая дорога с канатной тягой в Офене. В отличие от линии Круа—Русс, паровая машина, за недостатком места на верхней станции, была установлена у подошвы наклонной плоскости. Она приводит в движение по взаимно-противоположным направлениям два барабана, так что канат, обхватывающий помещенный наверху шкив, одновременно навивается на один и сматывается с другого барабана. Благодаря этому, прикрепленные к канату вагоны совершают попеременное движение вверх и вниз, как и на линии Круа—Русс. Наибольший подъем линии—0,577. Диаметр каната—25 мм. Рельсы поддерживаются продольными брусками, укреплен-

ными на поперечинах. Обе упомянутые выше дороги—двухпутные, без раз'езда ¹⁾).

Устройство небольших паровых канатных дорог для нужд городских обывателей представляется вполне хозяйственным (в Лионе к 1894 г. находилось в эксплуатации уже три канатных под'ема). Пользование же механической канатной тягой для передвижения туристов, для сообщения с горными климатическими станциями и, вообще, там, где наплыв едущих сам по себе невелик и носит спорадический характер, неминуемо бы вызвало дефицит. Вопрос сводился, следовательно, к тому, чтобы отыскать какой-либо другой, более дешевый источник энергии, при котором проведение экскурсионных и курортных дорог могло бы оправдать себя с экономической стороны.

Эту задачу блестящим и, можно сказать, исчерпывающим образом решил известный строитель зубчатоколесных дорог и изобретатель локомотива с двумя движущимися механизмами швейцарский инженер Абт. Схема предложенной им системы заключается, в нескольких словах: а) в эксплуатации дороги *силой тяжести воды*, наливаемой в резервуар спускающегося вагона; б) в применении, для целей торможения, *зубчатой полосы*, и в) в сохранении попеременного движения (вверх и вниз), но при устройстве дороги в один путь с *автоматическим раз'ездом* по середине.

Система, предложенная Абтом, коренным образом изменила постановку дела сооружения канатных путей в изобилующих водотоками, ключами и водопадами горных районах, могущих доставлять балластную воду в требуемом количестве. Канатная дорога, по которой путешественники поднимаются на один из лесистых холмов, расположенных на северном берегу Бриенцского озера, вдоль причудливо низвергающихся каскадов Гисбаха, была первой линией *балластной системы* Швейцарского Союза (рис. 23). Начинаясь у самого берега озера, она направляется к верхней станции уклонами в 24%, 28% и 32%. Для сохранения однообразного уклона, в 28%, в средней части, потребовалось устройство путепровода из пяти пролетов арочной системы. Раз'езд приходится немного ниже первой опоры. Длина линии, трассированной по прямому направлению—346 м. Диаметр стального каната—23 мм. Постройка закончена в 1879 году.

С открытием линии Гисбах, история сооружения наземных канатных дорог вступает во второй фазис. Система водяного балласта нашла себе вскоре сторонников и в дру-

¹⁾ Описание и чертежи канатных дорог в Лионе и Офене, а также и устройство других, сооруженных во второй половине XIX столетия канатных железных дорог различных тракционных систем, помещены, между прочим, в брошюре инженера К. Коковцова «Канатные железные дороги» (С.-Петербург. 1885).

гих странах. Однако, Швейцария, с ее живописными озерами, своеобразной красотой своих горных долин, мощными ледниками, с удобствами вполне культурной и, в то же время, мирной, подчас патриархальной жизни, преимущественно привлекает к себе иностранных гостей. Немудрено, поэтому, что она объединила на территории своих кантонов и наибольшее число сооруженных в Европе горных дорог особых систем. Из числа открытых до 1893 года в семи европейских государствах 39 канатных подъемов, на долю Швейцарии приходится 16 линий, т.-е. около 40%.

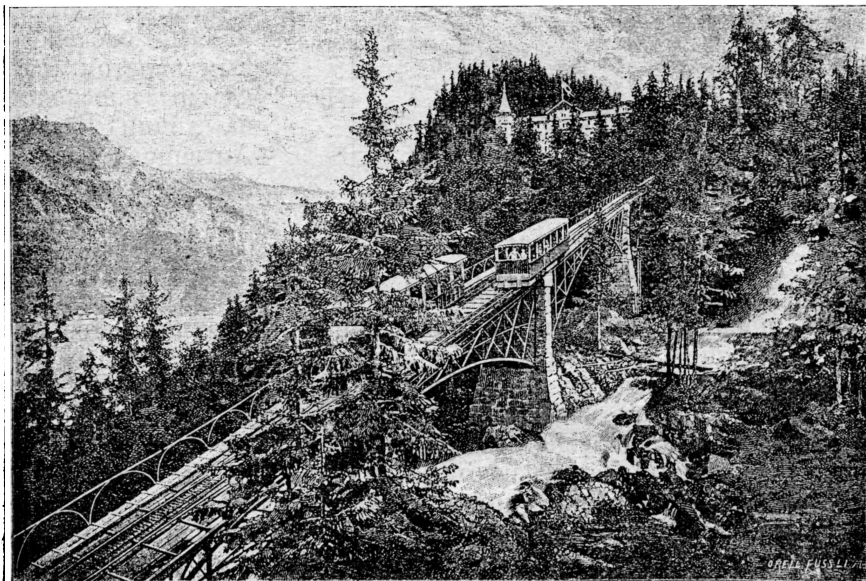
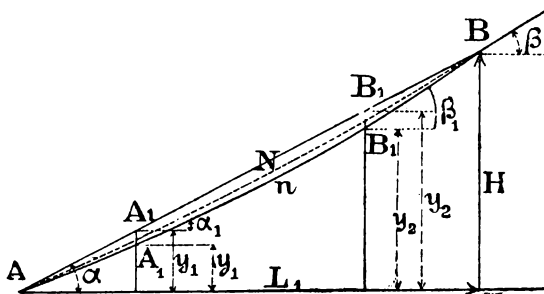


Рис. 23. Канатная железная дорога у Гисбаха.

Когда, в начале восьмидесятых годов XIX века, первая промышленная гидроэлектрическая установка Кригштеттен—Золотурн доказала возможность передачи работы на расстояние в несколько километров, новый принцип находит себе благодарную почву и при эксплуатации канатных дорог. История постройки их вступает, таким образом, в третий фазис. Возникают дороги на Бюргеншток, Монте-Сальваторе и Штансергорнская, главные шкивы которых приводятся в действие электродвигателями, получающими ток на расстоянии до 9 км. от генераторных динамо, расположенных у источников природной водяной силы. Параллельно с изменением способа тяги, замечается стремление и к упрощению конструкции (устройство средней пересадочной станции, введение рельсовых тормозов, при которых укладка кремальеры делается излишней).

Как упомянутые выше, так и другие наземные канатные дороги, которые сооружались в последующие годы в различных странах, применили у себя основную схему движения линии Круа—Русс, т. е. эксплуатируются по системе двойных поездов с помощью *конечного* телединамического каната, при попеременном движении вагонов вверх и вниз. Кроме упомянутого выше, повсеместно принятого, *нормального* типа, известны, однако, еще канатные дороги других тракционных систем. Между ними



Черт. 24.

заслуживают внимания: канатные дороги, эксплуатируемые бесконечным канатом (наклонные плоскости на линии Кёльп-Антверпен, системы Маусса; дорога на Софиенальпе, близ Вены, построенная по про-

екту Зигля); система Хандизиды (поезд поднимается паровозом посредством каната, навиваемого на прикрепленный к паровозной раме барабан), и система Агудио (тяга вагонов основана на началах, однородных с началами туэрного паровоза). Мы не считаем нужным останавливаться на этих типах: они давно уже отошли в область истории, хотя по замыслу представляют известный технический интерес.

Канатные наземные дороги служат почти исключительно для пассажирского сообщения. Из 20—25 канатных дорог Швейцарии известна только одна фабричная дорога, близ Нейшателя. В Америке устроены три канатных подъема в Пенсильвании, на линии Нью-Джерси, для перевозки вагонов с углем. В последнее время замечается применение канатной тяги в центральной Европе для перевозки грузов на дневной поверхности в рудниках и коях. На многих коях Германии перевозка бурого угля совершается теперь при посредстве бесконечного каната или цепи, приводимых в движение паровыми и электрическими двигателями. В последние годы так наз. „дороги с верхней цепью“ получили в округе Галле (Саксонская провинция) большое развитие, так как допускают перевозку угля при более крутых склонах и на большие расстояния ¹⁾.

¹⁾ Fördertechnik und Frachtverkehr. 1924. Heft 7.—Цепные дороги, получившие большое распространение в Америке, нашли себе в последнее время применение и в Западной Европе для перевозки разного рода грузов в прикрепляемых к цепи вагонетках. Лет пятнадцать тому назад устроена, между прочим, цепная дорога обществом Рязанско-Уральской дороги для пе-

В России имеются два канатных под'ема в Нижнем - Повгороде и один—в Киеве.

Конструктивные элементы. При ознакомлении с конструктивными особенностями подвесных дорог мы не входили в рассмотрение вопроса о способах расчета отдельных частей их, имея в виду, что проектирование линий подвесной системы основано на тех же законах строительной механики и правилах строительного искусства, которыми пользуются при расчетах путевого строения, искусственных сооружений и механических двигателей обыкновенных железных дорог. В отношении проектирования канатных железных дорог нормального типа, т.-е. с конечным канатом, дело обстоит несколько иначе, как это видно из нижеследующих теоретических соображений.

Предположим, что какие-либо точки A и B (черт. 24) соединены между собою канатной плоскостью, продольный профиль которой, AB , представляет какой-либо равномерный уклон.

Обозначим чрез:

P_m — вес поднимающегося вагона;

P_d — вес спускающегося вагона;

p — вес 1 пог. метра кабеля;

L — расстояние между точками A и B ;

H — общую высоту под'ема;

α — угол, образуемый прямой AB с горизонтом,

и положим, что когда вагоны находятся в каких-либо промежуточных точках A_1 и B_1 , для поддержания движения системы с известной скоростью V необходимо некоторое тяговое усилие F_0 . Величина F_0 будет, очевидно, слагаться: а) из некоторой постоянной величины

$$F_W = (P_m - P_d) \sin \alpha, \quad (1)$$

обнимающей собой разность направленных параллельно плоскости пути, так наз. касательных слагаемых силы тяжести восходящего и нисходящего вагонов и б) из некоторой переменной величины

$$F_k = p (y_2 - y_1), \quad (2)$$

которая представляет разность направленных также параллельно линии AB слагаемых веса восходящей и нисходящей частей тягового каната ¹⁾.

ревозки доставляемых сдлавом по Волге древесных стволов к расположенному в полуверсте складу. Паровая машина приводит в движение бесконечную цепь, поддерживаемую соединенными с нею двухколесными скатами, бегущими по узкоколейному пути. На скатах укреплены шипы и зажимы, которые захватывают вынимаемые из воды бревна и доставляют к месту назначения.

¹⁾ Для упрощения расчета мы пренебрегаем здесь величинами сопротивления движению вагонов и каната. Если же мы обозначим: коэффициент сопротивления движению вагонов по горизонтальному пути через φ и сопротивление движению кабеля через K , то наша формула, после введения в нее указанной поправки, примет окончательный вид:

$$F_W = (P_m - P_d) \sin \alpha + \varphi (P_m + P_d) \cos \alpha + K \quad (3)$$

Эта последняя величина, во время перемещения вагонов, непрерывно (в алгебраическом смысле) убывает: в первую половину пути она изменяется в пределах от $+pH$ до 0 , представляя собой известное сопротивление движению, во вторую половину обращается в отрицательную величину, т.-е. действует в сторону тягового усилия, и в момент остановки вагонов на конечных станциях равна $-pH$. Если движущая сила (F_0) по каким-либо причинам должна оставаться постоянной, то, вследствие непрерывного уменьшения F_k , получится некоторый, прогрессивно увеличивающийся, избыток ее, работу которого необходимо поглощать тормозами.

Такое изменение тяговой силы, непосредственно вытекающее из условия применения конечного каната, представляет существенное отличие канатных наземных дорог нормального типа от всех прочих железнодорожных сообщений, и, вместе с тем, служит исходной точкой для проектирования их продольного профиля.

Условия движения на нашей дороге сделаются тотчас же более благоприятными, если точки A и B будут соединены некоторой вогнутой кривой, скажем ANB . Часть тяговой силы в начале движения, $F_{W'}$, как это видно из формулы (1), вследствие уменьшения угла α , будет менее F_W (оно и понятно, так как нижний вагон будет двигаться по более пологому уклону). Затем, она будет постепенно возрастать, и в конце движения, когда мы будем уже располагать значительной полезной слагаемой веса каната, $F_{W'}$ становится более F_W .

Если бы нам удалось построить такую кривую, положим ANB , при которой сила F_W возрастала пропорционально уменьшению (в алгебраическом смысле) разности слагаемых веса восходящей и спускающейся частей каната, то такой профиль, как это не трудно себе представить, удовлетворил бы условию наивыгоднейшего пользования тяговой силой, так как эта кривая соответствовала бы *наименьшей величине движущей* силы между пунктами A и B . Если же сила F_0 за все время движения оставалась бы без перемены, то линия ANB являлась бы, вместе с тем, и самым выгодным профилем в смысле расходуемой на перемещение вагонов *механической работы*.

Из приведенных выше рассуждений следует, что каждому значению P_m и P_d соответствует свой наивыгоднейший профиль. Так как для определения диаметра каната, предельного уклона (в зависимости от условий торможения), а также и для других расчетов необходимо считаться с наибольшим тяговым усилием, то из всех продольных профилей, соответствующих наименьшей силе тяги, имеет практическое значение только тот профиль, который определится в предположении,

что вагон, идущий вверх, несет полный груз, а спускающийся вагон — порожний. Такой наивыгоднейший профиль носит название *теоретического профиля*.

Из уравнений, выражающих условия равновесия движущих сил и сопротивлений для теоретического профиля, — на составлении которых мы здесь не будем останавливаться, — видно, что построить математически точный теоретический профиль для канатной дороги можно только в том случае, если она эксплуатируется механическим двигателем. Для дорог же системы водяного балласта такой профиль можно определить только приблизительно.

В технической литературе известны три способа определения теоретического профиля: способ профессора Хауера (приурочен исключительно к тяге механическими средствами), способ швейцарского инженера Вотье и метод итальянского инженера Оппицци (оба последние способа дают решение задачи и при балластной системе и при механической тяге). Хауер и Оппицци пользуются для вывода своих формул вышшим анализом ¹⁾.

Способ Вотье, основанный на геометрических построениях, хотя и не вполне точен, но совершенно удовлетворяет практическим требованиям и дает в конечном результате довольно простые формулы для определения наибольшего веса балластной воды (Q) и наибольшего тягового усилия (D), а именно:

$$Q = \frac{(P - P_1) H + \varphi (P + P_1) L + KL}{H - \varphi L} \quad (4)$$

и

$$D = \frac{(P - P_1) H + \varphi (P + P_1) L + KL}{L} \quad (5)$$

Здесь: P — вес вагона с полным грузом;

P_1 — вес порожнего вагона;

Q — вес балластной воды, соотв. случаю движ. вагонов при самом неблагоприятном соотношении между нагрузками;

D — соответствующая такому же соотнош. сила механ. двигателя;

φ — коэфф. сопр. движ. ваг. по гор. пути;

H — общая высота под'ема;

¹⁾ Уравнения, выражающие условия равновесия между движущими силами и сопротивлениями при следовании вагонов по теоретическому профилю, а также выводы формул Хауера, Вотье и Оппицци приведены, между прочим, в книге инженера К. Коковцова: «Горные железные дороги Швейцарии особых систем. I. Канатные железные дороги». (С.-Петербург. 1898, стр. 26—50).

L — расстояние между точками A и B по продольному профилю;

K — сопротивление движению каната.

Пользуясь уравнениями (4) и (5), Вотье, путем известных преобразований, выводит формулу, выражающую зависимость между ординатами и абсциссами искомой кривой теоретического профиля,—общую для обоих случаев. Найденная формула представляет уравнение параболы.

Определенный одним из указанных выше способов наимыгоднейший тяговой профиль почти никогда не бывает возможно осуществить на деле. Обыкновенно приходится встречаться с таким разрезом склона горы, который более или менее отступает от теоретической кривой. В таком случае строители должны придерживаться, сообразуясь с техническими и топографическими условиями, некоторой средней, ломаной линии, но, во всяком случае, не упускать из виду, что при сооружении дороги по системе водяного балласта уклон верхней части линии должен быть круче, чем внизу. Если проектируемый профиль обладает, по сравнению с теоретическим, чрезмерной вогнутостью, так что вес, потребный для тяги груженого вагона, при подходе его к станции B превзойдет предельный вес (Q), который может быть допущен условиями безопасности движения, то уменьшить вес балластной воды можно только посредством употребления кабеля большего веса. К подобной мере следует, однако, прибегать крайне осмотрительно, так как с увеличением живой силы движущихся масс связана безопасность движения.

Если продольное сечение поверхности земли по оси линии будет, по сравнению с кривой наимыгоднейшего профиля, менее вогнутым, приближаясь к равномерному уклону, то является целесообразным применить так наз. уравнильный канат (он прикрепляется к задним стенкам вагонов и обходит особый шкив на нижней станции), при чем, как это легко себе представить, он должен быть *легче* ведущего. Другой способ парализовать вредное влияние крутого уклона в нижней части пути—это периодический выпуск балластной воды (линия Лаутербруннен-Грютч).

При выпуклом профиле, который встречается, вообще, редко в практике сооружения горных дорог, приходится также обратиться к вспомогательному канату, но он должен быть тогда *тяжелее* ведущего, или же применить способ тяги посредством особых вагонов-противовесов (дорога Лисн—С.-Жюст).

Все приведенные выше соображения относятся, как мы видели, к движению по балластной системе. При сооружении канатных подъемов с механической тягой, составители проекта должны стремиться к тому, чтобы выбранное направление по возможности менее отступало от теоретического профиля, и чтобы мощность тягового двигателя была согласована с наибольшим усилием, потребным для перемещения вагонов.

Прежде чем перейти к дальнейшему изложению, следует, еще отметить, что вес балластной воды (Q) обеспечивает только равномерное движение вагонов по теоретическому профилю, но он недостаточен, чтобы вывести вагоны, катки, шкивы и канат из состояния покоя и придать им, соответственно, поступательное и вращательное движение. Для этого необходимо к весу воды Q прибавить еще некоторое добавочное усилие. Это усилие может быть получено двояким путем: путем дополнительного веса воды (q) или путем увеличения уклона на верхнем участке.

Величина добавочного веса балластной воды (q) может быть определена по формуле:

$$q = \frac{(P + P_1 + Q + pL + G)v^2}{2Gl \sin \alpha - v^2} \quad (6)$$

Здесь: G — вес шкивов;

l — пространство, по прошествии которого система должна двигаться со скоростью v , в предположении, что на протяжении l путь представляет прямую линию, наклонную к горизонту под углом α .

Прочие величины сохраняют прежние обозначение.

Увеличение веса Q добавочным грузом представляет, однако, известные неудобства, так как слагаемая сила $q \sin \alpha$, после того, как вагон достигает скорости v , становится излишней, и работа ее должна быть поглощаема тормозами. Поэтому предпочтительнее обращаться к другому способу получения добавочной силы — к увеличению уклона верхней части линии. Вызываемое требованием увеличения уклона поднятие верхней конечной точки, h_1 выразится формулой:

$$h_1 = \frac{P + P_1 + Q + Lp + \Sigma G}{2g(P_1 + Q)} v^2 \quad (7)$$

При тяге вагонов механическим путем обыкновенно не пользуются способом увеличения подъема верхнего участка, так как дополнительное усилие может быть получено увеличением мощности двигателя.

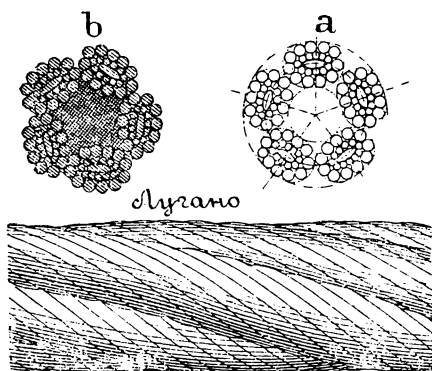
Когда, так или иначе, наивыгоднейший профиль будет установлен, приступают к определению поперечного сечения каната и к расчету прочих конструктивных элементов.

Из всех составных частей канатной железной дороги бесспорно наиболее жизненным элементом является тяговый или т. н. телединамический канат. Первые канатные плоскости (Лондон—Блэкуол, Экрлат—Хохдаль и др.) пользовались еще пеньковыми канатами. Но это продолжалось только до начала сороковых годов пр. стол., когда дороги перешли сна-

¹⁾ К. Коконцов. «Горные железные дороги Швейцарии особых систем», стр. 68—70.

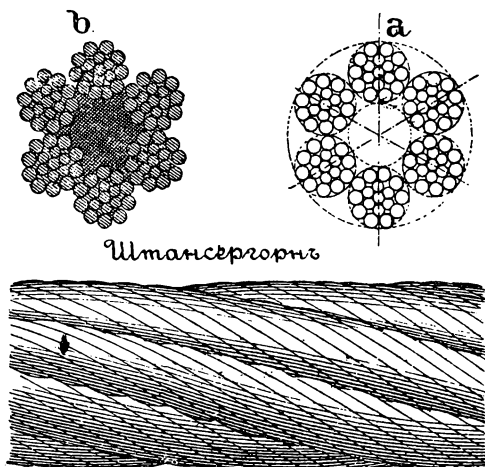
чала к железным, а потом и к стальным канатам, исключительно теперь применяемым.

Употребляемые на европейских наземных канатных дорогах кабели, в большинстве случаев, суть обыкновенные прядковые канаты, т.е. состоящие из отдельных прядок (стренг), которые, в числе 5 или 6, обвивают просмоленную пеньковую сердцевину. Каждая прядка заключает в себе одинаковое число (от 8 до 24) проволок. Канат и прядки скручиваются по взаимно противоположным направлениям, почему такого рода канаты называются свитыми крестообразно. Некоторые дороги предпочитают кабели, свитые из стренг по тому же направлению, как стренги свиты из проволок (патент Лэнга).



Черт. 25.

Кроме этих двух главных типов стренговых канатов, употребляются еще т. н. плоскопрядные канаты, где прядки имеют эллиптическое сечение. На чертежах 25, 26 и 27 изображены поперечные размеры канатов линий: Лугано, Штансергорн и Монтре-Глион (Швейцария¹), при чем для суждения о том, в какой мере достигается на практике геометрическая точность взаимного расположения проволок и прядок, изображены, рядом с математическим разрезом, и натуральные поперечные сечения кабелей²).

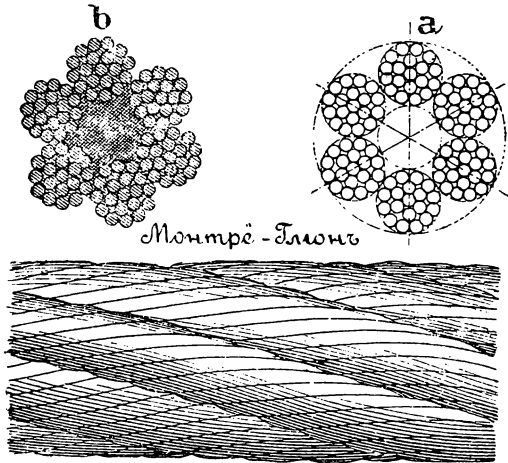


Черт. 26.

¹) Около 1909 года линия Монтре-Глион перестроена на зубчатоколесную дорогу.

²) Образцы проволоочных канатов некоторых дорог были в свое время любезно доставлены нам заводом Фельтен и Гильом в Мюльгейме.

С конца прошлого века, при сооружении канатных железных дорог предпочитают пользоваться для тяги вагонов изобретенными заводом Фельтен и Гильом сомкнутыми канатами. Они не имеют пеньковой жилы, асвиваются из проволок, которые для каждого ряда получают свой отдельный, фасонный профиль (чертеж 28, 29).



Черт. 27.

Сопротивление кабеля зависит от способа его изготовления и от сопротивления составляющих его проволок. Величина временного сопротивления канатов, употребля-

емых на швейцарских дорогах, варьирует, большей частью, от 130 до 160 кгр. на кв. мм.¹⁾

Расчетное натяжение каната (T) складывается из трех величин:

S — касательная составляющая веса вагона и каната и сопротивление их движению;

X — натяжение, вызываемое инерцией вагонов, катков, шкивов и каната;

U — потеря прочности материала вследствие деформации проволок при изгибе каната по окружности шкивов²⁾.

Величина T не должна, очевидно, превосходить нормальной силы упругости $R_1 \frac{\pi \delta^2}{4} n$, где R_1 — прочное сопротивление материала каната, n — число проволок, δ — диаметр проволоки.

$$T = S + X + U \leq R_1 \frac{\pi \delta^2}{4} n \quad (8)$$

¹⁾ Временным сопротивлением при растяжении (R') называется наибольшая величина силы упругости, отнесенная к единице площади, проявляющаяся в момент перед разрушением тела. Прочным сопротивлением при растяжении (R_1) называется отнесенная к единице площади сила упругости, допускаемая безопасно в практике. Коэффициент безопасности (m) есть отношение временного сопротивления к прочному:

$$m = \frac{R'}{R_1}$$

²⁾ Подробный расчет натяжения каната приведен, между прочим, в книге: «Горные железные дороги Швейцарии особых систем», I, стр. 84—93.

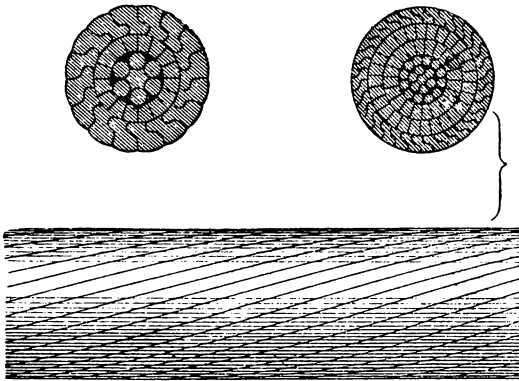
Задавшись величиной δ , находим:

$$n = \frac{4(S + X + U)}{R_1 \pi \delta^2} \quad (9)$$

Зная величину n , не трудно вычислить диаметр кабеля, пользуясь имперической формулой:

$$D = 1,5 \delta \sqrt{n} \quad (10)$$

Переходя к устройству рельсового пути, следует указать, что после изобретения автоматического раз'езда большая часть канатных дорог устраиваются из двух линий рельсов. На нескольких дорогах Швейцарии путь уложен в три рельса.



Черт. 28 и 29.

Преимущество этого типа: большая простота в устройстве раз'езда и возможность неразрывного соединения зубчатки Риггенбаха с вагонном посредством якорей. При укладке зубчатки Абта такое анкерное соединение осуществимо и при двухрельсовой системе устройства пути ¹⁾. Примененное на

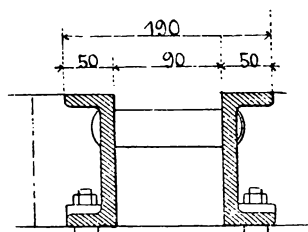
двух дорогах верхнее строение в четыре рельса, в виде вдвинутых друг в друга путей, допуская несколько меньшую ширину полотна против системы в три рельса, не представляют никаких выгод по сравнению с двухрельсовой системой, так как и там и тут канат должен пересекать рельсы.

Вес рельсов колеблется от 16 до 23 кг. на пог. м. Рельсовыми опорами служат деревянные (дубовые) или металлические поперечины. Нижнее строение дорог со слабыми уклонами не отличается от строения обыкновенных дорог системы сцепления. Там же, где предельные уклоны достигают до 40% и выше, рельсы поддерживаются или сплошным строением из каменной кладки или двумя-тремя рядами продольных каменных или бетонных стенок. Там, где рельсовый путь поддерживается каменным фундаментом, употребляют исключительно металлические шпалы в форме уголков, заделывая

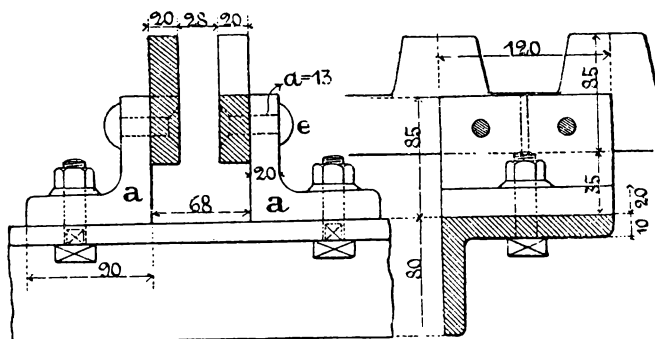
¹⁾ Рейки в начале раз'езда расходятся, образуя, каждая, наружную грань раз'ездного пути. Вагоны с одной стороны имеют колеса с двумя ребрами с другой—без реборд.

их одним ребром в кладку. Зубчатки употребляются двух систем: Риггенбаха (черт. 30) и Абта (черт. 31). Подробные данные о них сообщаются в главе о зубчатых дорогах.

Кроме обычных составных элементов рельсового пути и кремальеры, между линиями рельсов помещаются также металлические (чугунные) катки, диаметром от 15 до 30 см. Ролики эти поддерживают движущийся канат. На канатных дорогах, где уклоны доходят до 60%, смежные скаты могут отличаться между собою весьма значительно. Если угол в точке перелома достигает очень большой величины, то натянутый канат, подвергаясь во время движения вагонов сильным колебаниям, может соскочить с роликов и получить повреждения вследствие трения о боковые грани катков и поверхность полотна. Поэтому необходимо соединять между собою смежные склоны такой кривой, которая по возможности совпадала бы с кривой провисания каната под влиянием данного натяжения или была бы расположена выше, но ни в каком случае не ниже ее. В данном случае, в виду незначительной



Черт. 30.



Черт. 31.

стрелы провеса, можно принять вес кабеля равномерно распределенным по горизонтальной его проекции. Тогда кривая провисания будет парабола. Из выражения для дуги такой параболы между двумя смежными катками *A* и *B*, Волье выводит следующую формулу для выражения стрелы прогиба каната *f*, считая ее по вертикали:

$$f = \frac{p l^2}{8 T \cos \alpha} \quad (11)$$

где: p_1 —вес пог. м. горизонтальной проекции каната:

l —гориз. проекция линии AB ,

T —натяжение каната в верхней точке A , и

α —угол, образуемый верхним уклоном с горизонталью в этой точке.

Зная величину f , можно получить и другие элементы для построения кривой сопряжения двух уклонов и, в соответствии с этим, трассировать и продольный профиль.

Вагоны, обычного на канатных дорогах ступенчатого типа, вмещают от 24 до 50 человек. Поезда состоят обыкновенно из одного вагона.

На канатных дорогах, построенных до 1879 г., тяга вагонов происходила при помощи постоянных паровых машин или гидравлических двигателей. Поэтому быстрота хода умерялась тормозами, устроенными при движущих механизмах, и лишь для мгновенной остановки поезда, в случае несчастья, имелись особые вагонные приспособления (рельсовые клещевидные сжимы, охранные зажимные бруссы, тормозные салазки). В первый раз зубчатая полоса появляется на линии Лозанна—С.-Люс, но как одна из составных частей предохранительного тормоза, т.-е. тормоза, приспособленного для остановки поезда. Зубчатой штангой не только для остановки, но и для регулирования хода начали пользоваться только на Гисбахской линии. С того времени кремальера стала неотъемлемой принадлежностью швейцарских канатных дорог, при чем торможение основано на давлении заторможенных зубчатых колес на зубчатую штангу ¹⁾.

Согласно требованию Швейцарского правительства, вагоны должны быть оборудованы двойными тормозами: ручными и автоматическими. Ручной винтовой тормоз устраивается обыкновенно самозамыкающимся, т.-е. в свободном состоянии он всегда нажимает посредством особого тяжеловеса на тормозные шкивы, так что кондуктор обязан во время движения производить известное давление на рукоятку. Иногда этот тормоз бывает соединен с центробежным регулятором. Само-

¹⁾ Из уравнений, выражающих зависимость между силами, действующими при торможении вдоль зубца кремальеры сверху вниз и снизу вверх, мы получим зависимость стремящейся приподнять вагонное колесо силы (E)—от веса вагона, коэффициента трения, величины уклона и угла наклона боковой грани зубца кремальеры. Так как сила E стремится *поднять* колесо вдоль боковой грани зубца, то расчет тормозного снаряда сводится к тому, чтобы E , при самых неблагоприятных случаях, представляла всегда *отрицательную* величину. Вот, в общих чертах, схема устройства и действия зубчатого колесного торможения.

Формулами для расчета тормозов пользуются, после некоторых преобразований, и для вычисления предельного уклона α , при котором нет оснований опасаться поднятия заторможенного вагона при пробеге известного минимального пространства,—скажем 4—5 метров. (К. Коковцов. «Горн. жел. дор. Швейцария особых систем», I, стр. 94 и сл.).

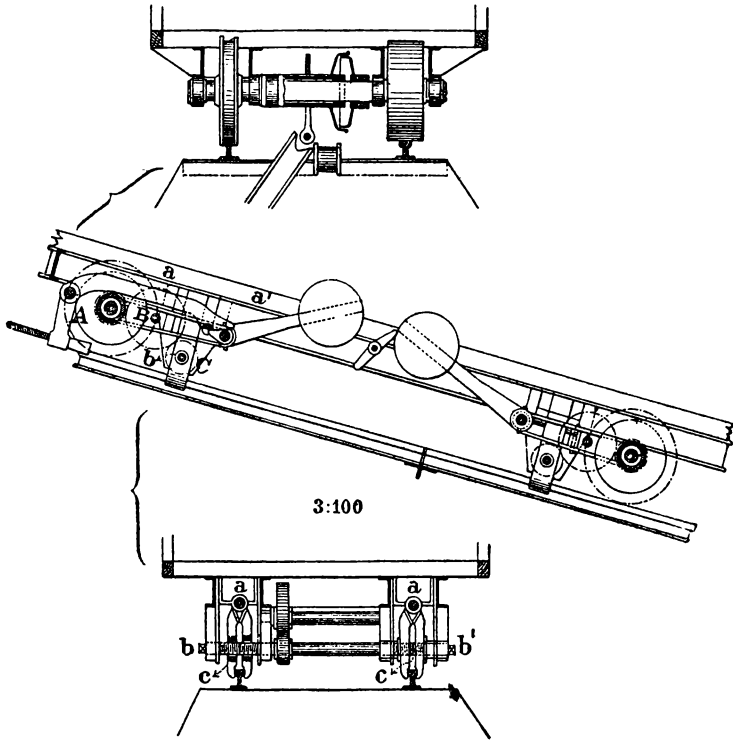
замыкающиеся тормоза имеют важное значение на линиях балластной системы, так как при тормозах обычного типа, недостаточно заторможенный, по недосмотру кондуктора, экипаж, мог бы, во время наполнения его бака водой, сдвинуться с места ¹⁾).

Тормозные приспособления, основанные на действии зубчатой штанги, как показал опыт, являются вполне удовлетворяющими предъявленным требованиям. Но система эта, при всех своих качествах, обладает в то же время некоторыми органическими недостатками. Прежде всего, тормозящее усилие не может быть приложено более, чем в двух точках; спасательные якоря могут быть устраиваемы только при употреблении зубчатки Абта ²⁾; при употреблении зубчатки Риггенбаха применение якорей влечет за собой устройство пути в три рельса; наконец, сила торможения не возрастает с увеличением скорости. Поэтому, когда возник проект постройки канатной дороги на Штансергорн, состоящей из трех отдельных участков, протяжением, каждый, свыше 1.000 м., при чем предельный подъем на двух верхних, согласно проекта, доходил до 620°/оо, то строители дороги, Бухер и Дуррер, после тщательного изучения вопроса, решили, с одобрения правительственной власти, заменить на новой линии обычную систему торможения (с зубчатой полосой) устройством „*рельсового тормоза*“. Специально спроектированный с этой целью путевой рельс, с грушевидной головкой, захватывается клещевидными сжимами (по четыре пары на вагон), при чем боковые грани рельсовой головки и соприкасающихся с ней частей сжимов скошены в такой мере, что когда во время движения тормоз открыт, вагон все-таки лишен возможности подняться на рельсы (черт. 32). При разрыве каната, находящийся в приподнятом состоянии рычаг aa' , под действием противовеса в 50 кгр., опускается и нажимает фрикционное колесо B на фрикционные колеса: A , насаженное на ведущую ось и C , находящееся на оси bb' , на которой помещаются тормозные клещи, вращающиеся на шарнирах a . В местах cc на оси сделаны винтовые нарезки в обратные стороны, как показано на чертеже. Нарезкам этим соответствуют нарезки внутренних поверхностей цилиндрических отверстий в сжимах, сквозь которые проходит ось. При нажатии колеса C , ось bb' придет в движение и заставит нажимать щеки тормозных аппаратов на боковые грани рельсовых головок тем сильнее, чем больше вес вагона и скорость движения.

¹⁾ Более подробные сведения о тормозных устройствах помещены в описании дорог.

²⁾ Якорь состоит из укрепленного на вагоне и проходящего между рейками зубчатки стержня: он оканчивается полушаровой головкой, которая подходит под рейки и, таким образом, препятствует поднятию вагона.

Рельсовые тормоза нашли себе применение, между прочим, на электрических канатных дорогах: Мендельской ¹⁾ в Тироле и на о. Капри ²⁾. На первой из названных дорог действие падающего груза ускоряется действием мощной пружины. Тормозной аппарат линии Капри (патент миланского



Черт. 32.

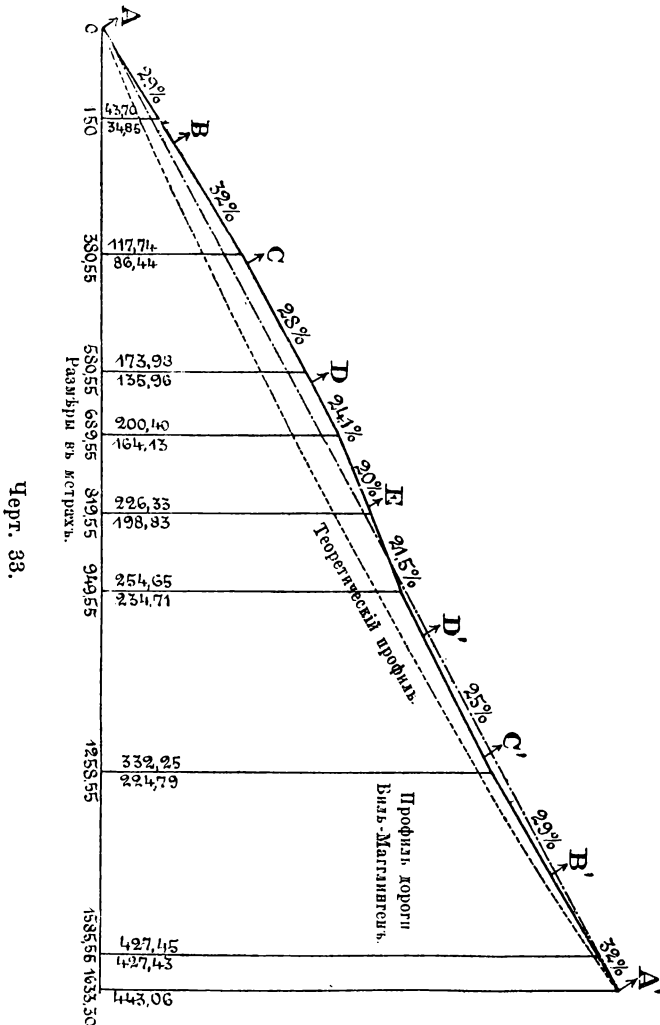
завода Черетти и Танфани) представляет довольно сложную систему коленчатых рычагов, при совокупном действии которых (в случае разрыва каната) головка рельса зажимается

¹⁾ Открытая в 1893 г. Мендельская дорога в Южном Тироле—одна из самых длинных и наиболее крутых линий в Европе. Длина ее—2370 м., предельный уклон 640‰. Верхняя половина представляет сплошной каменный массив. Два виадукта. Рельсы весом 26,8 кгр. на пог. м., т.-е. более мощного профиля, чем на линии Штансергорн. (Schw. Bauz. 1903 B. XLII).

²⁾ Канатная дорога на о. Капри имеет длину (в плане) 649 м. Высота под'ема—141 м. Наибольший уклон—380‰. Ширина колеи—1 м. Особенность этой линии состоит в своеобразном типе американского рельса с длинной шейкой, снабженной по середине перехватом (утолщением), в который упираются грани накладок. Верхняя, свободная часть шейки служит для обхвата ее тормозными колодками, нажимающими на нижние полки головки рельса. Дорога построена в 1909 г. Эксплуатируется двигателем постоянного тока. (A. Lévy-Lambert. Chemins de fer funiculaires. Transports aériens. 2 изд. 1910, стр. 104).

клещевидными сжимами сверху, и одновременно нажимается особыми боковыми захватами снизу ¹⁾).

Большая часть канатных дорог эксплуатируется в настоящее время энергией тока. В начале пользовались только двигателями постоянного тока с последовательным возбуждением, но затем стали входить постепенно в употребление



электромоторы и других типов. Так, на дорогах: Гранжер, в окрестностях Лурда (Франция), Нисен (на берегу Тунского

¹⁾ A. Lévy-Lambert. Chemins de fer funiculaires. Transports aériens. 2 édition. 1910, p. 210.

озера) и Виргль ¹⁾ (Тироль) главные шкивы вращаются машинами трехфазного тока. На линии на вершину Везувия применяются двигатели постоянного тока с ответвлением.

Скорость движения на дорогах с крутыми склонами не превышает, большей частью, 1,2 м/с. При уклонах не свыше 40° она доходит на некоторых линиях до 2 м., но обычно не превышает 1,5 м/с.

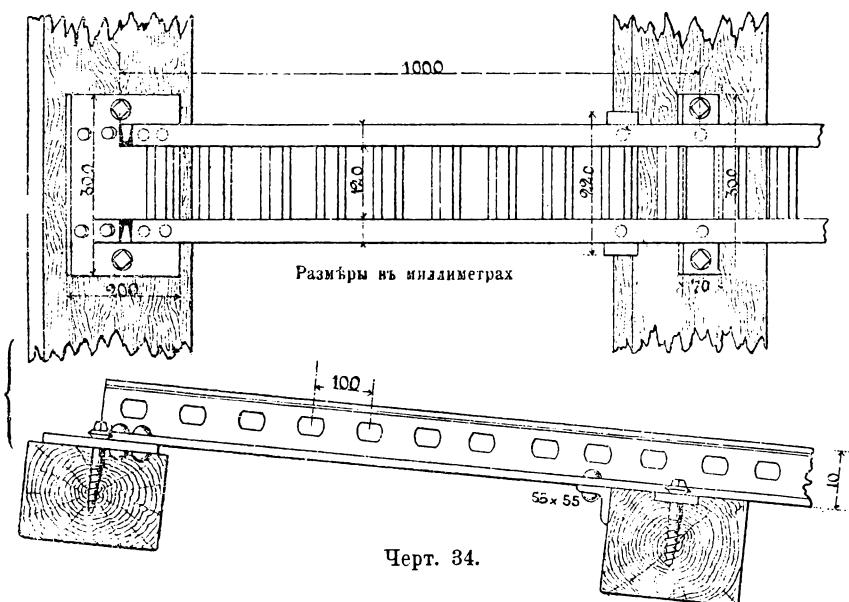
Описание дорог. Для ознакомления читателей с более подробным устройством дорог, насколько это является возможным согласно программе настоящего издания, мы остановимся на двух линиях: Монте—Салваторе и Биль—Магглинген. Первая дорога—одна из наиболее крутых и солидно построенных линий, эксплуатируемых электрической энергией; вторая—линия балластной системы, характерная по своему продольному профилю, представляющему часть выпуклую, частью вогнутую кривую, что потребовало особого способа вычисления наибольшего водяного груза и обусловило оборудование линии уравнительным канатом. Кроме того: на дороге Магглинген нашла себе применение зубчатая полоса Риггенбаха, а линия Сальваторе уложена зубчатой рейкой системы Абта.

Канатная дорога Биль—Магглинген. В западной части Бернского кантона, на берегу Бильского озера, представляющего одно из наиболее известных местонахождений доисторических свайных построек, приютился небольшой городок Биль. В 1887 году он был соединен канатной дорогой с расположенной на высоте около 400 м. деревней Магглинген—одним из тех многочисленных уголков, которые так привлекают к себе приезжающих в Швейцарию из других стран, для отдыха среди живописных горных ландшафтов, на лоне сельской тишины.

Начинаясь на берегу озера, дорога поднимается по прямой линии на высоту 443 м. Длина пути—1684 м. Ширина колеи—1 м. Дорога эксплуатируется силой тяжести водяного балласта, при чем вода, за недостатком в районе дороги ключей и горных потоков, накачивается в расположенное близ верхней станции водохранилище паровыми насосами. Продольный профиль (черт. 33) подходит здесь ближе к равномерному уклону, чем к теоретической кривой, вследствие чего было признано необходимым применить уравнительный (вспомогательный) канат, равный весом с тяговым. Очертание профиля представляет часть выпуклую, частью вогнутую кривую. При таком профиле наибольший вес балласта мо-

¹⁾ Линия Виргль, близ Боцена—наиболее крутая канатная железная дорога в Европе. Наибольший уклон ее—700°/оо. Длина (в плане)—280 м. Диаметр каната—30 мм. Вес рельсов—26,8 кил. на пог. м. Коэффициент безопасности—10. Скорость—1,5 м. в секунду. Линия построена по проекту Штруба.

жет оказаться не только в конечных точках, но и где-нибудь по середине. Для определения абсолютного наибольшего веса воды (Q) надлежало бы вычислить его для 13 отдельных пунктов местонахождения каждого вагона, пользуясь уравнениями, выражающими условия равновесия между движущими силами и сопротивлениями ¹⁾. Для практического решения



задачи достаточно, однако, разбить линию на 8 участков и определить наибольшую величину водяной нагрузки для 9 точек $A', B', C', \dots$. В A местонахождения вагона-двигателя. Подставив в выражение для Q соответственные численные величины, мы найдем, что максимум веса воды соответствует нахождению спускающегося экипажа в точке C' , и что он равен 6140 кгр. Для теоретического профиля достаточно, по расчету, 4600 кгр. Следовательно, при выбранном профиле потребный вес воды для одной поездки превышает теоретический расход на:

¹⁾ Решая эти уравнения относительно Q , мы получим:

$$Q = \frac{P \sin \alpha_1 - P_1 \sin \beta_1 + \varphi (P + P_1) + 2K}{\sin \beta_1 - \varphi} \quad . (12)$$

для следования вагона-двигателя от точки A' до раз'езда, и

$$Q = \frac{P \sin \beta_1 - P_1 \sin \alpha_1 + \varphi (P + P_1) + 2K}{\sin \alpha_1 - \varphi} \quad . (13)$$

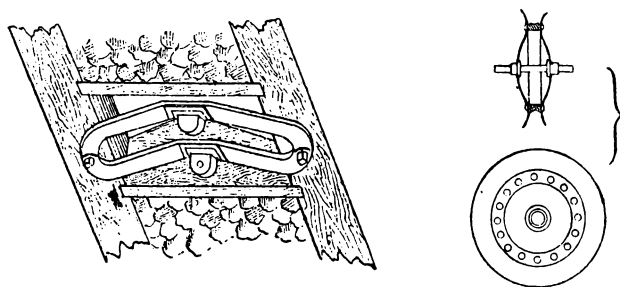
для движения спускающегося вагона по нижнему участку.

Здесь углы α_1 и β_1 —углы, соответствующие уклонам в точках A, B, C и т. д. нижний и верхней части линии.

Дор. особ. сист.

$$\left(\frac{6140 - 4600}{4600}\right) 100 = 33\%.$$

Найденная величина Q представляет, как мы знаем, тот вес балластной воды, при котором груженный вагон может *продолжать* начатое движение с известной скоростью. Следовательно, этот вес надо еще увеличить на добавочный вес (q) для приведения вагонов в движение с известной скоростью, скажем, 1,5 метра в секунду. Это добавочное



Черт. 35.

усилие достигнуто на нашей дороге, за недостатком в воде, путем увеличения уклона при подходе к верхней станции.

Полотно дороги состоит из 3 рядов рельсов, весом 20 кгр./м. Зубчатка Риггенбаха. Способ укрепления ее показан на черт. 34. Кабель движется посредине между наружным рельсом и кремальерой. Поддерживающие его катки и способ укрепления их на опорах показаны на черт. 35. Диаметр каната—32 мм. Наибольшее натяжение его:

$$T = S + X + U = 5780 + 750 + 480 = 7010 \text{ кгр. } ^1).$$

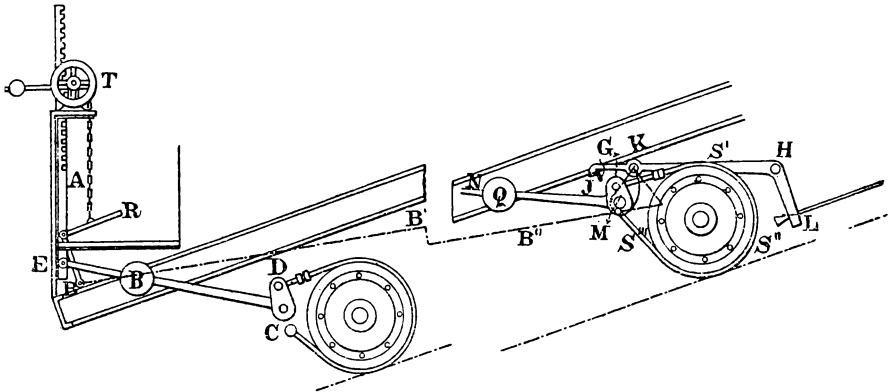
Канат обходит на верхней станции сначала направляющие шкивы, отклоняясь на 8° в горизонтальном и на 12° в вертикальном направлении, и затем обвивает более чем на половину главный шкив, диаметром в 3,465 м. Главный и направляющие шкивы нижней станции (для движения

¹⁾ Вычисленная нами самостоятельным путем величина T близко подходит к цифре, определенной профессором Тетмайером (6800 кгр.); разница объясняется, вероятно, принимаемым им меньшим значением для U . Валлот вычисляет наибольшее натяжение кабеля (T) в 5530 кгр. Столь большая разница между цифрами нашей и Валлота обусловлена тем, что Валлот вовсе не принимает в расчет добавочного напряжения каната при проходе по шкивам, принимает меньшее значение для X и, кроме того, при определении натяжения каната S исходит из торможения нисходящего поезда, тогда как для правильного исчисления S необходимо считаться с торможением *восходящего* поезда, т. е. торможение поезда, идущего вниз, может вызвать ослабления каната и сдвиг его с катков. (K. Walloth, Die Drahtseilbahnen der Schweiz. Wiesbaden. 1893, S. 6).

уравнительного каната) одинаковых размеров с соответственными шкивами верхней станции.

Тормозные устройства представляют два независимо друг от друга действующих тормоза: автоматический, с падающим грузом, и ручной. За неимением в нашем распоряжении чертежей автоматического тормоза Магглингенской дороги, мы помещаем здесь чертеж подобного же рода тормоза линии Бюргеншток, так как он отличается от тормоза линии Биль-Магглинген только тем, что вместо обыкновенных тормозных колодок здесь пользуются натяжением стальных полос.

Автоматический тормоз приспособлен к верхнему зубчатому колесу. Конструкция его следующая. Канат прикреплен



Черт. 36.

к коленчатому рычагу $JKHL$, вращающемуся около точки H (черт. 36). Конец этого рычага, при натянутом состоянии каната, лежит на уголке J и опирается в точке K полукруглым выступом о кулак GM , составляющий плечо коленчатого рычага GMN . Укрепленный в конце плеча MN груз Q поддерживается, благодаря этому, в известном определенном положении, при котором ленточный тормоз $S'S''S'''$ — свободен. Если натяжение каната прекратится, то плечо GM , не будучи более удерживаемо в точке K рычагом $JKHL$, под действием тяжеловеса Q освобождается, груз падает, и тормозные полосы плотно прижимаются к шкивам.

Самодействующий тормоз служит также для остановки вагона и в том случае, если машинист не успеет этого сделать путем включения реостата или посредством ручного тормоза. С этой целью спереди вагона имеется стержень, освобождающий падающий груз автоматического тормоза, как только вагон перейдет за черту установленного места остановки. Самодействующий тормоз может быть приведен в действие и от руки; для этой цели служит штанга $BB'B''$, освобо-

ждающая кулак *GM* посредством педали *R*, помещенной на тормозной площадке.

Ручной тормоз (у нижнего пояса) приводится в действие, если мы станем опускать винтовой стержень (шпиндель) ¹⁾, действующий на коленчатый рычаг *ECD*. Этот рычаг, под влиянием груза *B*, будет тогда вращаться около центра *C* и нажимать тормозные ленты (или тормозные колодки). Как только шпиндель будет предоставлен самому себе, груз *B* опустится, и тормоз начнет действовать. В виду этого, кондуктор, во время движения вагона, должен постоянно следить за тем, чтобы шпиндель был соответственно приподнят, для чего служит небольшое храповое колесо, задерживающее шпиндель в требуемом положении.

Рассмотренные выше два тормозных снаряда применяются почти на всех швейцарских дорогах с канатной тягой. При этом на трех линиях: Лугано, Рагац—Вартенштейн и Бюргеншток автоматическое торможение происходит посредством натяжения стальных полос, а на других дорогах—при помощи обыкновенных нажимных колодок. Ручные тормоза обыкновенно бывают оборудованы колодками, и только на упомянутых трех дорогах употребляют, вместо тормозных башмаков, обхватывающие шкивы стальные ленты.

Подвижной состав дороги Биль-Магглинген оборудован, кроме упомянутых двух тормозных приборов,—самодействующего и ручного,—еще особым, третьим прибором,—центробежным регулятором. Этот тормоз-регулятор устроен, в общих чертах, таким образом: движение вагона передается, с помощью зубчатых колес, на вертикальный стержень, помещающийся внутри плоского пустотелого цилиндра. Указанный стержень снабжен двумя горизонтальными цапфами, по которым свободно перемещаются два тяжеловеса, соединенные со стержнем спиральными пружинами. Как только скорость вагона превысит установленную норму, чугунные вкладыш-тяжеловесы, под действием центробежной силы, прижимаются к стенкам цилиндра и силой трения умеряют скорость.

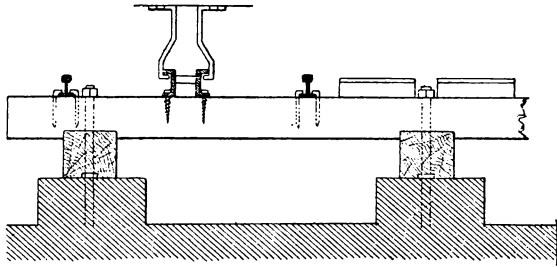
Снаряды эти отличаются тем, что действуют плавно, без толчков и, кроме того, извещают особым сигналом кондуктора об увеличении скорости, который, следовательно, имеет тогда возможность усилить работу центробежного регулятора ручным тормозом.

Центробежный регулятор типа дороги Биль-Магглинген, как показывает долголетний опыт, чрезвычайно практичен в том отношении, что он действует независимо от автоматического тормоза (с падающим грузом), который останавливает

¹⁾ Ручной тормоз линии Бюргеншток отличается от других дорог тем, что тормозные подушки заменены стальными лентами и, кроме того, в отличие от общепринятого типа, винтовой стержень (шпиндель) заменен зубчатой рейкой и шестерней.

вагон только в случае разрыва каната. Центробежный регулятор, примененный на линии Беатенберг, вызывая действие падающего тормоза (а следовательно, и остановку вагона)—значительно хуже, так как производит панику среди едущих.

В виду небольшой крутизны, на линии Магглинген не имеется якорей-сжимов, устройство которых допускает кремальера Риггенбаха при укладке 3 или 4 рельсов. Такого рода клешевидные якоря, препятствующие поднятию вагона, устроены только на уложенной кремальерой этого типа линии Люцерн-Гютч, с равномерным подъемом в 530‰ (черт. 37). Это, между прочим, единственная дорога в Швейцарии, которая, в виду исключительно благоприятных условий местности, построена в два пути.

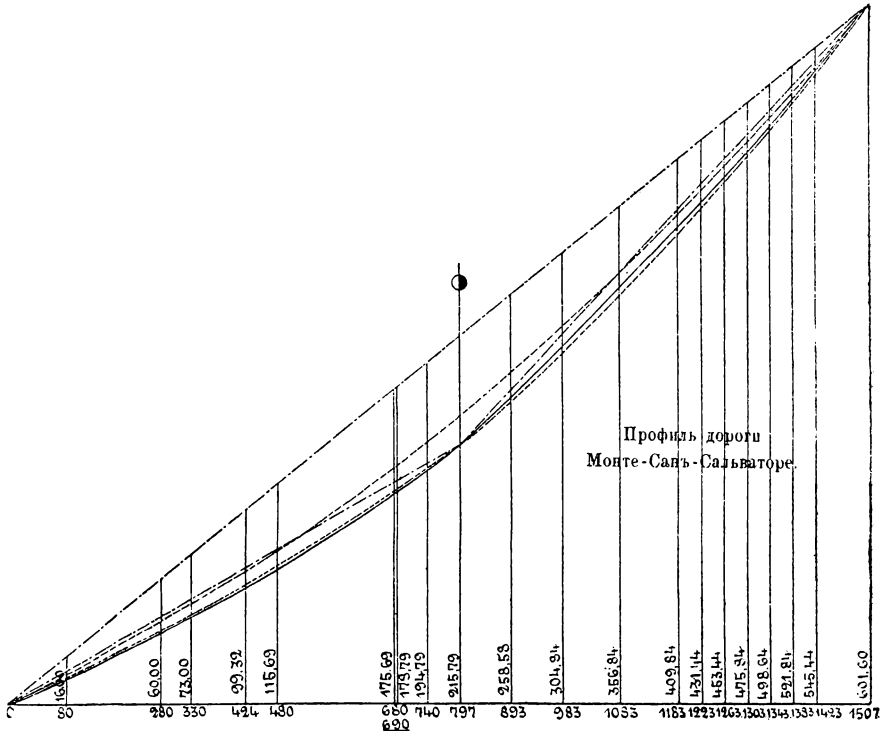


Черт. 37.

Канатная дорога на Монте—Сан—Сальваторе. На западном берегу озера Лугано, с его богатой растительностью и чисто итальянским колоритом прибрежных селений, к югу от городка того же имени, возвышается темным зеленеющим куполом гора Сан-Сальваторе, образующая последнее звено небольшой гряды, которая заполняет собою большую часть полуострова между главной частью озера и его западным рукавом. Местечко Лугано представляет удобный центр для поездок: на восток—в Белладжио, и на запад, вдоль ущелья горной речки Треззы, до Луино—ближайшего пункта на Лаго-Маджоре, с его знаменитыми Борромейскими островами, и потому усердно посещается приезжими. Для облегчения восхождения их на вершину горы, с которой открывается широкая перспектива на озеро, с его береговыми высотами, и на отдаленную цепь Валлиских альп, проведена в 1890 году канатная железная дорога.

Сальваторская дорога отличается по способу движения от всех прочих швейцарских дорог с канатной тягой. Вагоны, подвешенные к канату, перекинутому через шкив, укрепленный на верхней станции, проходят только *половину* пути, т.-е. до взаимной встречи, где происходит пересадка пассажиров, после чего каждый вагон возвращается к своему начальному пункту. Оба участка обслуживаются одним общим двигателем, и, следовательно, наша дорога представляет *одну* канатную плоскость, чем существенно отличается от линии Штансергорн, где каждая перемена вагонов связана с переходом на другую, отдельную канатную дорогу.

Начинаясь около паровой пристани, линия поднимается до пересадочного пункта уклоном в $170^{\circ}/_{00}$, постепенно переходящим в $380^{\circ}/_{00}$ (черт. 38). Достигнув промежуточной станции Пацалла, путешественники выходят на ступенчатую платформу и, сделав по ней несколько шагов, пересекаются в другой вагон. Оставив Пацаллу, линия огибает выступ



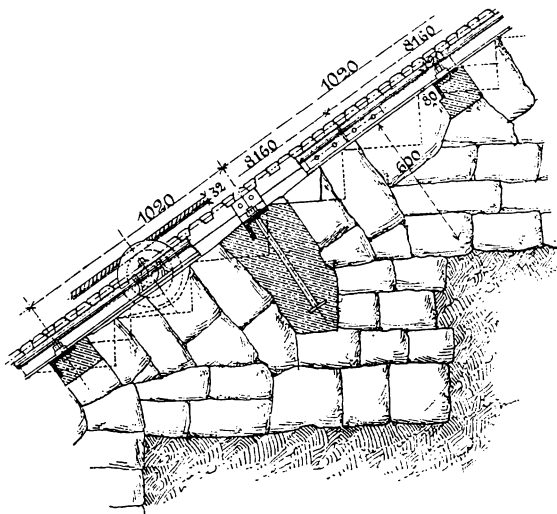
Черт. 38.

скалы оборотной кривой и, следуя по краю расщелины, достигает верхней площадки, постепенно переходя от уклона в $380^{\circ}/_{00}$ к предельному подъему в $600^{\circ}/_{00}$.

Общая высота подъема—601,6 м., при длине 1.633 м. Выполненный профиль представляет более вогнутую линию, чем теоретическая кривая (пунктир). Разница ординат на горизонтальном расстоянии 680—980 м. доходит до 20—27 м.; последняя цифра относится к промежуточной станции. Прямая равномерного уклона возвышается на этом протяжении над существующим профилем на 85—100 м. Согласование профиля с требованиями теории потребовало бы возведения больших, дорого стоящих искусственных сооружений.

Нижнее строение дороги представляет каменный массив в 1,5 м. ширины и не менее 0,6 м. высоты. Он помещен на скалистом грунте, обделанном в виде ступеней, и покрыт слоем щебня, залитым цементным раствором. В местах укладки шпал, которыми служат неравнобокие уголки, устроены поперечные бетонные стенки, в которые и заделаны узкие ребра уголков. Широкие

полки их поддерживают рельсы, весом 17,5 кгр. на пог. м., которые соединены с ними винтами и нажимными пластинками. Длина рельсов—8,16 м.; стыки—на весу. Для противодействия продольным перемещениям верхнего строения, нажимные пластинки на верхней шпале каждого звена отогнуты вверх и соединены друг с дру-



Черт. 39.

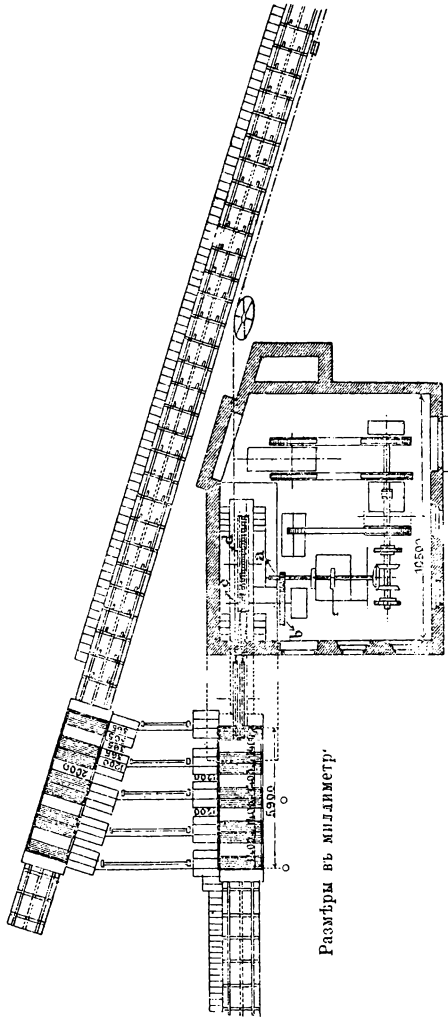
гом пропущенным сквозь шейку рельса болтом. Через каждые 4 шпалы пропущены в кладку анкерные болты и залиты бетоном (черт. 39).

Зубчатая полоса Абта состоит из двух реек в 85 мм. высоты и 20 мм. толщины, расположенных в расстоянии 28 мм. друг от друга. При шаге зацепления в 120 мм. и длине рейки в 2,02 м., на одно звено падает 17 зубцов. Стыки в перевязку.

Гидроэлектрическая станция, питающая дорогу током, расположена в местечке Мароджиа, по ту сторону озера, в расстоянии около 7 км. Вододействующими приемниками служат две турбины Жирара, работающие при высоте напора в 254 м. Одна из турбин приводит в действие динамо-генератор постоянного тока в 1.800V и 22A для канатной дороги. Ток канализуется затем от генераторной станции к машинному зданию на ст. Пацалла, где помещается электродвигатель, который, в свою очередь, передает получаемую от генератора работу, посредством системы валов, рабочему валу. Схема расположения передаточных валов, а также и план промежуточной станции Пацалла усматриваются из чертежа 40. Вращение главного вала передается поперечному валу, который посредством зубчатой передачи (колеса *a* и *b*), действует на третий (крайний) параллельно расположенный вал с наса-

женной на него шестерней *c*, вращающей главный канатный барабан, диаметром в 4 м. ¹⁾.

Для изменения скорости и для полной остановки вагонов на поперечном вале (см. черт. 40) имеется, кроме обыкновенного ручного тормоза, еще автоматический тормоз, который приводится в действие центробежным регулятором, а в известных случаях и поднимающимся вагоном. Устройство этого тормоза следующее (черт. 41). Тормозные подушки *bb* прижимаются к шкиву посредством рычага *c* и противовеса *d*; последний поддерживается в известном положении коленчатым рычагом *efg* и штангой *h*, входящей закругленным концом в соответствующее углубление тяги *fg*.



Черт. 40.

Если скорость превысит установленную норму, вкладыши центробежного регулятора *e* выступают за поверхность цилиндра, ударяют в коленчатый рычаг *klm*, и груз *Q* падает. То же самое случится, когда вагон пройдет дальше определенного для его остановки места и, ударя в соответствующий рычаг, потянет цепь *f*.

В 1895 году владельцы дороги, фирма Бухер и Дуррер, видоизменили указанную выше электрическую установку в том смысле, что вместо машин постоянного тока были устроены

¹⁾ E. Strub. Drahtseilbahn auf den Monte S. Salvatore bei Lugano. „Schw Bauz. 1892, B. XIX, S. 35.

генераторы и приемники переменного трехфазного (вращающегося) тока, так как машины трехфазного тока служат также и для эксплуатации открытой в 1902 году уличной дороги в Лугано—первой электрической дороги в Европе с применением двигателей переменного тока.

Кабель свит крестообразно из 6 прядей, по 17 проволок в каждой, обвивающих пеньковую сердцевину. Временное сопротивление его—148 кгр. на кв. мм.

Наибольшее натяжение каната получается, когда восходящий вагон, отойдя, примерно, на 100 м. от места пересадки, вступит на подъем в 600‰. Величина S для этого случая определится по формуле:

$$S = P \sin \alpha_1 + ph_m + \varphi P + K \quad (14)$$

где: h_m —вертикальная проекция восходящей части каната, α_1 —угол, образуемый линией с горизонтом в месте нахождения вагона, а прочие величины сохраняют прежнее обозначение. Подставив в последнее выражение соответствующие величины получим:

$$S = 7000 \times 0,45 + 3,41 \times 340 + 7000 \times 0,003 + 150 = 4480$$

прибавляя:

$$X = 30,$$

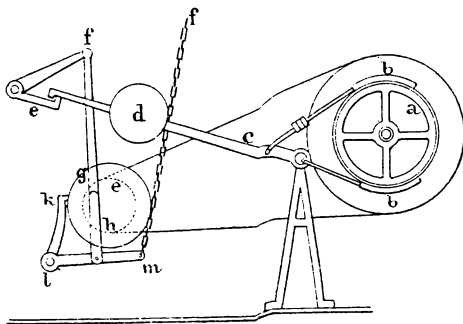
$U = 550$, получим наибольшее натяжение каната:

$$T = S + X + U = 5060 \text{ кгр.}$$

Так как средняя величина разрывного усилия кабеля равна 53,75 тонны, то коэффициент безопасности,

$$m = \frac{53750}{5060} = 10,6.$$

Поддерживаемый на нижнем участке через каждые 12—14 м. катками, кабель доходит до средней станции и вступает в машинное здание, где он делает, крест на крест, два оборота по двум шкивам, диаметром в 4 и 3 м., вступая сначала на большой шкив, а затем на малый. Длина дуги оборота каната, принимая в расчет и верхний шкив, дает величину $4,75\pi$,—совершенно достаточную для получения необходимого трения на случай остановки вагона. Покинув шкивы, линия кабеля



Черт. 41.

выходит за пределы машинной станции и, пройдя наклонный шкив в 2 м. в начале пути второго участка и целый ряд направляющих роликов, доходит до верхней площадки. Здесь канат вступает на отклоняющий вертикальный шкив, а оттуда на главный шкив 3,5 м. в поперечнике. Одинаковых размеров второй направляющий шкив, помещенный с противоположной стороны, подводит к главному шкиву другую часть каната, которая работает на верхнем участке:

Вагоны обычного типа вмещают по 32 пассажира. Вагоны снабжены тормозами: ручным и самодействующим, общепринятого типа. Вагонные тормоза имеют значение только при разрыве каната. Вообще же ими не пользуются.

Дорога на Монте-Сальваторе, по строго обдуманному плану постройки и прекрасному его выполнению, занимает в ряду горных канатных дорог одно из первых мест.

Глава IV

Висячие канатные дороги.

Исторический обзор. Пользование канатом для целей передвижения было известно еще в глубокой древности. Оно как бы предуказано самой природой: аборигены первобытных лесов Южной Америки переправлялись через небольшие ручьи с помощью свешивающихся лиан. Висячие мосты в Китае строились еще до начала христианской эры. Наиболее ранние письменные сообщения о постройке воздушных канатных дорог на континенте Европы, по исследованиям венского профессора Ржиха, относятся к началу XV века. По некоторым сведениям, не подтверждаемым, впрочем, ссылкой на документы, висячими дорогами уже несколько столетий пользуются в Швейцарии для спуска с гор в долины древесных массивов.

Висячие дороги, устроенные с помощью канатов из пеньки, не могли, конечно, иметь серьезного значения в культурно-экономической жизни народов. И только с изобретением в 1834 году, в Германии, проволочного каната, техники получили возможность заняться усовершенствованием этой своеобразной системы транспорта, которая, в известных случаях, могла оказаться не только полезной, но и незаменимой.

Первое применение канатов из проволоки в качестве перевозочных приспособлений мы встречаем в пятидесятых годах прошлого века в Швейцарии и Савойе, для доставки, силой тяжести, с лесистых склонов гор к расположенным внизу лесопильным заводам, древесных стволов. Эти самодействующие дороги или *лесоспуски* состояли из двух натянутых путевых кабелей, толщиной 25—30 мм., поддерживаемых через каждые 70—80 м. опорными столбами. Один канат служил для поднятия порожних, а другой для спуска груженных тележек-подвесок. Каждая подвеска состояла из двух двухколесных скатов с укрепленными на них скобами, при чем скобы эти связаны между собою внизу продольными железными планками. Такого рода вагонеты соединялись между собою тяговым, более тонким канатом, который обвивал несколько раз помещенный на верхней станции вертикальный вал. Идущий вниз груженный вагон поднимал, посредством тягового каната, порожнюю тележку. Эта последняя, по нагрузке ее лесным материалом

на верхней станции, двигалась затем обратно вниз, поднимая порожнюю и т. д. Для регулирования скорости такого попеременного движения, к упомянутому вертикальному шкиву, было приделано два мельничных крыла, которые, по мере увеличения скорости, постепенно раскрывались и замедляли быстроту хода. Таким образом, на самодействующих висячих дорогах, по примеру бремсбергов (тормозных скатов) в горно-заводском деле и канатных железных дорог нормального типа, в ходу находились только два вагона.

Самодействующие лесные дороги работали, однако, успешно только при протяжении не свыше 1500 м. Когда же, по местным условиям, требовалось организовать воздушную доставку материалов на большие расстояния,—прибегали к устройству нескольких смежных самодействующих канатных дорог. По такому типу выстроена в 1870 году висячая дорога в Шлирентале (кантон Унтервальден) длиною в 2100 м. Линия разделена на два перегона с расположенной между ними промежуточной станцией. Путь состоял из *одного* каната, по которому, одновременно, перемещаются с одной стороны груженные, с другой—порожние вагоны. Дойдя до средней станции, вагоны останавливаются, грузы переносятся рабочими с одной линии на другую, и затем вагоны-тележки продолжают путь до конечных станций.

Вскоре после постройки указанных выше лесоспусков в горах, было приступлено в Центральной Европе к сооружению висячих путей и на равнинах, при чем вагонеты с грузом передвигались уже механической тягой. Пионером в деле сооружения таких путей считается Дюккер. После целого ряда предварительных опытов, и постройки, в 1871 г., небольшой самодействующей дороги в Гарце, по типу подвесных дорог, при чем путевым рельсом служил круглый железный стержень, Дюккер выработал проект механической проволочноканатной дороги близ Меца, для перевозки земли и строительных материалов при сооружении крепости. Длина этой дороги, открытой в 1872 году,—200 м. Путь состоял из двух рядов статических (поддерживающих) канатов. Тяговой (динамический) канат приводился в действие паровой машиной в 10 сил. Провозная способность линии—250 тонн в сутки.

Почти одновременно с постройкой первых висячих дорог в Германии появляются воздушные дороги в Англии, но основанные на принципе применения только *одного* кабеля, который служит одновременно и путевым и тяговым канатом, перемещающаяся вместе с грузом. Изобретателем этой системы был Годжсон. Вследствие отсутствия особого динамического каната, дороги Годжсона обходились, разумеется, дешевле линий с двумя канатами (один,—расположенный в два ряда,—неподвижный, путевой; другой—движущийся, ведущий), и потому возникновение новой конструкции было встречено сна-

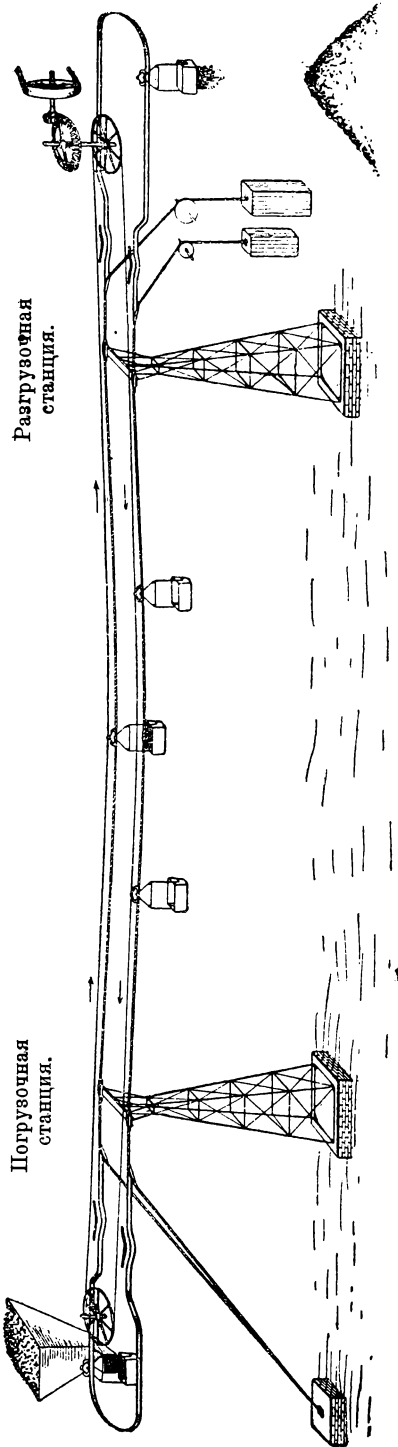
чала сочувственно ¹⁾. К концу 1872 года насчитывалось в Западной Европе уже до 30 линий Годжсона (т. н. английская система). Но если, с одной стороны, одноканатные дороги стоили сравнительно недорого, то пропускная способность их была чрезвычайно мала. Так, на одной линии в Лейчестершире, длиною в 4800 м., перевозили ежедневно не более 100 тонн. Дальнейшая практика эксплуатации одноканатных дорог показала, что помимо слабой производительности, английская система представляет еще и другие теневые стороны (необходимость большего сближения между опорами, продолжительная остановка движения при порче каната, более сложная техническая эксплуатация и т. п.). Затем, при сооружении дороги на значительное расстояние, она требует устройства большего числа отдельных тяговых участков, чем двухканатная система. По этим соображениям английская система на Западе почти оставлена ²⁾. Но будучи впоследствии значительно усовершенствована инженером Ро, система эта с успехом применяется в колониях, для перевозки сельскохозяйственных продуктов, и при обработке плантаций, например, на о. Цейлоне ³⁾.

Выясненная путем опыта возможность и выгодность пользования канатной тягой для перевозки известного рода грузов, в связи с расцветом торговли и промышленности в Германии после Франко-Прусской войны, побудили немецких техников обратить серьезное внимание на новый перевозочный аппарат, который мог со временем оказать немаловажные услуги при снабжении материалами крупных, раскинутых на большом пространстве заводских предприятий. Инженер-механик А. Блейхерт один из первых оценил важное экономическое значение этой системы. Тщательно изучив конструкции висячих дорог, сооруженных до того времени в Англии и на континенте, он предпринял ряд изменений в деталях и предложил более совершенные сцепные приборы и тормозные приспособления. Все эти улучшения нашли себе применение на открытой в 1873 г. линии в Тейтштентале, близ Галле, предназначенной для до-

¹⁾ Во французской технической литературе система висячих дорог из двух путевых и одного тягового каната называется трехканатной системой (Système tricable). Термин этот, однако, нельзя назвать удачным, ибо отличительная особенность рассматриваемого типа заключается не в числе канатов, а в применении *двойного* рода канатов: поддерживающего и движущего. Число же канатов бывает (на линиях пассажирского типа) различно. Так: на двух дорогах имеется по 6 путевых кабелей, на двух дорогах по 2 путевых и по 2 ведущих каната и т. д. В виду сказанного, наименование канатных дорог, устраиваемых по образцу линии в Меде, дорогами *двухканатной* системы, как это принято в Германии, является более правильным.

²⁾ Насколько известно, в 1888 году построена висячая дорога системы Годжсона в Сент-Имиэ (Франция). Длина—2700 м. Высота подъема—270 м. Дорога самодействующая.

³⁾ P. Stephan. Die Luftseilbahnen. Ihre Konstruktion und Verwendung. Berlin. 1907, S. 65.



ставки угля из копей на парафиновый завод. Линия эта прямолинейна; длина—750 м.; эксплуатируется локобилем в 4 л. с. Производительность — 150 тонн в день.

Введенные Блейхертом изменения оказались вполне целесообразными. Линия в Тейтшентале послужила, в главных чертах, образцом для всех последующих дорог рассматриваемого типа, с тем лишь отличием, что железные стержни, по которым двигались вагонеты, были в начале 80-х годов заменены стальными проволочными канатами.

Система такого рода висячих дорог получила в Германии наименование германской системы или системы Блейхерта. Справедливость требует, однако, заметить, что совершенно аналогичная система воздушных линий была патентована в 1870 году венскому инженеру Обаху¹⁾. Не имея возможности входить здесь в рассмотрение преимущественных прав того или другого изобретателя, мы полагаем бы более осторожным именовать эту систему германской, тем более, что по имеющимся данным, в патенте Обаха предусмотрены путевые канаты, тогда как на линии Тейтшен-

Черт. 42.

¹⁾ Die Grosse Siebenbürger Drahtseilbahn. System Th. Obach. Oesterreichische Zeitschrift für Berg und Hüttenwesen, XXXII. Jahrg. 1884.

таль, открытой в 1873 г., путь состоял, по примеру первых дорог Дюккера, из круглых металлических стержней.

Сущность германской двухканатной системы висячих дорог сводится к следующему. Два металлических путевых, параллельно натянутых кабеля поддерживаются через известные промежутки деревянными опорами (две стойки с раскосами и перекладиной) или металлическими (решетчатыми) конструкциями. Путевые канаты закреплены с одного конца наглухо посредством заделанных в кладку якорей, а с другой заканчиваются тяжеловесами, благодаря которым сохраняют постоянное натяжение при всяких комбинациях нагрузки и изменениях температуры (черт. 42). Один канат служит для передвижения груженых, другой—для обратного хода порожних вагонетов. При подходе к станциям, канаты примыкают, как то показано на чертеже, к подвесным рельсам, огибающим станции в виде растянутых дуг, так что вся система образует сомкнутое кольцо. Бесконечный ведущий канат движется постоянно в *одном* направлении, огибая горизонтальные шкивы на конечных остановочных пунктах. Один из этих шкивов приводится в движение механической силой. Подвешенные к двухколесным скатам грузовые вагонеты—самой разнообразной формы, смотря по роду груза. Посредством особого рода сцепных приспособлений—с вращающимся эксцентриком или муфтой—вагоны могут быть в любом месте прикрепляемы к ведущему канату и раз'единяемы с ним. Для замедления движения и остановки, а также для воспрепятствования, в случае разрыва движущего каната, движению порожних вагонов вниз, устроен особый комбинированный тормоз ¹⁾).

Висячие грузовые дороги указанного типа, эксплуатируемые паровыми, а впоследствии и электрическими двигателями, получили вскоре широкое применение в самых разнообразных областях промышленной, строительной и заводской техники, и распространились далеко за пределами своей родины. За последние 20—25 лет висячие дороги устраиваются и для пассажирского сообщения. По имеющимся статистическим данным, к концу 1910 г. было проведено в Старом и Новом свете свыше 1.800 отдельных линий, протяжением свыше 2000 км. При этом заслуживает внимание тот факт, что, в отличие от подвесной системы, основной тип двухканатной дороги Дюккера, с введением в него, в свое время, инженерами Блейхертом, Обахом и другими техниками, конструктивных изменений в деталях сцепки и подвески, оказался настолько устойчивым, что висячие дороги, в своей основе,—если не считать особых устройств, предложенных в 70-х годах истек-

¹⁾ Описание сцепных приборов и тормозов и чертежи их помещены в «Handbuch für spezielle Eisenbahn-Technik, B. V, Cap. VI. Leipzig. 1878, S. 564 u. folg.

шего столетия Мёлле и Миллером, и не представляющих ничего нового по существу,—остались до последнего времени без изменения ¹⁾).

Висячие дороги распадаются, по роду перевозки, подобно подвесным путям: на линии, предназначенные для транспорта грузов, и на дороги пассажирского типа.

Первая группа, в свою очередь, обнимает собою две категории: а) воздушные дороги, устраиваемые в ровной местности; они эксплуатируются механическими средствами. К этой группе мы отнесем и распространившиеся в последнее время в Америке, и в Европе, канатные установки с подъемными кранами. Такого рода устройства, получившие название *блонденов*, употребляются при сооружении мостов, вододержательных плотин и при производстве других однородных работ; для погрузки морских судов, и, наконец, на судостроительных элингах, и б) дороги, устраиваемые в горных районах. Эти линии работают, большей частью, силой тяжести спускающегося груза. Но, в зависимости от характера продольного профиля и условий эксплуатации, на них иногда устанавливаются, частично, и механическая тяга. Дороги эти преимущественно служат для перевозки леса.

Вторая группа объединяет собою дороги для пассажирского движения. Воздушные линии для перевозки людей устраивались много лет тому назад в Америке и Австралии, для переправы через реки. После несчастного случая, бывшего в Новой Зеландии: лопнувший тяговой канат с такой силой обвил путевые канаты, что корзину нельзя было сдвинуть с места, и путешественников пришлось по одиночке спускать в лодку с пятнадцатиметровой высоты,—постройка таких дорог, судя по данным технических органов, приостановилась. В начале текущего столетия идея использовать висячую систему для перевозки пассажиров возникла вновь, но уже почти исключительно для перевозки туристов. Главная задача составителей проектов таких дорог сводится к достижению возможно полной гарантии безопасности путем соответствующего усиления и изменения конструкции пути, подвесных приспособо-

¹⁾ Идея Мёлле, которую он осуществил при эксплуатации небольшой линии, построенной им в Миндене, заключается в том, что если на самодействующей висячей дороге, с общим однообразным уклоном в одном направлении, встречается частичный подъем, то при помощи особого станционного снаряда (основанного на разности диаметров канатных шкивов) спускающийся по скату груженный вагонет может поднимать груженный вагонет, идущий сзади, по смежному частичному подъему, даже и в том случае, если длина этого подъема была бы и значительно короче длины ската.

«Канатный переезд» Миллера представляет собою колейную висячую дорогу для продольного транзитного соединения двух звеньев обыкновенного рельсового пути, если такое соединение, в виду естественной преграды, не может быть выполнено укладкой железной дороги нормального типа. Идея эта не нашла себе применения на практике.

блений и тягового аппарата. Строители воздушных линий, по-видимому, однако, не пришли еще в этом отношении к какому-либо определенному соглашению. Так, на линии С.-Себастьян (Испания) и на воздушной дороге, переброшенной чрез Ниагару (ниже водопада), путь состоит, по проекту инженера Торреса, из шести параллельно натянутых канатов; на „Веттергорнском под'еме“ имеется два статических и два динамических каната, расположенных один над другим; дорога Лана-Вигильох (Тироль) построена с применением пяти кабелей: путевого, тягового, балластного, направляющего и тормозного (система Черетти и Танфани); одни дороги пользуются ходовыми тележками о двух осях, другие предпочитают четырехколесные скаты и т. д.

Затем, нельзя упускать из виду, что конструкция висячей дороги зависит в значительной мере от того, сооружается ли дорога, в силу местных условий, в один, много—в два пролета, в 500—600 м. (линии Веттергорн, Рио-Жанейро) или, поднимаясь по склону хребта, не пересеченного поперечными долинами, поддерживается целым рядом опор, в расстоянии 100—200 м. (дороги Лана-Вигильох, Колерерская).

Наконец, и самая целесообразность устройства воздушных дорог для туристов является еще под некоторым сомнением¹⁾: число пассажиров на линии Веттергорн (по крайней мере в первые годы эксплуатации) не превышало 6.000 человек в год; новых висячих дорог пассажирского типа в Швейцарии, насколько известно, не строится.

По всем этим соображениям мы ограничимся в отношении линий пассажирского типа описанием Веттергорнской дороги, которая считается образцовой, и приведем, попутно, важнейшие технические данные по другим существующим на материке Европы линиям для перевозки туристов. Главное же наше внимание обратим на ознакомление с конструкцией дорог для перемещения грузов.

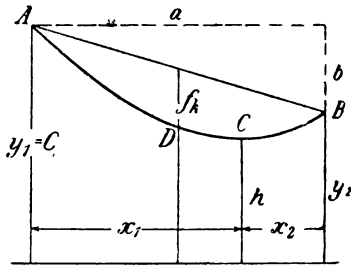
В России было построено, во второй половине XIX века, три воздушных дороги: а) канатная дорога от станции Покровской Нижегородской ж. д. в лесные дачи Харитова, длиной около 9 верст. Система Годжсона. К концу 70-х годов прекратила существование; б) той же системы дорога на ситцепечатной фабрике Гибнер и К^о в Москве. Работала еще в 80-х годах, и в) канатная дорога в Москве, построенная по системе Мосолова; служила для вывоза нечистот. К концу 70-х годов прекратила существование.

¹⁾ Существенные нападки на устройство воздушных сообщений для перевозки туристов, а также и мнение защитников этого способа пассажирского сообщения мы находим в статье: «Schwebbahnen oder feste Seilbahnen» и ответных заметках на нее, напечатанных в Zeitschrift des Oester. Arch. u. Ing. Vereines. 1912, №№ 23, 39, 40 и 45.

Впоследствии, с развитием на юге каменноугольной промышленности и металлургического производства, висячие дороги современного типа начали постепенно распространяться и у нас. Они существуют теперь на многих коях и заводах Донецкого бассейна. Воздушными дорогами для перевозки промышленных грузов пользуются также и на Урале.

Конструктивные элементы. При расчетах, связанных с проектированием висячих дорог, приходится, — также как и при расчетах канатных наземных дорог, — считаться с такими условиями статического равновесия, которые не встречаются при постройке железных дорог нормального типа. Между тем, условия эти влияют на характер проявляющихся в отдельных частях сооружения внутренних сил, а, следовательно, и на конструкцию этих частей. Поэтому мы считаем полезным ознакомить читателя, хотя бы в общих чертах, с ходом расчетов для определения диаметров путевого и движущего канатов — этих важнейших элементов устройства воздушных канатных линий.

Для определения диаметра статического каната, закрепленного между двумя точками и поддерживаемого промежуточ-



Черт. 43.

нужно задаться размерами и типом каната. Обстоятельство это, однако, не имеет существенного значения, так как при большом количестве существующих на континенте Европы висячих дорог, работающих при самых разнообразных условиях, наметить предварительно подходящий поперечный размер и тип кабеля, по известным заданиям, — не встречает особых затруднений.

Предположим, что размеры и вес путевого каната известны, и что наша дорога состоит только из одного пролета, при чем опорные стойки, как это обыкновенно бывает, расположены на различной высоте (черт. 43).

Кривая провисания каната между двумя опорными столбами примет форму цепной линии. Пользуясь основным уравнением этой линии ¹⁾ и известными законами аналитической

ными опорами, необходимо знать: 1) натяжение каната, вызываемое его собственным весом и весом проходящих по нем груженных вагонов, и 2) влияние на прочность кабеля колебаний его от действия силы ветра.

Из сказанного ясно, что вычисление поперечных размеров путевого каната является задачей не вполне определенной:

¹⁾ Цепной линией называется в аналитической геометрии кривая, которую принимает тяжелая, абсолютно гибкая нерастяжимая нить, если, будучи

механики, можно прийти к выводу, что в любой точке цепной линии (n) натяжение каната (S) равно произведению из его единичного веса (q) на число единиц длины, выраженное ординатой этой точки (y), т.-е.

$$S = qy \quad (15)$$

Выражение это показывает, что в любой точке цепной линии натяжение каната равно *весу подвешенного в этой точке каната длиной y* .

Согласно этому закону, величина наибольшей силы натяжения, в точке A :

$$S_{max} = qy_1 \quad (16)$$

Здесь S выражено в килограммах; q — вес 1 пог. м. кабеля — в кгр. и y_1 — в метрах.

Величина эта не должна превышать натяжения, допускаемого прочным сопротивлением материала растяжению. Если R^1 — временное сопротивление каната разрыву, в килогр. на кв. сант. ω — площадь сечения проволок, в кв. сант., и m — коэффициент безопасности, то

$$S_{max} \leq \frac{1}{m} R^1 \omega \leq qy_1 \quad (17)$$

Введя в это выражение вес 1 куб. сант. содержащейся в канате проволоки (μ) и коэффициент кручения (ξ), показывающий во сколько раз употребляемая для изготовления каната проволока длиннее каната, получим $q = 100 \mu \omega \xi$. Откуда

$$S_{max} = q \frac{1}{m} \cdot \frac{R^1}{100 \mu \xi} \leq qy_1 \quad (18)$$

и

$$y_1 = \frac{R^1}{100 m \mu \xi} \quad (19)$$

Выражение (19) дает нам ту предельную длину укрепленного одним концом свободно висящего каната, при которой натяжение каната в точке привеса не превзойдет допускаемого прочным сопротивлением натяжения материала. Назовем эту длину λ .

закреплена в двух точках, расстояние между которыми менее длины нити, она провисает под действием собственного веса, при чем вес этот пропорционален длине нити.

Уравнение цепной линии:

$$y = \frac{c}{2} \left(e^{\frac{x}{c}} + e^{-\frac{x}{c}} \right),$$

где: e — основание Неперовых логарифмов = 2,718...

c — параметр.

За ось Y принята ось симметрии, а ось X совпадает с направлением директрисы кривой.

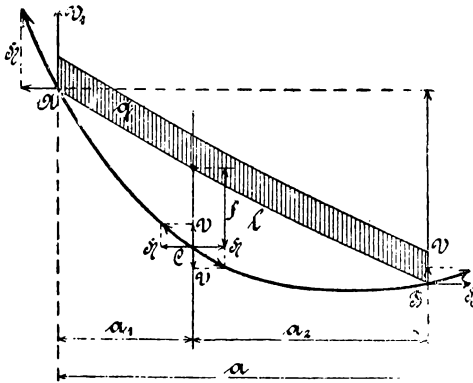
Следовательно:

$$\lambda = \frac{R^1}{100 \, m \mu \xi} \quad (20)$$

Определив по формуле (20) качественное число λ и приравняв его y_1 мы можем вычислить из выражения (18) и наибольшую допустимую нормальную силу упругости у верхней опоры S_{max} .

Определив y_1 , мы найдем $y_2 = y_1 - b$, вычислим параметр c и вычертим по точкам искомую кривую, пользуясь известными правилами высшего анализа.

Памеченный выше способ вычисления натяжения каната



Черт. 44.

и построения кривой очень сложен. В большинстве случаев представляется вполне возможным довольствоваться упрощенным способом расчета.

Так как натяжение каната в точках крепления весьма значительно, то длина каната L , даже при больших пролетах, несущественно отличается от прямой AB (черт. 44).

Поэтому, без большой погрешности, общий вес каната Q можно приравнять ql , где l — расстояние между точками A и B по прямому направлению. Исходя из этого основного положения, можно, при помощи соответствующих расчетов, — на которых мы не будем останавливаться, — получить выражение для стрелы прогиба кривой по середине f_0 :

$$f_0 = \frac{1}{8} \frac{la}{\lambda - b} \quad (21)$$

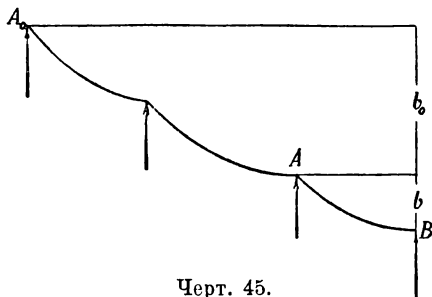
Если разность высот опорных стоек по сравнению с величинами a и λ не велика, то ею можно пренебречь; затем, можно принять $a = l$, и тогда предыдущая формула примет вид:

$$f_0 = \frac{1}{8} \frac{a^2}{\lambda} \quad (22)$$

Строка (22) представляет уравнение параболы. Она может быть построена по точкам или по известному графическому способу.

1) Stephan. Die Luftseilbahnen, S. 28.

Замена, для определения действующих на статический канат внешних сил, цепной линии — параболой при вычислении стрелы прогиба, не имеет, как показал инженер Стефан, особого значения. При расстоянии $a = 1.000$ м. и наиболее часто встречающейся в практике величине $\lambda = y_1 = 1.900$ м., а также и для случаев возвышения одной опоры над другой на 100, 200 и т. д. до 700 м. оказалось, что ошибка от принятия стрелы параболы в нижней точке кривой, вместо стрелы провисания цепной линии, для указанных выше разностей высот, колеблется от $+1,4\%$ до $-2,4\%$ от длины f_0 , определенной для параболы.



Черт. 45.

Если требуется вычислить поперечное сечение кабеля AB , натянутого между несколькими опорами, таким образом, что нижняя опорная точка B расположена ниже наивысшей точки закрепления A_0 (черт. 45) не на величину b , а на высоту $b + b_0$, то и для определения средней стрелы прогиба f_0 по формуле (21) нужно вычитать в знаменателе не b , а $b + b_0$.

При помощи соответствующих расчетов получается для определения общего провиса под действием каната и проходящего по нем груза P величина:

$$f = f_0 \left(1 + \frac{2P}{ql} \right) \quad (23).$$

Если по неподвижному канату передвигается одновременно n груженных вагонеток, следующих одна за другой через равные промежутки c , при чем вес каждого груженого вагона — P_0 , то общая стрела провиса определится из предыдущей формулы, если подставить в нее вместо P выражение

$$P = P_0 \left(n - \frac{c}{2a} (n^2 - 1) \right)^1$$

Вычисление линии провиса f , помимо определения вида параболы, имеет также значение при проведении воздушных дорог в населенных местностях, где по пути линии могут встретиться высокие здания, трубы и т. п.

Добавочное напряжение, вызываемое силой ветра, в самом невыгодном случае (когда ветер направлен перпендикулярно к линии пути) определится из выражения:

$$q_w = \frac{2}{3} p D \quad (24)$$

¹⁾ Stephan. Die Drahtseilbahnen. Berlin. 1914, S. 186.

где: p —давление ветра в кгр. на 1 кв. м.

D —диаметр каната, в метрах

q_w —давление ветра, в кгр. на 1 пог. метр. длины каната.

Давление ветра, в виду его сравнительной незначительности, обыкновенно не принимается в расчет.

Кроме двух рассмотренных нами методов расчета поперечного сечения статического каната, существует еще один способ, решающий довольно просто и с достаточной для практических целей точностью поставленную задачу. Способ этот принадлежит французскому инженеру Гро (M. Gros). Мы не имеем возможности на нем останавливаться и ограничимся указанием источников ¹⁾.

Диаметр бесконечного ведущего каната определяется из наибольшего его натяжения, которое, очевидно, получится на той стороне, по которой движутся груженные вагоны.

Если мы обозначим чрез:

l —гориз. проекцию линии, в метр.

h —разность горизонтов конечных пунктов, в метр.

Q —часовую производительность установки, в тонн.

P —вес порожнего вагонета, в кгр.

P —вес нагрузки, в кгр.

n —число находящихся на одной стороне вагонов.

S_1 —натяжение каната на стороне движущихся груженных вагонов, вверху.

S —натяжение каната на стороне движущихся груженных вагонов, внизу.

q —вес каната в кгр. на пог. м.

v —скорость движения в м/с.

φ —коэффициент сопротивления движения вагонетов (в зависимости от смазки, от $1/70$ до $1/100$),

то формула для выражения натяжения каната (наибольшего) у верхней станции напишется в виде:

$$S_1 = S + Q \cdot l \left[\frac{q}{Q} + \frac{0,278}{v} \left(1 + \frac{P}{P} \right) \right] \left(\frac{h}{l} \pm \varphi \right)^2 \quad (25).$$

Знак $+$ перед φ относится к движению вверх, знак — относится к движению вниз.

В этой формуле не принято в расчет потери силы упругости каната при огибании шкивов и сопротивление каната движению. Но в виду их незначительности (по произведенным нами подсчетам они составляют, приблизительно, 400—450 кгр.),

¹⁾ Annales des Ponts et Chaussées. Novembre. 1887. — A. Lévy-Lambert Chemins de fer funiculaires. Transports aériens. Paris. Deuxième édition. 1910, p. 468.

²⁾ P. Stephan. Die Drahtseilbahnen, S. 188.

формула эта, в особенности при проектировании небольших промышленных дорог, дает вполне удовлетворительные результаты.

Определив S_1 , не трудно вычислить и площадь сечения кабеля ω из выражения:

$$\omega = \frac{S_1 m}{R^1},$$

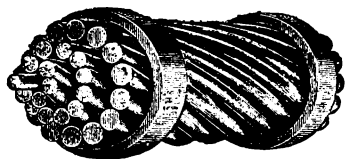
а затем и выбрать соответствующий тип.

Приведенными выше формулами мы ограничим наш краткий экскурс в область теории, и перейдем к ознакомлению с важнейшими конструктивными элементами висячих дорог для перевозки грузов.

В висячих дорогах мы различаем следующие главные составные части: путевое строение, станционные устройства, подвижной состав и механическое оборудование. В соответствии с этим, мы и рассмотрим отдельные конструктивные элементы каждой секции.

Путевое строение обнимает собою: канаты, поддерживающие их катки и опорные стойки.

В Германии пользовались в первое время (до начала 80-х годов) для устройства путей круглыми железными стержнями. Круглое железо оказалось недостаточно прочным и, в виду своего веса, требовало помещения на близком расстоянии опорных столбов. Поэтому вскоре стали пользоваться для устройства воздушного пути исключительно проволоочными канатами. Первоначально для этой цели применяли канаты, свитые непосредственно из проволок: это, так называемые, спиральные или открытые канаты (черт. 46). Материалом для



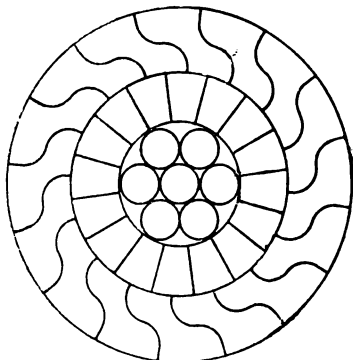
Черт. 46.

них служила сперва мягкая проволока, с временным сопротивлением в 60 кгр. на кв. мм. В виду быстрого износа их, твердость стальной проволоки постепенно увеличивалась и дошла до R^1 в 145 кгр. Спиральные канаты изготовляются преимущественно двух сортов: из 19 проволок, диаметром от 15 до 30 мм, и из 37 проволок, диаметром в 27—42 мм. Они свиваются из кусков проволоки весом около 50 кгр. и соединяются при помощи муфт.

Для строящейся электрической линии на одну из вершин Монблана предположено применить в качестве путевого строения спиральный (геликоидальный) канат очень большой подъемной силы, диаметром в 64 мм. В отличие от обычного типа геликоидальных кабелей, он изготовлен не из отдельных проволок, а из отдельных *рядок*, свитых, каждая, из 7 проволок. Канат этот состоит из 3 концентрических кругов таких пря-

док, обвивающих одну центральную прядку. В наружном кольце таких прядок 17, в следующем—11, в третьем—6. Весь канат свит, таким образом, из $35 \times 7 = 245$ проволок ¹⁾.

Колеса ходовых тележек вагонетов, при проходе по спиральным канатам, соприкасаются с ними только в одной точке,

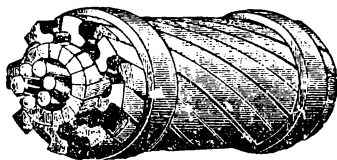


Черт. 47.

что, при пробеге тяжелых грузов, вызывает значительные изменения в форме кабеля. Вследствие этого, уже в конце XIX в. стали пользоваться для укладки путей изобретенными к тому времени заводом Фельтен и Гильом сомкнутыми канатами (черт. 47 и 48). В виду их гладкой поверхности, они особенно пригодны на линиях с крутыми уклонами. Канаты этой системы изготавливаются из металла при R^1 около 100 кгр. на кв. мм., чтобы предотвра-

тить случаи разрыва внутренних проволок, которые в сомкнутых кабелях трудно заметить.

В качестве тяговых канатов употребляют теперь исключительно прядковые канаты. В отличие от спиральных и сомкнутых, они состоят из отдельных прядок, обвитых вокруг пеньковой сердцевинки, что придает им большую гибкость (черт. 49). Прядковые канаты изготавливаются обыкновенно двух ходовых типов: из 6 прядок (или стренг) по 7 проволок и из 6 прядок по 12 проволок в каждой. Материалом для них служит стальная проволока при временном сопротивлении (R^1) в 130—150 кгр. и выше.



Черт. 48.

Спиральные и сомкнутые канаты соединяются между собою посредством муфт (черт. 50). После того, как одна половина муфты бывает надвинута на канат, отдельные проволоки внутри ее раздвигаются и вычищаются и затем, предварительно нагретая муфта, заливается металлическим сплавом. Также точно поступают и с концом другого каната, после чего обе половинки муфты свинчиваются болтом со сделанными в противоположные стороны винтовыми нарезками и закрепляются наглухо двумя штифтами.

¹⁾ М. Buhle. Berg-Seilschwebbahnen. Organ für die Fortschritte d. E.—W. 1913, S. 266.

Длина дороги—4792 м. Высота подъема—2700 м. Пять отдельных участков. Абсолютная высота конечной станции (Aiguille du Midi)—3843 м.

Концы стренговых канатов связываются между собою путем расщепливания.

Допускаемая для висячих канатных установок величина коэффициента безопасности (m),—под которой обыкновенно подразумевают отношение временного сопротивления проволоки к прочному сопротивлению каната,—в различных странах не одинакова. Для путевых кабелей она изменяется от 2 (Франция) до 5 (Германия). Для тяговых—от 4,5 (Франция) до 5 (Германия). Принимая во внимание „что помимо кру-



Черт. 49.

чения, которое понижает сопротивление на $\frac{1}{10}$, простой сплетень (т.-е. соединение между собою отдельных проволок путем скручивания) может понизить сопротивление каната еще на $\frac{1}{10}$ “, Леви-Ламбер советует принимать коэффициент безопасности для путевых канатов от 4 до 5¹⁾. С другой стороны, инженер Стефан, ссылаясь на то, что предел упругости употребляемой в настоящее время жесткой проволоки наступает лишь при $\frac{3}{4}$ от разрывного усилия, находит вполне возможным понизить, для стальной проволоки при $R^1 = 145$ кгр., величину m до 4²⁾; что вполне согласуется и с цифрой для прочного сопротивления в 36 кгр. ($145 : 4$), которая была рекомендована в свое время Рёдо для передачи работы гибкими приводами при употреблении твердой стальной проволоки³⁾. Резюмируя все вышеизложенное, следует, казалось бы, прийти к заключению, что при настоящем положении дела можно установить для проектирования воздушных дорог с грузовым движением:

для путевых канатов m не < 4 , и

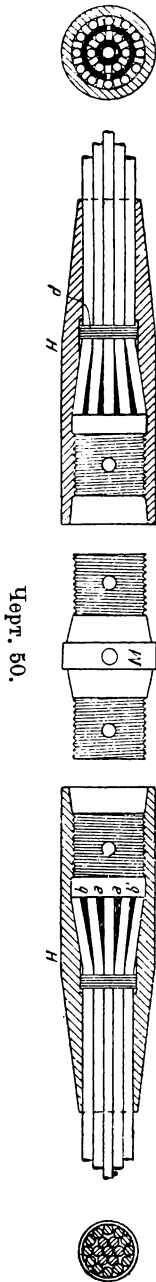
для ведущих канатов m не < 6 .

В отношении дорог с пассажирским движением наблюдается стремление поднять эти нормы в значительной степени. Поэтому, вместо установленной в Швейцарии величины $m = 8$ (для канатных железных дорог), на воздушных путях для передвижения туристов мы встречаем цифры: $m = 11$ (для статического каната) и $m = 17$ (для ведущего).

¹⁾ A. Lévy-Lambert. Chemins de fer funiculaires. Transports aériens. Paris. 1910, p. 464.

²⁾ P. Stephan. Die Drahtseilbahnen, S. 187.

³⁾ F. Reuleaux. Der Konstrukteur. IV Aufl. Dritter Abdr. Braunschweig. 1895, S. 793.



Чтобы закончить с вопросом об условиях работы канатов на висячих дорогах, остается еще упомянуть об интересных опытах итальянского профессора Гвиди над выяснением задачи: на каком расстоянии от поперечного сечения разрыва какой-либо проволоки каната, трение ее о соседние металлические нити окажется настолько велико, что эта лопнувшая проволока приобретет такое же сопротивление, как и смежные с ней проволоки, или, другими словами: на каком наименьшем расстоянии между собой должны находиться поперечные сечения разрыва отдельных проволок, чтобы сопротивление кабеля не уменьшилось при этом более, чем на величину, соответствующую разрыву *одной* проволоки. Опыты Гвиди показали, что на расстоянии одного шага спирали кручения каната, т.-е. на расстоянии 150 см. от места разрыва, лопнувшая проволока обладает уже такой же крепостью, как и соседние нити ¹⁾.

Поддерживающие путевые канаты на опорных стойках чугунные башмаки ограничиваются сверху пологой дугой. Длина таких подушек 60—90 см. в зависимости от пролета. При следовании по дороге тяжелых вагонов пользуются качающимися подушками.

Если висячая дорога проходит по ровной местности, то в случае неравномерной нагрузки двух смежных участков нет оснований опасаться, чтобы под действием нагрузки одного перегона,—в то время, как соседний свободен,—канат мог бы приподняться на промежуточных опорных стойках. Но если воздушная линия пересекает глубокую долину, и дорога будет привешена по параболе более пологой, чем та, которая соответствует поперечному профилю лога, то случай поднятия кабеля на опорах, когда груженные вагоны будут находиться только на одной половине пути, а другая будет свободна,—возможен. Для предупреждения его, как это легко себе уяснить из чертежа 51, разность между вычисленной по известной формуле длиною дуги параболы и прямолинейным расстоянием между опорами *ненагруженной* части должна быть более,

¹⁾ A. Levy-Lambert. l. c. p. 138.

чем разность между увеличенной, вследствие одиночных грузов, дугой параболы на стороне с *груженными* вагонами и дугой, обусловленной собственным весом каната. Выражая эту геометрическую зависимость в форме неравенства и предполагая, что одна часть линии (из нескольких смежных пролетов) загружена, а другая свободна, инженер Стефан, получает, в окончательном виде, следующую зависимость между суммой горизонтальных проекций отдельных парабол (a), нагрузками по середине каждого груженого пролета (P) и единичным весом каната (q):

$$q \Sigma a^3 > 4 \Sigma P a^2 \left(1 + \frac{P}{qa} \right)^1 \quad (26).$$

Первая часть формулы (26) относится к порожним пролетам, а вторая—к груженным. На более крутой ветви, образуемые ненагруженной частью каната дуги, как это видно из чертежа, примыкают гораздо ближе к прямолинейному соединению опорных стоек, чем на пологой стороне. Вследствие этого при пробном расчете следует принимать за ненагруженную—более крутую часть рассматриваемого участка дороги.



Черт. 51.

Подобного рода расчет имеет преимущественное значение при проектировании установок с очень крутыми склонами. Обыкновенно же строители висячих дорог в пересеченной местности довольствуются следующими практическими правилами. Опорные точки помещаются не глубже, как по

параболе, провес которой: при стреновых канатах—не более половины провеса, соответствующего натяжению каната; при спиральных и сомкнутых — не свыше $\frac{2}{3}$ наибольшей стрелы прогиба.

Поддерживающие канат опоры, в зависимости от местных условий и назначения будущей линии, устраиваются деревянными или металлическими. Простейшая форма опор изображена на рисунке 52. Деревянные опоры, достигающие, примерно, 10 м. высоты, получают более прочное устройство и сооружаются на каменном фундаменте. При большей высоте, опоры устраиваются из 4 наклонно расположенных столбов, образуя род усеченной пирамиды. В тех случаях, когда, в силу тех или иных соображений, предпочтительнее устрой-

¹⁾ P. Stephan. Die Luftseilbahnen, S. 34.

ство металлических опор, они сооружаются обыкновенно в форме четырехугольного пирамидального остова, приведенного расположенными крест на крест связями в трехугольную систему ¹⁾.

Высота опор определяется расчетом в зависимости от провеса линии. Согласно установленным в Германии правилам, провес этот не должен препятствовать проезду нагруженной

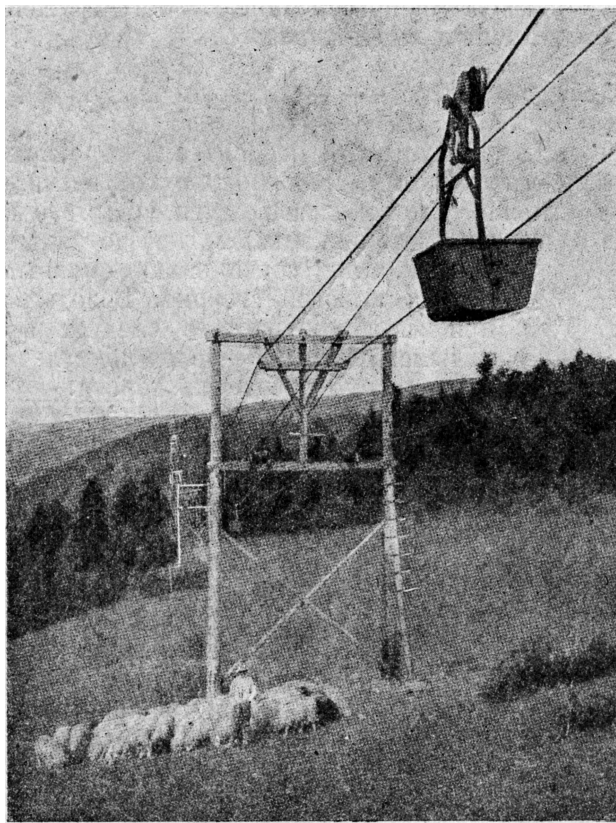


Рис. 52.

до крайних пределов повозки с сельскохозяйственными продуктами. Из приведенных выше соображений о влиянии неравномерной нагрузки вытекает также, что при устройстве воздушной дороги в более глубоких низинах приходится сооружать более высокие опоры, в целях предотвращения поднятия каната и уменьшения перегиба его на опорах при

¹⁾ Разнообразные типы деревянных и металлических опорных стоек помещены, между прочим, в книге Стефана «Die Drahtseilbahnen».

неравномерной нагрузке двух соседних пролетов. По этим причинам приходится, в исключительных случаях, сооружать опорные столбы высотой до 50—55 м.

Станционные устройства представляют большое разнообразие в зависимости от местных условий, рода и количества перевозимого груза и т. д. Это разнообразие не исключает, однако, возможности установить известные общие характерные черты в расположении остановочных пунктов для дорог самодействующих и для линий с механической тягой.

Прежде чем перейти к описанию станционных устройств, следует упомянуть, что для укрепления и натяжения статических канатов помещаются через каждые 2—2,5 км. особые

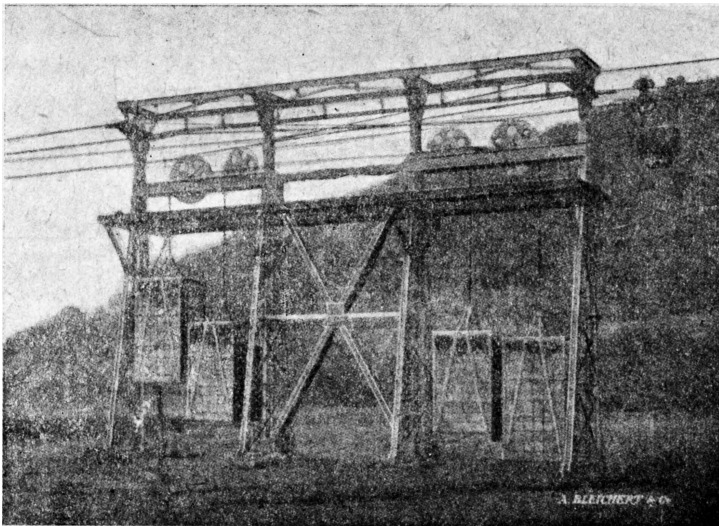


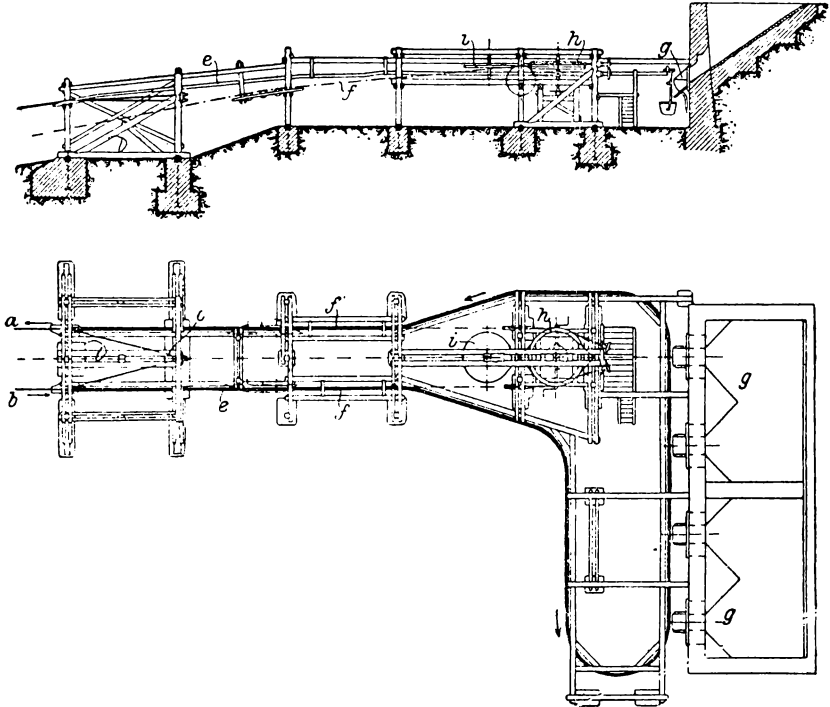
Рис. 53.

натяжные и анкерные приспособления. Не останавливаясь на деталях, скажем только, что такого рода вспомогательные станции устраиваются с таким расчетом, чтобы они обслуживали два смежных канатных участка. Такое двойное натяжное устройство указано на рис. 53.

На черт. 54 изображены план и фасад деревянной станции отправления одной самодействующей дороги. Поддерживающие канаты *a* и *b* отклоняются от первого поперечного бруса с помощью соответствующих подушек на середину пути, где и прикрепляются анкерными болтами ко второй перекладине *c*. К отклоняющим башмакам прилегают рельсы подвесного пути, соединяющие оба каната и образующие род петли. В точке *f* прибывающие порожние вагоны отцепляются от ведущего каната, подводятся рабочими под одну из воронок

амбара, в котором хранится перевозимый материал, и после наполнения им направляются тем же рабочим к месту соединения с тяговым канатом f^1 .

Для соединения вагонеток с тяговым канатом обыкновенно служит винтовая сцепка Обаха, получившая на проволочных канатных дорогах большое распространение (описание этого снаряда помещено ниже). Пройдя место сцепки с вагонами, тяговой канат направляется к оборотному шкиву h , соединенному с приводным (вспомогательным) шкивом i , служащим для увеличения трения. Канат обвивает два раза крест-на-



Черт. 54.

крест оба шкива. На вале оборотного шкива насажены два тормозных шкива, ленты которых натягиваются вращающимися рукоятками и должны нажиматься с большей или меньшей силой, смотря по числу находящихся в пути вагонеток, давлению ветра, условиям погоды и т. д., чтобы канатная установка функционировала с однообразной скоростью. Эти ручные тормоза иногда заменяются тормозами автоматическими: приводимыми в движение главным шкивом центробежными насосами, вгоняющими воду в узкое отверстие, ширина которого автоматически изменяется центробежным регулятором или мельничными крыльями.

Если висячая дорога работает с помощью механической силы, то вместо тормозного шкива устанавливается большое коническое колесо, приводимое в движение приводным валом посредством локомобиля, электродвигателя или имеющейся трансмиссии.

При недостаточности спускающихся грузов, для под'ема порожних вагонетов или же там, где дорога перевозит и разного рода грузы на верх, пользуются для эксплуатации обоими способами, т.-е. как тангенциальной слагаемой силы тяжести, так и механическими двигателями.

Примерно, по той же общей схеме, по которой сооружаются верхние погрузочные станции, устраиваются и остановочные пункты для выгрузки.

Характерной особенностью планировки станций лесовозных дорог с большим движением является обилие жестких подвесных путей, т.-е. рельсов из балочного железа. Нагрузка и выгрузка круглого леса производится обыкновенно с помощью узкоколейных вагончиков с откидными платформами.

Совершенно особых приспособлений требует нагрузка вагонов висячей дороги из судов. Такого рода станции, устроенные в Западной Европе во многих местах, представляют большие сооружения из эстакад с подвижными мостовыми и поворотными кранами, сетью жестких путей и т. п. Иногда даже вся погрузочная станция вместе с амбаром представляет собою часть подвижного крана.

Стрелки для перехода с канатных путей на жесткие (подвесные) устраиваются двух типов: с вращающимися острьяками и откидные ¹⁾.

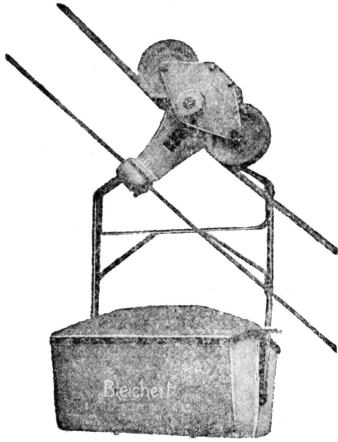
В подвижном составе висячих дорог следует различать четыре составных элемента: ходовые части, подвесные устройства, сцепные приспособления и кузова.

Ходовые части грузовых вагонетов состоят обыкновенно из двух катков, диаметром в 20—30 см., снабженных полукруглыми желобами, которые удерживают их на канате во время бокового ветра. Ролики эти или колеса изготовляются, большей частью, из тигельной стали. Колеса зажимаются между двумя стальными пластинками, которые соединены в одно целое ввинченным в них чугуном вкладышем. Независимо от этого, боковые стенки связаны друг с другом еще колесными осями (цапфами), закрепленными наглухо, в которых свободно вращаются колеса. Эти оси—пустотелые и заполняются густым жиром. При нагревании оси эта смазка выступает из радиально расположенных отверстий на поверхность, снабженную многими пазами.

¹⁾ Устройство и чертежи помещены в книге Стефанз, «Die Drahtseilbahnen», стр. 224 и сл.

В новейшее время стали входить в употребление четырехосные скаты. Ими пользуются для перевозки, с помощью специальных платформ, узкоколейных вагончиков с углем и для перемещения длинных древесных стволов.

Соединительные подвески состоят из прочной рамы, прикрепленной к концам вагонного короба и свободно вращающейся на центральном болте вагонного ската. Форма таких подвесок довольно разнообразна. Подвески устраиваются большей частью так, что после открытия помещенной сбоку задвижки вагонет или опрокидывается автоматически, или может быть перевернут от руки (черт. 55).



Черт. 55.

В случае применения свободного подвеса рамы к колесному скату на линиях с крутыми подъемами, давление вагонного груза будет передаваться почти целиком на заднее колесо. В видах устранения подобного недостатка, фирма

Блейхерт соединяет подвеску с поддерживающим болтом наглухо и устраивает непосредственно ниже коленчатый рычаг, около которого нижняя часть подвески вращается, как и в нормальной подвеске. Благодаря такому изменению конструкции, достигается вполне равномерная нагрузка обоих роликов.

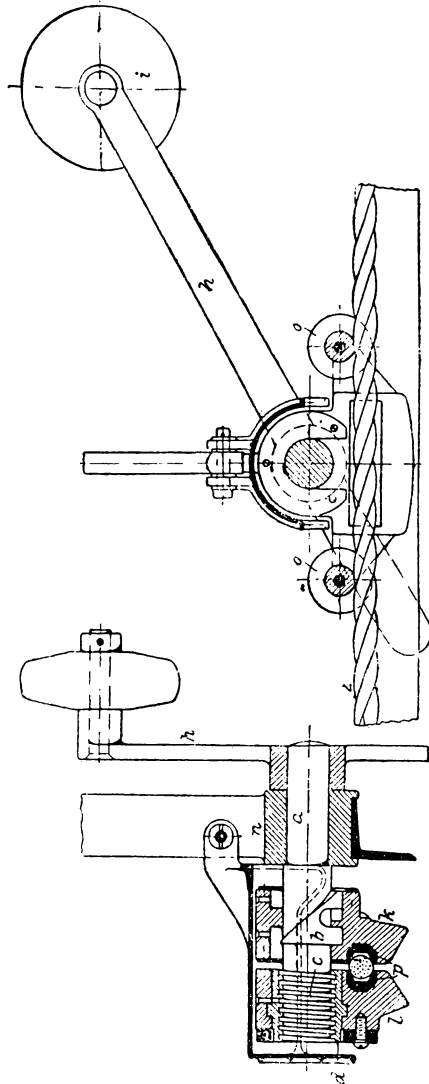
Первоначальные сцепные приборы, основанные: на закреплении вагонетов при помощи помещенных на канате узлов или муфт, на простом зажатии каната, а также ручная винтовая сцепка фирмы Отто и автоматический фрикционный сцепной аппарат Блейхерта (с эксцентриком), как не вполне удовлетворяющие требованиям, уже давно оставлены. В настоящее время почти исключительно применяют две сцепки: системы Обаха и системы Блейхерта.

Употребляемый фирмой Полиг, примерно с 1892 г., „Универсальный“ аппарат Обаха, в его новейшей конструкции, показан на черт. 56. Стержень *a* снабжен на коротком протяжении (на половине хода винта) правой нарезкой *b*, с очень крутым подъемом, и мелкой левой нарезкой *c*. Стержень *a* вращается в вагонном подшипнике *n*; на свободный конец его насажен ударный рычаг *h* с противовесом *i*. Как только шкив *i* ударится о препятствие, шпиндель *a* поворачивается, и колодки *k* и *l* крепко прижимаются к ведущему канату. Вследствие вращения правой, крутой нарезки *b*, щека *k* быстро придвигается к канату. Щека эта устанавливается таким образом,

что правая нарезка сходит на нет, как только колодка прикоснется к канату. При дальнейшем вращении, шпindelъ нажимает на канат посредством тонкой нарезки тормозную колодку *l* медленно, но с большой силой. Для предохранения каната, обе тормозных подушки имеют внутренние бронзовые вкладыши *p*, легко сменяемые.

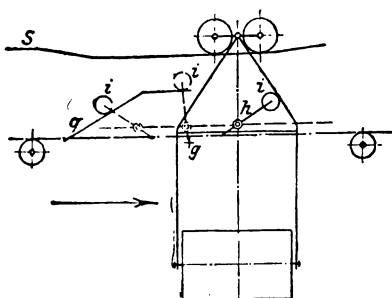
В точке соединения с канатом рельс *S* выгнут вниз (черт. 57) и тяговой канат направляется таким образом, что открытая сцепка надвигается на него при помощи ходовых роликов *o*. Если вагонет будет идти дальше, то противовес *i* набегает на отклоняющий рельс *q*, который сначала идет вверх, а потом направляется горизонтально. Вследствие этого, рычаг *h* приходит почти в вертикальное положение, нижняя его часть ударяет о поперечный штифт *g*, и благодаря этому рычаг падает на противоположную сторону, зажимая канат между колодками. При расцепке, шкив *i* набегает сначала на рельс *r* (черт. 58) и затем, когда рычаг примет отвесное положение, откидывается вторым рельсом назад; чтобы груз *i* не падал назад с одного удара, первый рельс продолжит таким образом, что каток *i* зажимается с обеих сторон.

При всей, своей практичности, прибор Обаха имеет один недостаток: действующее на канат усилие не зависит от груза. Затем, при изменении диаметра каната, аппарат требует новой установки, ибо рычажок *h* должен находиться почти всегда в одном и том же положении. Поэтому, одним из условий пользования сцепкой Обаха служит одинаковая толщина тяго-

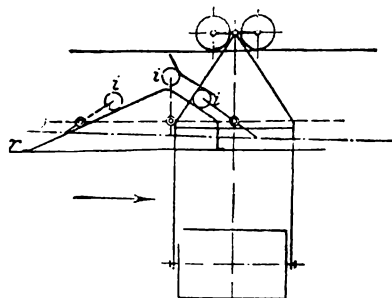


Черт. 56.

вого каната по всей линии. Тем не менее, сцепка Обаха, за время своего свыше тридцатилетнего применения, оказалась удовлетворяющей всем требованиям со стороны агентов технической эксплуатации висячих дорог.

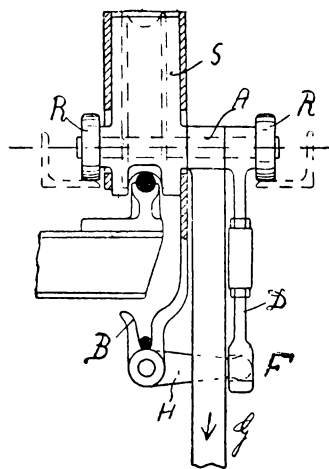


Черт. 57.



Черт. 58.

Идея установить известную зависимость между весом проходящего груза и давлением зажимов колодок принадлежит одному из монтеров завода Блейхерта — Шпитцеку ¹⁾. Принцип этот был вскоре использован фирмой А. Блейхерта в построенном им приборе „автомат“, который считается одним из лучших сцепных приборов для воздушных путей. Аппарат этот, изображенный на черт. 59, сконструирован следующим образом.



Черт. 59.

Основной болт, на котором висит поддерживающая вагонет металлическая рама *G*, укреплен в чугунном вкладыше с боковыми роликами *R*. Этот вкладыш соединен со штангой *D*, оканчивающейся коленчатым рычагом *BHF*. Короткое плечо его, *BH*, обделано в виде нажимной колодки, которая, под действием груза вагонета прикрепленного к стержню *G*, нажимает на канат с силой, пропорциональной грузу.

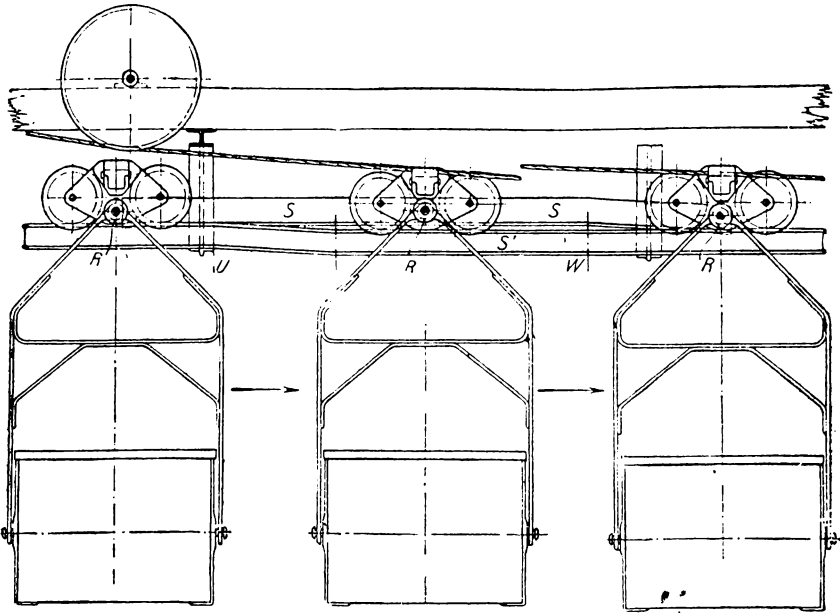
Проложение каната во время сцепки, как равно и расположение путевых и вспомогательных рельсов видно на черт. 60.

Путевые рельсы между точками *U* и *V* понижаются; на пространстве от *V* до *W* они идут горизонтально, а на третьем перегоне, до *R*, поднимаются вверх. Из этого видно, что на

¹⁾ P. Stephan. Die Luftseilbahnen, S. 107.

промежутке между U и V зажимы открыты и канат свободно входит сверху, постепенно зажимаясь на пути $V--W--R$ ¹⁾.

Кроме рассмотренных нами двух главнейших ходовых сцепных приборов, существует еще целая серия аппаратов других систем: Карстена и Фабиана, Уайлда, Черетти и Танфани, Теста, Пиша и Море и нек. др. По своему устройству они частью примыкают к сцепке Обаха, частью же основаны на идее „автомата“ Блейхерта ²⁾. Из числа этих приборов заслуживает внимание, по оригинальности замысла, сцепной снаряд Черетти и Танфани „Идеал“, основанный на нажатии



Черт. 60.

тормозных ³⁾ щек движением вниз особого криволинейного скользуна. При всех своих положительных качествах, упомянутые сцепные приборы с вкладышем имеют один общий недостаток, а именно: на крутых перегонах большая часть груза не реагирует на сцепку, так как тангенциальная слагаемая сила тяжести груза, естественно, воспринимается на-

¹⁾ P. Stephan. Die Drahtseilbahnen, S. 205. Имеющийся в книге Стефана, помещенный нами чертеж прохождения ведущего каната во время сцепки относится к устройству висячей дороги с верхним тягловым кабелем, и потому он не вполне согласован с чертежом сцепного прибора у вагонета, приводимого в движение канатом, расположенным ниже статического каната.

²⁾ Описание этих приборов можно найти в книге Стефана «Die Luftseilbahnen» и в книге Леви-Ламбера «Chemins de fer funiculaires. Transports aériens».

правляющими поверхностями скользящих вкладышей. Этот недостаток устранен в новейших приборах — Стефана (несколько видоизмененный прибор Черетти и Танфани) и Полига, которые, повидимому, решили задачу подвески вагонетов наиболее совершенным способом ¹⁾.

Вагонные коробки представляют большое разнообразие, но устройство их настолько просто, что мы считаем излишним на нем останавливаться. Отметим только, что при нагрузке или выгрузке судов, когда приходится поднимать или опускать груз на большую высоту, экипажи висячих дорог устраиваются таким образом, что перемещается в вертикальном направлении только кузов — на цепях посредством ворота.

Вес порожних вагонеток, при обычных условиях, колеблется от 100 до 250 кгр. Нагрузка при перевозке массовых грузов доходит до 500—600 кгр. и выше.

Тяговой канат, в большинстве случаев, провешивается ниже путевого. Но если дорога, чтобы обойти встречные здания, должна делать крутые повороты, то ведущий канат укрепляют сверху, так как это дозволяет вагонетам проходить по крутым кривым без отцепки.

Последний составной элемент воздушных линий представляет механическое оборудование. В отношении движущей силы, проволочноканатные дороги распадаются на три группы: самодействующие (воздушные тормозные скаты), механические, и линии смешанного типа, т.-е. такие, которые пользуются и силой тяжести и механическими двигателями. Линии с паровой тягой эксплуатируются большей частью локомотивами. Дороги, которые пользуются для вращения главного канатного барабана энергией тока, предпочитают двигатели постоянного тока с последовательным возбуждением или с ответвлением (Колерерская дорога). Электрическая энергия для передвижения вагонетов-гондол Веттергорнской дороги доставляется силовой станцией в Гриндельвальде в форме простого (однофазного) переменного тока. Для целей эксплуатации дороги он трансформируется в постоянный ток, который поступает сначала в аккумуляторную батарею. Трансформаторы и батарея помещаются на нижней станции, откуда рабочий провод направляет ток на верхнюю станцию.

В редких случаях механические воздушные дороги пользовались также и гидравлическими двигателями. Такова временная дорога, сооруженная для постройки форта Трюк, на итальянской границе, в очень дикой местности. Длина линии — 2100 м. Разность высот конечных пунктов — 900 м. Двигателем служила водяная турбина в 15 л. с. Дорога была выстроена в 1891 г.

¹⁾ P. Stephan. Die Luftseilbahnen, S. 112

Описание дорог. Висячие дороги для грузового движения, устроенные в ровной местности, служат для перевозки самых разнообразных предметов и материалов заводского и фабричного хозяйства. Поэтому мы ограничимся здесь сообщением кратких сведений о наиболее характерных применениях канатной тяги на линиях этой серии. Затем, приведем несколько примеров устройства висячих дорог для перевозки грузов в горных местностях, и познакомимся, в общих чертах, с линиями для передвижения туристов.

Примеры пользования висячими дорогами в заводской и горной промышленности. Довольно большое число висячих дорог мы находим на каменноугольных копях. Они служат обыкновенно для доставки угля из шахты к месту промывки и далее, для дальнейшей отправки по назначению. В видах ускорения, перевозка совершается в тех же углевозных вагонах, в которых уголь доставляется на дневную поверхность по узкоколейным путям, при чем вагоны подвешивались к двум двухколесным скатам. Такая система требовала устройства некоторых приспособлений для прикрепления вагонов к подвесным тележкам. Чтобы избежать этого неудобства, фирма Блейхерт предложила, в 1892 г., помещать вагоны с углем на особую платформу, которую затем и подвешивать к путевому канату. Подобный способ настолько упростил операцию перевозки, что, при часовой производительности в 45 тонн, для производства требуемых манипуляций достаточно одного человека.

Канатными воздушными дорогами пользуются также успешно и для перевозки руды. Такого рода установок обладают иногда очень большой производительностью. Так, например: канатная дорога Общества Орконера в Бискайе, доставляющая руду сначала к месту промывки, а затем на станцию отправления, всего на протяжении до 14 км., обладает производительностью в 2430 тоннокилометров в час, что соответствует, приблизительно, работе $(2430 \times 10) : 14 = 1740$ тп. в сутки ¹⁾.

В горнозаводском деле приходится часто встречаться с перевозкой всякого рода отходов, шлаков и т. п. Воздушные дороги являются в этом отношении наиболее рациональным и экономичным средством, транспорта. Так как, в видах наилучшей утилизации свалочной территории, кучи отходов доходят до значительной высоты, в иных случаях до 40 м., то при устройстве канатной перевозки нужно только соответственно поднять путевые канаты. Перевозка производится в автоматически опрокидывающихся вагонетах. За последнее время и в отношении производства упомянутой операции достигнуты большие улучшения: введены т. п. вращающиеся

¹⁾ P. Stephan. Die Drahtseilbahnen, S. 73.

станции или же в конце линии устанавливают наклонную мостовую решетчатую ферму. Внутри этой фермы движутся груженные вагонеты, и в конце ее автоматически выгружаются. Когда насыпанная таким образом масса отбросов, постепенно увеличиваясь во все стороны, дойдет до подошвы фермы, заполнив ее нижнюю часть, и составит для нее прочное основание, то к ней приклепывается новая ферма, верхний поворотный шкив перемещается выше, и насыпка отработанных продуктов продолжается до тех пор, пока окружность образовавшегося конуса не дойдет до начала свалочной площади.

Из числа воздушных дорог, устроенных для погрузки морских судов, заслуживают упоминания дороги: на о. Шпицбергене, для перевозки угля; на о. Эльбе, и на рудниках Виверо в Галисии (Испания); последние две служат для погрузки руды. Все три установки—самодельствующие. Характерным отличием такого рода дорог является устройство уходящих в море эстакадных набережных; затем, во избежание уплаты стальных денег, установки эти обладают большой мощностью: суточная производительность на линии Виверо, при десятичасовой работе, равна 2500 тонн.

Блондены представляют важное подспорье при производстве работ по устройству мостов, вододержательных плотин, при развозке материалов, погрузке и выгрузке судов и т. п. Примерами могут служить: висячая дорога в Вуври (долина Роны), построенная в 1901 г. для развозки труб по линии напорного водопровода для силовой установки, и блонден, примененный на работах по возведению в 1922—1923 г.г. вододержательной плотины Барберино—Вернейаз (на границе Швейцарии и Совойи), с напорным бассейном в 40 миллионов куб. м. Этот снаряд представляет один из наиболее совершенных и мощных современных блонденов ¹⁾. Путь канат, по которому движется подвесная лебедка, поддерживается, по сторонам, двумя опорами; одна из них неподвижная, с вращающимся башенным яблоком; другая может перемещаться по круговому сегменту. На этой последней опоре установлен мотор для передвижения тележки и подъемного механизма, так что управление всем аппаратом сосредоточено в одном месте. Пролет между опорами—410 м. Наибольшая высота подъема крана—120 м. Подъемная сила—5,5 тн.

Устройство блонденов на судостроительных элингах, в Америке и Англии, гораздо сложнее. На больших элингах подобные механизмы состоят из двух мощных металлических решетчатых порталов, поставленных на известном расстоянии

¹⁾ Die Transportanlagen zum Bau der Staumauer für das Barberino-Kraftwerk der S. B. B. Schweizerische Bauz. 1923, №№ 6, 7. 8.

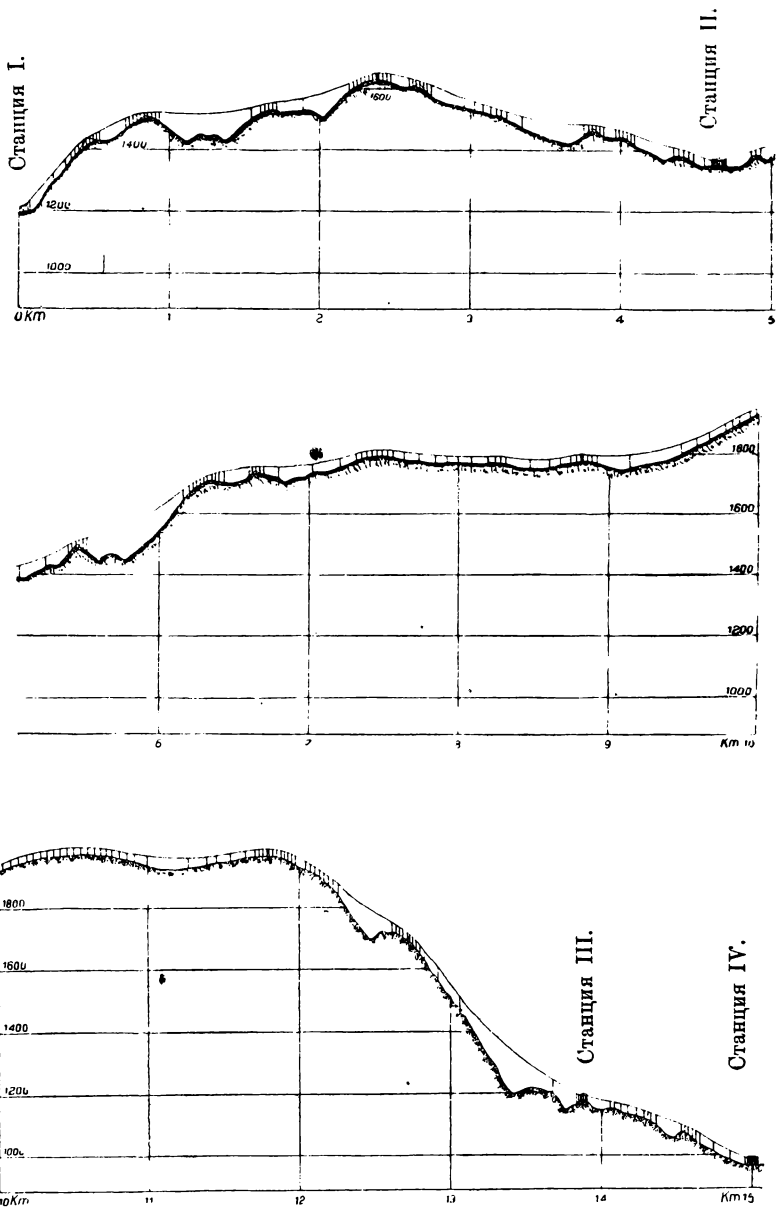
друг против друга и наклоненных в противоположные стороны. Между порталами, на большой высоте, протянуты канаты, по которым ходят, управляемые вагоновожатыми, электрические передвижные тележки с кранами, могущими перемещать грузы до 3 тонн.

Большая Трансильванская проволочноканатная дорога. Согласно принятой нами классификации, Трансильванская висячая дорога относится ко второй категории висячих дорог для грузового движения, т.-е. к линиям, имеющим характер горных дорог. К этому же типу относятся и обе следующие, помещенные нами ниже дороги: лесовозная дорога Бустени, в Румынии, и рудниковая линия Чилесито—Упулунгос, в Аргентине.

Построенная в 1883—1884 г.г. Трансильванская дорога Вадудобри—Вайдахуньяд в Венгрии служит для подвоза древесного угля и железной руды к доменным печам. Линия состоит из двух участков. Первый, Вадудобри—Гиалар, дл. около 21 км., соединяет место получения древесного угля с рудниками; по второму участку, Гиалар—Вайдахуньяд, дл. около 9,5 км., уголь и руда направляются к доменным печам. Общая длина линии—около 30,5 км. Разность горизонтов конечных пунктов—892 м. Линия пролегает в крайне пересеченной местности: она переходит через 60 горных хребтов. Уклоны доходят до 660‰. Вся линия разделена на 4 соединенных между собою тяговых участка с 4 механическими станциями по середине, на которых помещаются паровые машины, вращающие канатные барабаны. Кроме этих 4 станций, на линии имеется еще две конечных станции и три промежуточных, служащих для натяжения каната. Продольный профиль делает шесть изгибов. Наибольшее расстояние между опорами—472 м. Несмотря на трудные условия для выбора направления, наибольшая высота опор, и то в одном только месте,—27 м. Опоры по всей линии деревянные, двоякого рода. На угольной дороге, по которой движутся вагонетки, емкостью в 120 кгр., опоры представляют укрепленные подкосами круглые столбы. Опорные стойки рудниковой дороги, где циркулируют вагонеты подъемной силой в 300 кгр., состоят из двух стоек с перекладиной, к которой подвешены путевые канаты. Сцепной аппарат системы Обаха (описанный нами выше); применен здесь впервые. Линия построена по системе Обаха, патентованной еще в 1870 году¹⁾.

Лесовозная установка в Трансильванских Альпах, в Румынии. Построена в 1907—1909 г.г. Служит для доставки древесных масс из расположенных на вы-

¹⁾ Die grosse Siebenbürger Drahtseilbahn. System Th. Obach. Oesterreichische Zeitschrift für Berg- und Hüttenwesen, XXXII Jahrg., 1884.



Черт. 61.

Продольный профиль висячей канатной дороги в Румынии.

соте 1200—1400 м. горных ущелий р. Яломицы к находящейся близ г. Бустени целлюлозной фабрики. Протяжение линии—15 км. Между начальным пунктом и фабрикой возвышается горная гряда высотой в 2000 м. Фабрика расположена на высоте 978 м. над ур. м.

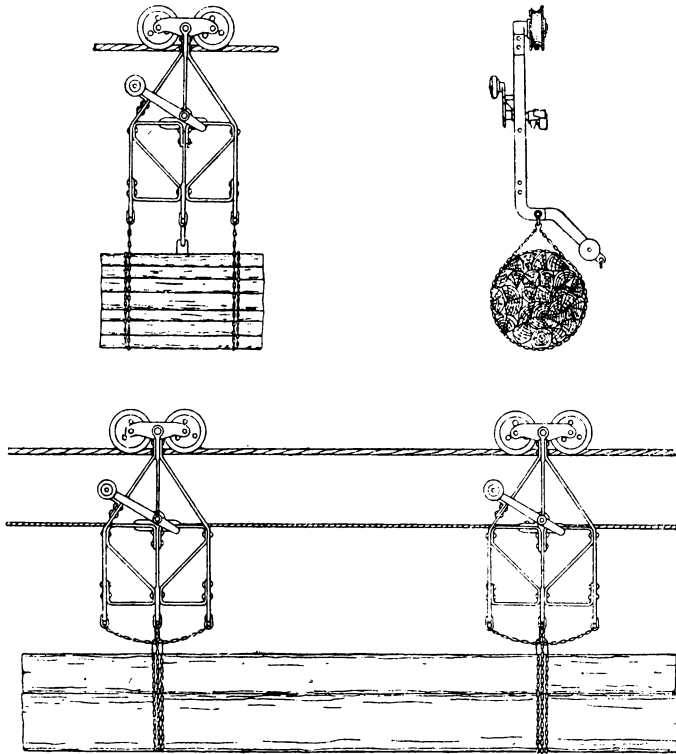
От начального пункта, станции I (черт. 61) до ст. II дорога пролегает по прямому направлению. Отсюда линия, под углом 157° направляется к станции III, отстоящей от начальной точки на 13,8 км. Это наиболее трудный участок. Воздушная линия достигает у 11,8 км. своей высшей точки—2000 км. над ур. м. и затем круто падает к станции III. На этом перегоне находится и наибольший пролет между опорными башнями—650 м. Последний перегон, III—IV, отклоняется от предыдущего на угол $\approx 160^\circ$. На ст. II установлен автомобиль для доставления вспомогательной энергии при следовании вагонетов с грузом от ст. I до высшей точки линии (около 12 км.), по встречному подъему. Путевое строение состоит из двух неподвижно закрепленных кабелей. Движение груженых коробов происходит по спиральному канату в 30 мм. толщины. На крутых склонах канат этот заменен сомкнутым, диаметром в 35 мм. Вторая линия канатного пути, для порожних тележек, также состоит частью из сомкнутых кабелей, но меньшего поперечного сечения ($d=23$ и 27 мм.). Тяговой канат имеет толщину 23 мм.

Опоры, частью деревянные, частью металлические (за пределами произрастания деревьев) представляют обычной формы четырехугольные башни, соединенные горизонтальными связями и диагональными раскосами. На вершине опорных строений уложены длинные поперечные балки, поддерживающие канатные подушки, могущие вращаться в соответствии с провисанием каната.

Особый интерес возбуждают вагонные подвесные скобы (черт. 62). Они состоят из подвешенного к ходовой части стержня, из плоского железа. Этот стержень (скоба) в нижней своей части отогнут в сторону, и на конце его укреплен противовес, имеющий целью сбалансировать подвеску при пробеге ее порожнем. К подвешенному стержню, в том месте, где он отходит в сторону, прикреплены цепи, которыми обвиваются и закрепляются древесные стволы. Эта система подвески вагонов оказалась весьма практичной и обладает тем преимуществом, что дает возможность колесным скатам, при проходе по стационным кривым, вращаться в горизонтальной плоскости, так как при употреблении цепей они соприкасаются с подвеской только в одной точке. Затем, настоящая система представляет еще ту особенность, что подвесной стержень, благодаря присоединения к нему железных уголков, настолько расширен, что одиночные подвески, при употреблении имеющихся цепей, оказываются вполне при-

годными, как то видно из рисунка, и для отправки дров и пиленого материала. Это приспособление, примененное на Бустенской дороге впервые, исключает надобность иметь особый тип перевозочных средств для пиленого леса, как это практикуется на других дорогах,—что значительно упрощает эксплуатацию.

Для выгрузки поделочных материалов и топлива на станции прибытия, где имеются пути узкоколейной дороги, общество

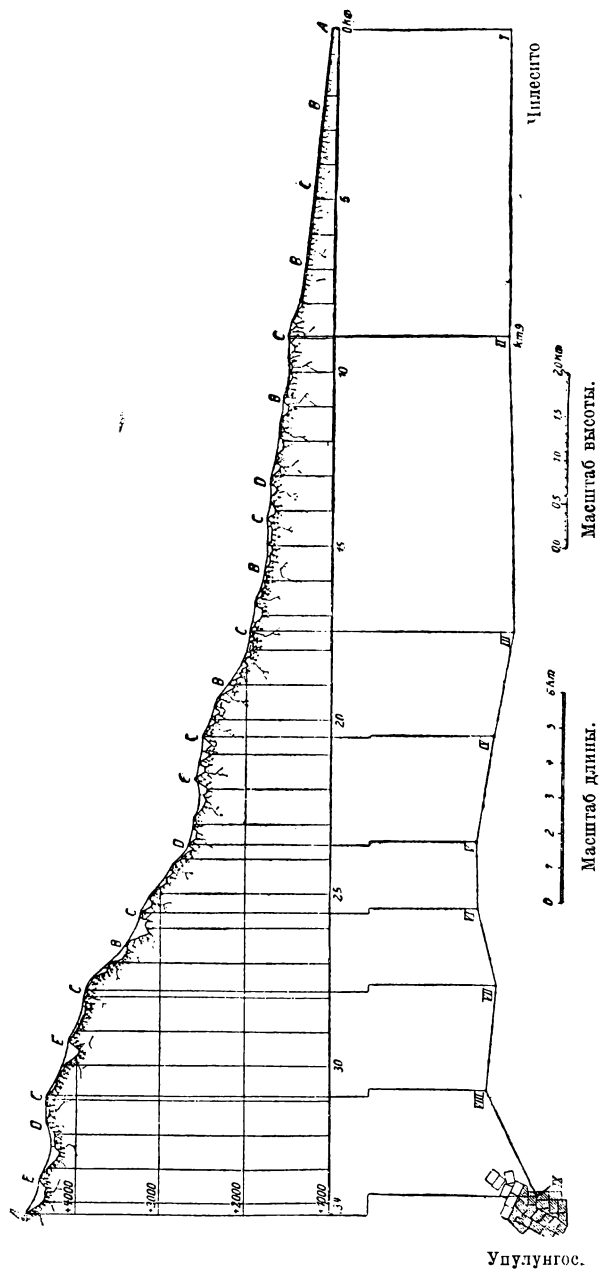


Черт. 62.

целлюлозной фабрики заказало специально приспособленные для этой цели вагоны-помосты. Они имеют форму открытого с двух сторон корытообразного короба, поставленного на помост, могущий опрокидываться и, кроме того, перемещаться в вертикальной плоскости с помощью зубчатой рейки. Прибывающий по висячей дороге вагон-подвеска становится над вагоном узкоколейной дороги. Платформа поднимается настолько, что цепи ослабевают и прибывший материал перегружается на помост, откуда, поворотом помоста на угол в 90° , материал выгружается.

Подвесные вагонеты прикрепляются к ведущему канату посредством „универсального сцепного прибора“ Обаха, рассмотренного выше.

Производство строительных работ и, в особенности, развозка материалов были сопряжены с большими трудностями,



Черт. 63. Висячая канатная дорога в Аргентине.

в виду полного бездорожья этой дикой, покрытой первобытным лесом местности. Например, перевозка на протяжении 15 км. запряженной парой волов повозки, с грузом в $1\frac{1}{2}$ куб. м. леса. требовала целых два дня.

Сооружение дороги исполнено фирмой Полиг (Кёльн), которая уже ранее производила подобные работы в Венгрии и Румынии. Первые годы эксплуатации дороги в Бустени дали очень хорошие результаты, и вполне подтвердили пользу устройства висячих дорог для разработки лесных богатств в горных местностях ¹⁾.

Висячая дорога в Аргентине. Открытая в конце 1904 года линия Чилесито—Упудунгос в Аргентине сооружена для доставки медной руды из богатых древних Фаматинских рудников к находящимся внизу, у ст. Чилесито, плавильным печам. Она превосходит по своему протяжению и по высоте подъема все построенные до настоящего времени канатные дороги в мире, достигая заоблачной высоты в 4.585 м. над уровнем моря, т.-е. поднимаясь на 400 м. выше Юнгфрау... Длина линии—34,3 км. Наибольший подъем—450‰ ²⁾. Дорога состоит из 8 отдельных, соединенных между собою участков, как это усматривается из продольного профиля (черт. 63). На каждой промежуточной станции вагон отцепляется и вновь прикрепляется к ведущему кабелю следующего перегона.

Путь состоит из двух нитей спиральных канатов. На пяти верхних участках диаметр каната установлен: для следования груженых вагонов—35 мм., а для обратных, порожних—28 мм. На трех нижних толщина кабеля понижена, соответственно, до 30—25 мм. Временное сопротивление каната разрыву (R')=150 кгр. на кв. мм. На трудных перегонах (около 1.000 м.) провешены сомкнутые канаты. Толщина тягового каната—18 мм., при R' =180 кгр.

Все опоры металлические. На рисунке 64 показана одна высокая опорная башня при окончании сборки. Высота опор большей частью не превосходит 10 м. В некоторых, наиболее трудных, перегонах доходит до 40, а между станциями IV и V даже до 48 м. Нормальное расстояние между опорами—100 м. В исключительных случаях пролеты доходят до 700 и даже до 900 м.

По характеру очертания продольного профиля линия Чилесито могла бы работать, как воздушный тормозный скат, но в виду значительных сопротивлений трения, а также на случай доставки грузов или пассажиров на верхние пункты,

¹⁾ Eine Holztransportanlage in den Transsylvanischen Alpen. Von Ingenieur A. Pietrkowsy, Köln. Schweizerische Bauzeitung. 1910. Bd. 56, № 6.

²⁾ По крутизне подъема линия Чилесито занимает среднее место. Самая крутая дорога в мире—Узамбарская (Вост. Африка). Предельный уклон ее—860‰.

на станциях II, III, IV, VI, VII и VIII установлены паровые двигатели по 35 сил.

Из конструктивных приспособлений следует отметить автоматический сцепной аппарат Блейхерта, описанный нами выше. Благодаря введению этого прибора, удалось довести скорость движения до 2,5 м. в сек.

Хотя снеговая линия в Кордильерах значительно выше, чем в Альпах¹⁾, тем не менее постройка дороги представляла почти непреодолимые затруднения. За отсутствием надежных карт, пришлось произвести подробную тахеометрическую съемку.

Чтобы составить себе общее представление об очертании этой чрезвычайно гористой местности (для выбора направления линии) встретила надобность в изготовлении множества фотографических снимков, на которых, затем, зари-

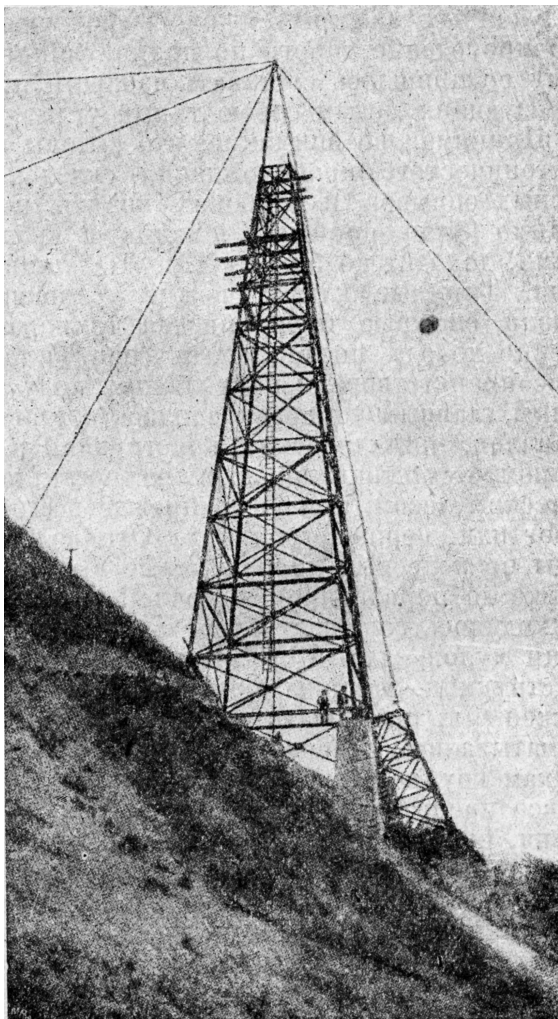


Рис. 64.

¹⁾ Высота снеговой линии зависит не только от географической широты, но и от многих других причин: от количества выпадающего снега, направления господствующих ветров, крутизны склонов и др. Высота снеговой линии в средних и западных Альпах—2.700 м. В южно-американских Кордильерах, или Андах, высота линии снега изменяется в границах от 4600 до 5700 м.

совывались станции, опоры, искусственные сооружения. Из полученных таким путем топографических данных выяснилось, что проведение дороги по прямой линии невыполнимо, и потому ее пришлось составить из шести прямолинейных частей, образующих между собою тупые углы.

Принимая во внимание, что склоны гор представляют ряд тектонического происхождения складок, сдвигов, почти отвесных обрывов и глубоких впадин, некоторые места необходимо было пройти выемками в скале; кубатура их, местами, доходит до 5.000 куб. м. На линии пробито два тоннеля. Тяжелые климатические условия в верхних районах (ливни, снежные бури, низкая температура, быстрое наступление холода после заката солнца) также в значительной мере препятствовали нормальному ходу работ. Но едва ли не самым главным тормозом явилась доставка строительных материалов, металлических конструкций и каната. При почти полном отсутствии дорог, в местности, покрытой густым тропическим лесом, пришлось прежде всего провести до 150 км. дорог или, вернее, тропинок. Отправлять материалы и снаряды по колесным дорогам, даже в одноколках, можно было только до первой промежуточной станции. За пределами ее приходилось совершать перевозки только на вьюках, при помощи мулов; для этого каждый отдельный груз (железные конструкции, машины, котлы, канатные шкивы и т. п.) не должен был превышать 150 кг. Отдельные рулоны кабеля разматывались и переносились по извилистым горным тропинкам группой рабочих в несколько сот человек! Несмотря на все препятствия, постройка этого замечательного сооружения, исполненная фирмой Блейхерт, под общим управлением аргентинского правительства, была закончена (не считая времени на пробивку выемок и тоннелей) в 14 месяцев ¹⁾.

Линия Чилесито—Упулунгос обслуживает также и пассажирское сообщение с расположенными в районе дороги населенными пунктами, для чего она обзавелась специальными вагонами. Они напоминают наши двухместные кареты; спереди, внизу устроен закрытый выступ, для багажа ²⁾.

¹⁾ Die Erschliessung der nordargentinischen Kordilleren mittels einer Bleichertschen Drahtseilbahn für Güter und Personen. Von Dietrich. Zeitschrift d. Vereins deutscher Ingenieure. 1906. Bd 50, S. 1769.—Chemins de fer funiculaires. Transports aériens. Par A. Lévy Lambert. Paris. 1910, p. 424 (второе издание).

²⁾ Из числа других дорог рассматриваемой категории отметим: а) дорогу на рудниках Сиерра Бедар (Испания). Длина—15,6 км. Развивает большую производительность; при 10-часовой работе она равняется $420 \times 15,6 = 6552$ тоннокилометра. Дорога построена в 1888 г. Эксплуатируется паровыми машинами; б) самодействующую дорогу на рудниках Пьерефитт (Франция). Построена в 1907 г. Длина 6,6 км. Высота подъема—860 м. Верхняя станция находится на высоте 1696 м, а в) Узамбарскую дорогу (Восточная Африка). Протяжение—8,9 км. Предельный подъем—860‰. *Это самая крутая дорога в мире.* В виду встречных уклонов для тяги пользуются, в случае надобности, электромотором.

неподвижно, а на нижней станции они огибают вертикальные шкивы и затем опускаются в шахту, где, будучи соединены цепью Галля, прикреплены к противовесу, поддерживающему степень натяжения их на постоянном уровне.



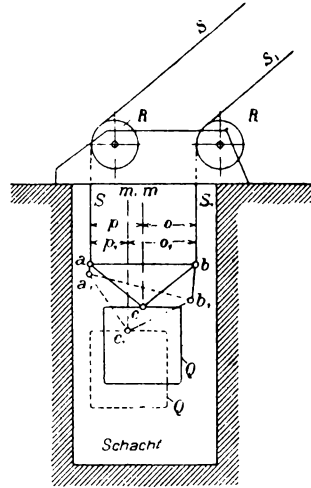
Рис. 66. Веттергорнский подъем.

Устройство натяжного механизма, исполненного по проекту Фельдмана, основано на следующем принципе (черт. 67). Канаты прикреплены к коромыслу abc , при чем в точке c подвешен груз. В случае необычного удлинения одного из канатов, скажем S_1 , коромысло примет положение $a_1 b_1 c_1$.

Вследствие этого, ось противовеса, как это видно из рисунка, передвинется по направлению к a . Но при таком перемещении груза, канат S_1 разгружается, а S будет, наоборот, перегружен, и таким образом условия равновесия восстанавливаются.

Диаметр статических канатов, сомкнутой системы—49,4 мм. Разрывное усилие каната—154,3 тонны; наибольшая нагрузка (натяжение)—13,8 тн. Отсюда коэффициент безопасности $m = 154,3 / 13,8 = 11$. Телединамические (тяговые) канаты имеют толщину 29 мм. Коэффициент безопасности их, по расчету, составляет 17,5.

Прикрепление их к вагонам не представляет каких-либо особенностей: ходовая тележка заканчивается особой, горизонтальной уравнительной балкой, с которой, по концам ее, и соединены ведущие канаты. Укрепление путевых канатов на верхней станции потребовало довольно сложных конструкций, так как нужно было создать такое эластичное соединение, при котором была бы исключена возможность перегиба кабеля. Это достигнуто таким образом (черт. 68, 69, 70): цилиндрический прилив a закреплен неподвижно двумя болтами b , помещенными в горизонтальной балке,



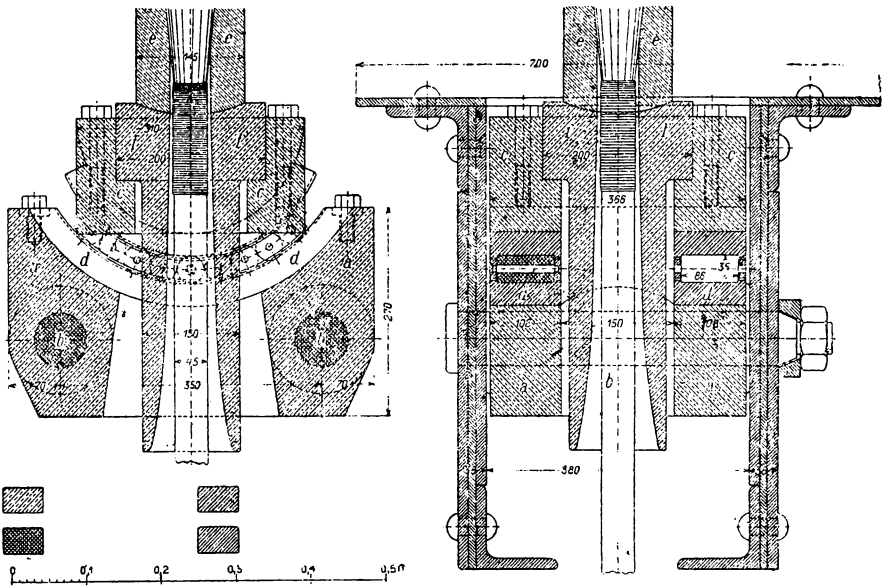
Черт. 67.

которая поддерживается тремя консолями A , B и C (эти болты видны на чертеже 69 с левой стороны). Верхняя часть упомянутого прилива обделана цилиндрической поверхностью, на которой помещены дугообразные вкладыши d , поддерживающие два ряда роликов. По этим роликам может перемещаться соединенный с канатной муфтой f приток c , который снизу также ограничен дуговидным вкладышем. Все части этого приспособления изготовлены из стали различных сортов. Подобное устройство позволяет канату принимать,—в пределах изменения угла наклона, в зависимости от изменения нагрузки и местонахождения вагона,—любое положение в вертикальной плоскости, проходящей через оба путевых каната каждой пары. Такими подвесными снарядами снабжены все 4 статических каната.

Для устройства верхней станции, в скале были заделаны бетонные массивы, в которых укреплены затем, мощными анкерными болтами, жесткие консоли A , B и C , поддерживающие горизонтальные балки, на концах которых закреплены упомянутые выше болты b подвесных приспособлений. Для

каждой, расположенной в расстоянии 8 м. друг от друга, пары поддерживающих канатов имеется отдельная группа консолей. Они опираются на вращающиеся болты подшипников и соединены в прочную неизменяемую систему поперечными связями, раскосами и половыми балками расположенного на верху машинного зала.

Группы консолей поддерживают железный ростверк, на котором установлены: электродвигатель, приводной механизм и канатные шкивы. Расположение частей видно на плане (черт. 70). В отличие от других канатных дорог, здесь нави-

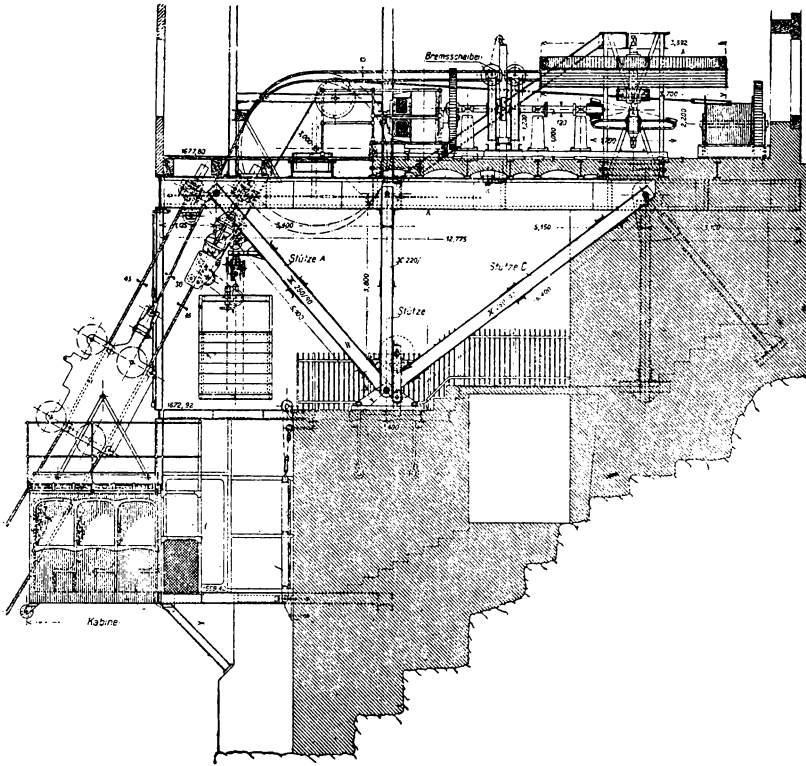


Черт. 68.

ваются на канатные шкивы не один, а два тяговых каната. Поэтому, из опасения, чтобы неравномерное навивание не вызвало кособокое положение вагонного уравнительного балансира, каждому из шести ручьев приводных шкивов была придана возможно правильная геометрическая форма. Благодаря этому, разница в длине сматывающихся частей ничтожна. Кроме того, вагонные тележки снабжены, как сказано выше, особыми уравнительными балками (коромыслами), которые автоматически регулируют натяжение канатов, подобно тому, как это имеет место в натяжном приспособлении, устроенном для путевых канатов на нижней станции.

Тяговые канаты проходят от вагона I по наклонно установленным отклоняющим роликам, вступают на первый горизонтальный приводной шкив, переходят затем на второй,

вторично обходят оба шкива, и через отклоняющие катки направляются к вагону II. Каждый приводной шкив снабжен зубчатым ободом. Между этими двумя приводными колесами находится, в одной плоскости с их осями, третья ось, на которой насажены сцепленные с зубчатыми ободами две шестерни, а внизу — коническое зубчатое колесо, большего



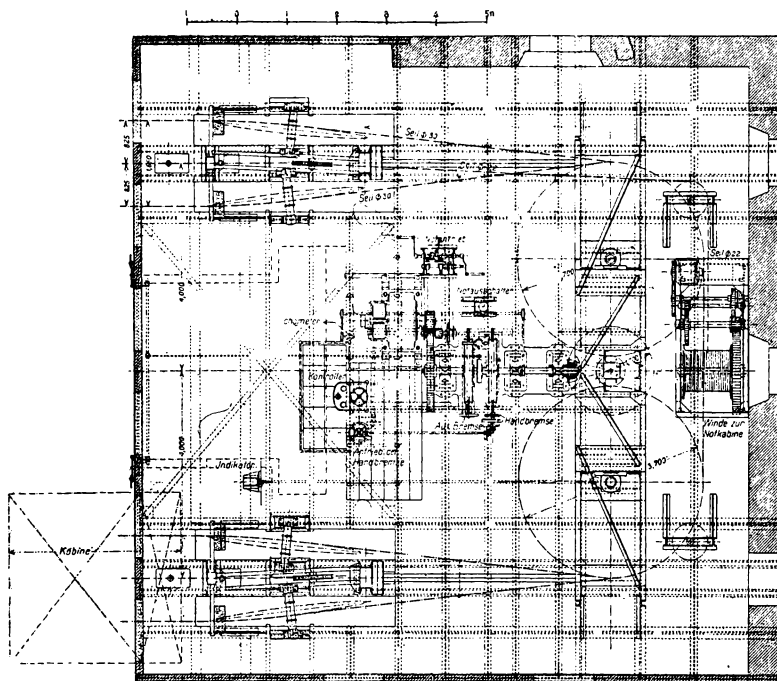
Черт. 69.

размера. Это последнее находится в зацеплении с шестерней, закрепленной на вале электромотора вместе с тормозными шкивами ручного и автоматического тормозов.

Ручной тормоз предназначен только для закрепления остановки движения ворота. Он не употребляется во время пути, так как электромотор с ответвлением, применяемый на нашей дороге в качестве механического двигателя, сам действует в качестве тормоза, когда во время движения никакой работы не расходуется, а наоборот, работа получается (аккумулируется) от действия силы тяжести спускающегося груза. Автоматический тормоз, который имеет целью остановить движущий механизм в случае чрезмерной скорости,

при порче мотора или если машинист опоздает остановить вагон при подходе к верхней станции, также основан на известном свойстве шёнт-моторов—тормозить поезд, работая в качестве генераторной машины при следовании поезда под уклон. Тормоз этот может быть приведен в действие и машинистом. Максимальный выключатель, при высоком напряжении тока, выключает его и включает тормоз.

Вагоны дороги имеют форму укороченных классных



Черт. 70.

железнодорожных вагонов средних размеров. Вес вагона и тележки—4100 кгр. Вместимость—16 человек.

Нам остается еще коснуться устройства вагонных тормозов и принятых на дороге мер предупреждения несчастных случаев при внезапной остановке экипажа.

При крутизне дороги в 200‰, сила сцепления гладких колес с постоянно смазываемыми канатами была признана недостаточной, и потому вагонные тормоза основаны на силе упругости стальных пружин. При разрыве тягового кабеля, путевые канаты, под действием спиральной пружины, зажимаются тормозными колодками в виде клиньев, а затем, при

действии двух других плоских рессор, тормозные колодки-клинья задерживаются в продольном направлении ¹⁾).

Электрическая установка в Гриндельвальде доставляет требуемую для воздушной дороги энергию в форме однофазного переменного тока в 2400 V трансформируемого в постоянный ток напряжением в 800 вольтов. На линии имеется аккумуляторная батарея, которая запасает энергию на 25 поездов.

Предохранительные приспособления на случай прекращения подачи электрической энергии заключаются в следующем. На верхней станции имеется особый механизм, при помощи которого можно приводить в движение подъемный ворот ручным способом и, следовательно, вагоны могут быть доставлены на станции машинистом и служащими. Если же вагон, вследствие порчи тормоза, не было бы никакой возможности сдвинуть с места, то на этот случай на верхней площадке устроен особый ворот с двумя кабинами, вместимостью на 4 человека. С помощью этого ворота, спускаемого ручным способом или действием небольшого 8-сильного мотора однофазного тока, путешественники могут быть доставлены на станции.

Для полноты настоящего описания приводим ниже главнейшие данные по устройству двух других, открытых в 1912, европейских воздушных дорог для перевозки туристов: Лана—Вигильох (близ Мерана) и Колерерской (близ Боцена), а также и находившейся в постройке в 1925 году линии на Цугшпитце.

Линия Лана—Вигильох построена по системе Черетти и Танфани, т.-е. с применением пяти канатов: путевого, тягового, направляющего, балластного и тормозного. Длина линии—2210 м. Высота подъема—1153 м. Средний уклон—620‰. Линия разделена на два самостоятельно эксплуатируемых участка, между которыми находится пересадочная станция. Канатные шкивы приводятся в движение электродвигателями постоянного тока. Имеется аккумуляторная батарея. Путевой кабель поддерживается 39 опорами, высотой до 31 м. Как приводной механизм, так и вагоны оборудованы надлежащими самодействующими и ручными тормозами ²⁾).

Колерерская дорога. Путь состоит из помещенных рядом двух статических канатов и соответственно расположенных двух тяговых. Кроме того, вагоны соединены, с задней стороны, балластным канатом. Длина линии—1400 м. Высота подъема—840 м. Вагоны рассчитаны на 16 человек;

¹⁾ Чертежи этого остроумного тормозного снаряда и подробное описание его действия помещены в статье «Der Wetterhornaufzug. I Sektion» (Schweizerische Bauzeitung 1908. Bd. 52, S. 311), из которой мы заимствуем приведенное выше описание устройства этого смелого сооружения.

²⁾ Schweizerische Bauzeitung. 1912, Bd. LX, № 11.

прикреплены к двум четырехколесным скатам мощными подвесками и снабжены надежными пружинными тормозами с двойными зажимными приспособлениями. На верхней станции имеется ручной и автоматический тормоза. Дорога эксплуатируется двигателями постоянного тока с ответвлением. Имеется аккумуляторная батарея ¹⁾.

Линия Цугшпитце (на границе Баварии и Тироля). Длина дороги—3380 м. Высота подъема—около 1740 м. Кроме путевых, тягового и уравнильного каната, предполагается уложить еще особый—вспомогательный канат. Толщина путевых канатов—48 мм. Наибольший пролет между опорами—1100 м. Движущий механизм (электромотор) помещается на нижней станции. Дорога будет оборудована всеми новейшими тормозными приспособлениями. Намеченная скорость движения— $3\frac{1}{2}$ м. в секунду. Вместимость вагона—20 человек ²⁾.

¹⁾ H. Wettich. Seil-Schwebbahn nach Kohlern bei Bozen. Organ für die Fortschritte d. E.—W. 1913, S. 341.

²⁾ Fördertechnik und Frachtverkehr. 1925. Heft 7.

Глава V

Зубчатые дороги.

Исторический обзор. Развиваемая паровозом при движении поезда сцепная сила тяги должна, как известно, находиться в определенном соотношении с давлением ведущих колес локомотива на рельсы, а следовательно, и с сопротивлением рельсового пути. Тревизик, проектируя свой „tram-waggon“¹⁾, с которым он совершил свою историческую поездку с заводов Мёртир-Тайдвиль в Кардифф, не мог, за неимением опытных данных, принять в расчет этого важного фактора. Слабый путь не выдержал тяжести двигателя и толчков на стыках, чугунные рельсы ломались, и владельцы дороги решили дальнейшие опыты перевозки по ней грузов при помощи паровоза прекратить. Построенный Тревизиком второй паровоз, для деревянноколейной дороги на Вайламовских копиях в Ньюкестле, был значительно легче. Как и следовало ожидать, сцепление колес нового двигателя с рельсами оказалось недостаточным для тяги тяжелых угольных поездов.

По какому-то странному недоразумению, основанному, может быть, на предположении о невозможности ожидать в близком будущем изготовления более прочных рельсов²⁾, конструкторы паровозов пришли к выводу, что одной силы сцепления гладких ведущих колес локомотива с рельсами.— как это имел в виду Тревизик,— вообще недостаточно. Все дальнейшие их работы были направлены, поэтому, к изысканию искусственных мер для увеличения скользящего трения колес, пока ряд простых опытов, произведенных владельцем Вайламовских копей Блакетом, не убедили, что при соединении между собой известного числа осей вес паровоза вполне достаточен для проявления необходимой силы сцепления. Построенный в 1813 году новый паровой двигатель работал на этой дороге, подобно машине Тревизика, исключительно силой сцепления гладких колес.

¹⁾ Термин «локомотив» встречается в литературе лишь с 1815 года.

²⁾ Прокатные железные рельсы, имеющие в поперечном сечении форму стержня с грибовидной головкой, появляются лишь в начале двадцатых годов XIX столетия.

Среди патентов этой переходной эпохи, представляющей одну из интереснейших страниц в истории изобретений (патенты Чепмана, Брентона, Кука и др.), заслуживает внимания зубчатоколесная система Бленкинсопа, примененная изобретателем в 1812 году для постройки угольной дороги Миддлтон—Лидс, протяжением в 5,6 км. Эта первая зубчатая дорога на земном шаре имела предельный уклон в 66⁰/₁₀₀. Одна линия чугунных рельсов была снабжена с внешней стороны продольным приливом в виде бруска с полукруглыми выступами и впадинами, которые, при движении соответствующим образом спроектированного паровоза, сцепляются с насаженным на среднюю его ось, *сбоку*, ведущим зубчатым колесом.

С началом изготовления железных рельсов и укладки их на железных дорогах, окончательно выяснилось, что при трассировке линии с уклонами не выше 0,025 сцепление колес с рельсами вполне достаточно для получения необходимой тяговой силы значительно усовершенствованного к тому времени Стефенсоном локомотива. Поэтому все проекты искусственного увеличения сцепления, а в том числе и система Бленкинсопа были европейскими инженерами оставлены без дальнейшего движения. И лишь в шестидесятих годах прошлого века зубчатые дороги вновь выступают на сцену, но уже исключительно в качестве горных линий...

В Соединенных Штатах Северной Америки вопрос о применении зубчатой полосы при проведении рельсовых путей получил несколько иное течение, что, впрочем, объясняется другими требованиями, которые были предъявлены к этой системе с самого начала. Владелец первого патента Римбер фон Римбертон (1831) поставил себе задачей снабдить локомотив таким приводным механизмом, который давал бы возможность работать на участках со слабыми уклонами простым сцеплением, а на крутых перегонах — двигаться при помощи кремальеры. Для выполнения этого плана, на ведущей оси локомотива находятся: пара гладких, насаженных на-глухо колес, пара гладких, свободно сидящих колес (внутренних), меньшего диаметра, и, наконец, ведущее зубчатое колесо, помещенное посередине. На крутых перегонах имеется вторая, внутренняя колея, несколько приподнятая, так что, когда паровоз вступает на нее (по наклонному пути), то гладкие ведущие колеса не касаются рельсов, а движение происходит помощью зацепления между зубчатым колесом и кремальерой, расположенной по середине пути. Проект Римбера, не получивший практического применения, представляет, таким образом, первую идею зубчатоколесной дороги *смешанного* типа.

В 1845 г. некто Хойт, несколько видоизменив систему Бленкинсопа, предложил ввести ее на построенной в 1837 году железной дороге Медисон-Индианополис, длиною около 140 км. Система эта обладала тем же техническим дефектом (поме-

щением зубчатки сбоку), как и система Бленкинсона и потому не была принята.

В следующем году начальник тяги названной дороги Каскарт выступил с более совершенным проектом зубчатоколесного паровоза. Схема общего устройства заключается в укладке зубчатки по середине между путевыми рельсами и на одном с ними уровне. Движение по зубчатому подъему происходит при посредстве четырех спаренных осей паровоза с гладкими колесами и особой, ведущей оси с зубчатым колесом, которая вращается независимым движущим механизмом. При подходе к участку без кремальеры, поддерживающие эту последнюю ось буксы, — посредством рычажного механизма, приводимого в действие особым (пятым) цилиндром, — приподнимаются.

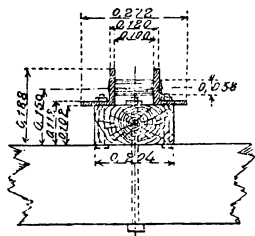
Система Каскарта оказалась вполне удовлетворительной и функционировала на дороге до 1868 г., когда по всей линии были введены локомотивы нормального типа.

Управление линии Медисон имело в виду использовать зубчатоколесную тягу, главным образом, для усиления провозоспособности дороги, так как величина наибольшего подъема, 59⁰/₀₀, не препятствовала эксплуатации дороги обыкновенными паровозами большой мощности. Строители следующей американской дороги с кремальерой поставили себе другую проблему: воспользоваться зубчатым зацеплением для устройства рельсового сообщения с отдельно стоящими вершинами. Инициатор подобной идеи и составитель проекта, Сильвестр Марш, из Чикаго, возбудил ходатайство о проведении зубчатой дороги его системы на гору Вашингтон, в штате Нью-Гемпшир. После рассмотрения проекта в соответствующих инстанциях, получения надлежащего разрешения и обеспечения предприятия с финансовой стороны, было приступлено, в 1866 году, к работам. Через три года дорога была окончена и движение по ней открыто.

Протяжение линии	4,536 км.
Возвышение конечной станции над ур. м.	1909,5 м.
Высота подъема (разность высот конечных пунктов)	1093 м.
Предельный уклон	377 ⁰ / ₀₀ .
Ширина колеи	1,411 м.

Опуская подробности разработки проекта постройки дороги на Маунт-Вашингтон, идея которой возникла еще в 1837 году, мы ограничимся только указанием главнейших конструктивных частей этой старейшей горной дороги с зубчатой полосой. Путь состоит из двух рядов рельсов и помещенной между ними зубчатки, поддерживаемых тремя рядами продольных лежней. Последние, в свою очередь, укреплены на поперечных брусках. Зубчатка образована из двух уголков; вертикальные полки их соединены вклепанными в них цилиндри-

чекскими цевками (черт. 71). Такого рода зубчатка-лестница весила 32,72 кгр. на пог. м. Первый построенный для дороги паровоз, весом в 4 тн., представлял из себя поддерживаемую двумя осями раму, на которой был поставлен вертикальный, свободно подвешенный в цапфах, котел. Простая воронка



Черт. 71.

исполняла обязанности инжектора. Поршни горизонтальных цилиндров передавали давление пара на вспомогательный вал, который, посредством двойной зубчатой передачи, приводил в действие ведущее зубчатое колесо. Во избежание схода локомотива с рельсов, он был снабжен небольшими роликами, которые катались по свешивающимся горизонтальным полкам кремальеры.

Примитивная конструкция паровоза и его слабая паропроизводительность вскоре же обратили на себя внимание собственников дороги. Следующий локомотив, сохранив прежнюю форму котла и тягового механизма, обладал большей емкостью котла, питательным насосом; был снабжен тендером и, что особенно важно, воздушным тормозом или, точнее, регулятором движения, для уменьшения скорости хода его при следовании под уклоном. Идея этого снаряда, который впоследствии стал неотъемлемой принадлежностью зубчатоколесных паровозов, заключается в том, что при движении локомотива вниз регулятор закрывается, а золотниковая коробка, посредством особой, снабженной краном, трубы, соединяется с атмосферным воздухом. Нетрудно себе представить, что если, при движении паровоза вниз, рычаг перемены хода будет поставлен на передний ход, то поршни цилиндров начнут всасывать воздух, который, при движении их в обратную сторону, не имея выхода, будет сжиматься и умерять ход спускающего поезда. Для выпуска сжатого воздуха при регуляторе имеется особый кран; увеличивая или уменьшая его отверстие, машинист может придать поезду желаемую скорость.

Несмотря на то, что в начале железнодорожной эры зубчатые дороги, как мы видели, нашли себе гораздо больше сторонников в Новом Свете, чем на европейском материке, и в техническом отношении конструкция их достигла известной степени совершенства, дальнейшая деятельность американских техников по части постройки зубчатых путей прекращается. После сооружения линии Вашингтон открыта только одна линия Грин-Маунтис, в Северной Атлантической области (1883).

В то время, как по ту сторону океана польза кремальеры для движения по крутым подъемам была оценена вскоре же после сооружения первых рельсовых путей, в Европе зубча-

тая система долгое время оставалась в совершенном забвении. Только через пятьдесят слишком лет после открытия линии Миддлтон-Лидс швейцарский техник Риггенбах вновь возбудил общественное внимание к железным дорогам с зубчатой штангой.

Крайние затруднения, встречаемые при тяге поездов на тоннельном участке Ольтен-Лейфельфинген Центральной дороги, — где Риггенбах был начальником тяги, — подали ему мысль применить для эксплуатации этого участка кремальеру. Разработав детали новой конструкции, Риггенбах представил ее французскому правительству на предмет выдачи ему патента „на новую систему пути и локомотива, предназначенных для перехода через горы“. Результатом этого ходатайства было получение привилегии на два вида зубчатки и на два типа танковых паровоза (один для тяги исключительно по зубчатому рельсу, другой — смешанной системы). Патентованные кремальеры несколько отличались от зубчатки линии Маунт-Вашингтон по форме и способу укреплению зубьев, а паровозы напоминали, в общих чертах, обыкновенные шестиколесные паровозы того времени (с горизонтальным котлом).

Убежденный сторонник целесообразности предложенного им способа передвижения, Риггенбах, несмотря на все старания, не мог найти предпринимателей для постройки опытного участка. И только после целого ряда неудач Риггенбаху удалось склонить общественное мнение к постройке зубчатой дороги на одну из вершин, падающей зеленеющими террасами к берегам Фирвальдштеттерского озера, горной группы Риги, — с ее превосходными прогулками, пастбищами и широко раскинувшейся панорамой лесистых холмов, озер и снежной цепи Бернских Альп.

К работам было приступлено осенью 1869 г. Линия от Фитцнау до Штаффеля окончена в 1871 г. Через два года был открыт верхний участок до Риги—Кульма. Длина линии Фитцнау—Риги—7 км.; предельный уклон—250‰. Наименьший радиус закруглений—180 м. Дорога на всем протяжении уложена зубчатой штангой. Фотографический снимок 72 изображает часть линии при переходе ущелья Шнуртобель металлическим виадуком длиною в 76 м. ¹⁾

Следует, однако, отметить, что строители линии Фитцнау—Риги (Риггенбах в сообществе с инженерами Неффом и

¹⁾ Линия Риги, в хронологическом порядке, является второй дорогой, построенной по системе Риггенбаха, так как еще в 1870 г. он построил небольшой под'ездной путь близ Остермундигена, в каменоломнях. Длина линии—1520 м. Средний участок, более крутой, снабжен зубчаткой. Крайние перегоны представляют обыкновенные рельсовые пути. Линия эксплуатировалась в первое время зубчатоколесным паровозом, оборудованным особым приспособлением для передачи (при подходе к гладкому участку) тяговой силы от ведущей оси с зубчатым колесом на одну из поддерживающих осей.

Шокке) не воспользовались патентами Риггенбаха, а признали более осторожным применить в главных чертах конструкции, освященные опытом линии в Нью-Гемпшире, со следующими, однако, улучшениями.

По предложению профессора Кульмана было принято зацепление по развертке круга. Согласно требованиям теории, цевки зубчатки получили поэтому в поперечном сечении

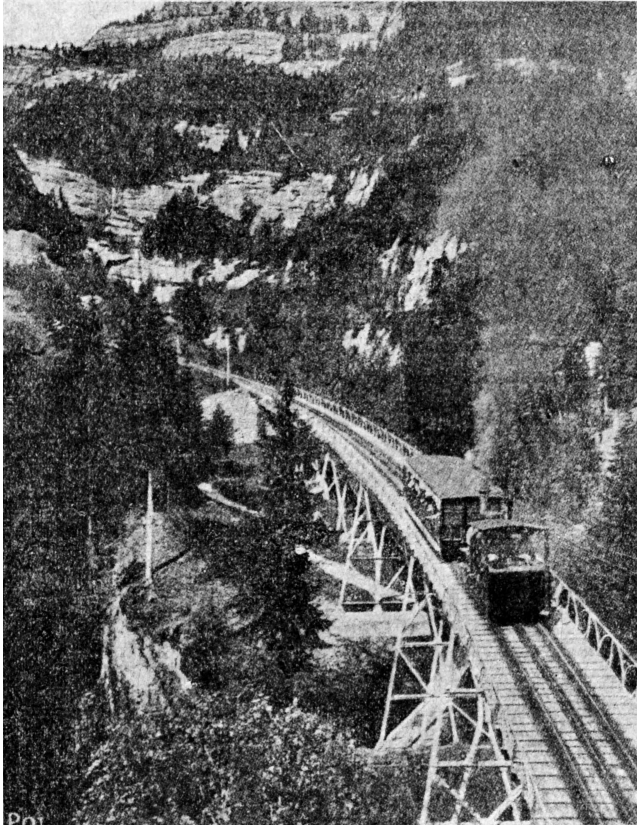
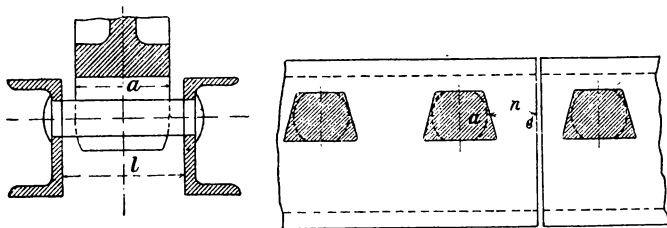


Рис. 72.

форму трапеции (черт. 73), а профиль зубцов колес был очерчен по развернутой дуге круга. Лучшим доказательством правильности решения этой важной задачи служит тот факт, что кремальера, пролежав в пути 25 лет, обнаружила самый ничтожный износ зубцов. Вес зубчатки—52,8 кгр. на пог. м. Паровозный котел был укреплен неподвижно; передаточная ось снабжена двумя симметрично расположенными зубчатыми колесами, которые сцеплены с шестернями задней ведущей

оси — в промежутке между гладкими колесами и средним зубчатым (черт. 74). На поддерживающую ось, помещенную впереди котла, насажено также пять колес: обыкновенные (с гладкими бандажами), зубчатое (для торможения) и, в промежутке между ними, тормозные шкивы. Для обычной остановки поезда служит винтовой тормоз с колодками, нажимающими на шкив передаточной оси. Другой фрикционный тормоз (у переднего полуската) предназначен только на случай по-



Черт. 73.

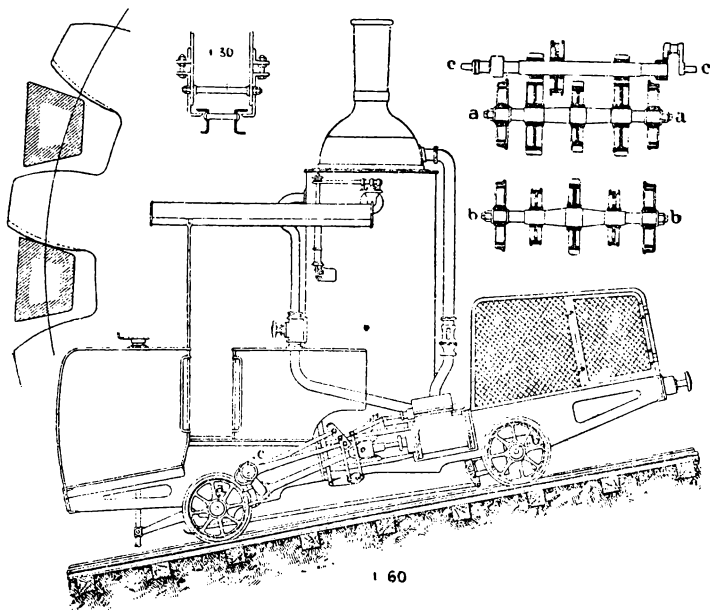
вреждений машины в пути, требующих немедленной остановки. Для спуска поездов существует воздушный тормоз, устройство которого уже было нами рассмотрено выше. Для предотвращения схода паровоза с пути устроены особого рода захваты (якорь), помещенные под верхними горизонтальными полками кремальеры. Путевое строение и искусственные сооружения далеко оставляют, по прочности и солидности, типы, принятые на линии Маунт—Вашингтон ¹⁾.

Результаты эксплуатации первого участка дороги, до Штаффеля, превзошли все ожидания. Одновременно с постройкой верхней части линии, до Кульма, проводится второй путь на перегоне Фрейберген—Кальтбад; в 1874 году открывается вторая дорога, Арт—Риги, соединяющая вершину горы с бере-

¹⁾ Тот факт, что при постройке линии Риги, как зубчатка, так и паровоз сохранили в основе форму, принятую на дороге Маунт—Вашингтон, дали повод к обвинению швейцарских инженеров в том, что при сооружении линии Фитцнау — Риги они «воспроизвели дорогу Маунт—Вашингтон при условиях, почти тождественных» (Куш). Вопрос этот в свое время был подвергнут всестороннему расследованию, как во французской, так и в немецкой технической литературе. При этом французские инженеры, в лице Малле (Mallet), доказали, со ссылкой на целый ряд документальных данных, независимость изобретения Риггенбаха от проекта Марша. «Французская академия, — говорит Малле, — присудив Риггенбаху, в 1885 году, Монтнионовскую премию за хорошее расположение частей кремальеры и за употребление воздуха с присоединением воды, который служит в качестве противупара при спуске, этим актом формально удостоверило самостоятельность изобретения». (Revue générale des Ch. de fer. 1888). Подробности по этому предмету, а также описание дороги Фитцнау—Риги и других линий системы Риггенбаха, с чертежами, можно найти в статье инженера К. Коковцова «Памяти Риггенбаха» (Журнал Мин. п. с. за 1900 г., книжка 1).

гом Цугского озера. Обе дороги имеют нормальную ширину колеи в 1,435 м. Пассажирские вагоны нормального типа. Паровоз помещается в хвосте поезда и не сцепляется с вагонами.

Вертикальный котел первых паровозов Фитцнау—Риги обнаружил скоро ряд недостатков (незначительную поверхность нагрева, неудовлетворительную утилизацию горючего, неравномерное распределение нагрузки на оси). Обстоятельство это побудило строителей линии Арт—Риги остановиться для



Черт. 74.

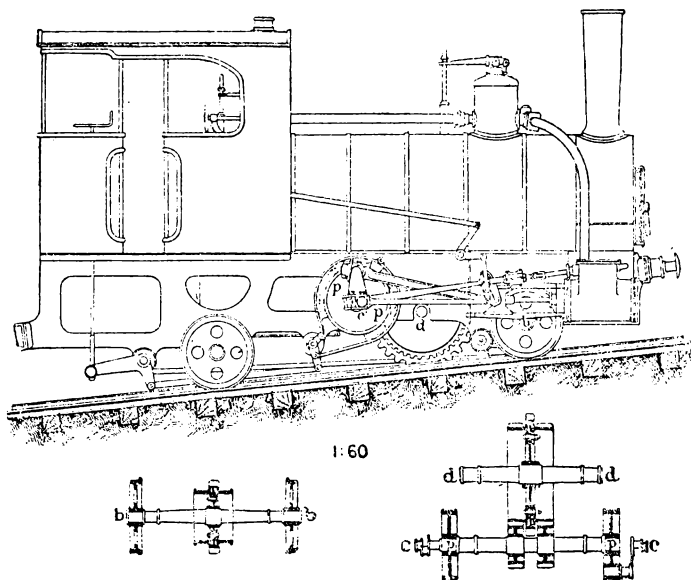
горного участка на типе паровозов с горизонтальным котлом ¹⁾. Затем, было несколько изменено устройство ходовых частей; ведущее зубчатое колесо укреплено на отдельной, третьей (средней) оси, которая приводится в движение непосредственно вспомогательным валом (черт. 75). При такой конструкции, зубчатое колесо можно было сделать гораздо больше, что увеличивало плавность хода.

Вполне заслуженный успех постройки дороги Фитцнау—Риги послужил сигналом к сооружению зубчатых дорог и в других местностях. В период 1874—1880 г.г. открывается в центральной Европе еще семь дорог. Две из них—*чистой*

¹⁾ Линия Арт—Риги, дл. 11,3 км., состоит из равнинного участка, Арт—Гольдау (2,7 км.) и горного участка (8,6 км.), уложенного зубчаткой. В 1907 году дорога перешла на электрическую тягу.

системы, т.-е. были сплошь уложены кремальерой, а пять дорог—*смешанного типа*; из них четыре построены для промышленных целей. Конструкция паровоза линии Остермундиген требовала, для перемены хода, остановки машины при подходе к участку с кремальерой. В видах устранения этого неудобства, паровозы следующих смешанных дорог получили иное устройство: вспомогательный вал приводит в движение среднюю ось (на которое насажено лишь одно ведущее зубчатое колесо), а последняя сцеплена с двумя другими осями.

Постройка упомянутых выше дорог была произведена с такой поспешностью, что предприниматели не имели возможности отдать себе ясный отчет в степени выгодности со-



Черт. 75.

оружения дороги в зависимости от размера ожидаемого движения. Когда же, по окончании первого отчетного года, выяснилось, что линии Арт—Риги и Роршах—Хейден дали ничтожный доход, наступила реакция, которая, в связи с угнетенным состоянием денежного рынка после Франко-Прусской войны, вызвала приостановку в проведении новых горных дорог в Швейцарии на довольно продолжительное время. Организованное ранее швейцарское „Международное Общество для сооружения горных дорог“ распалось. Но в других странах, которые нуждались в дешевых и удобных средствах передвижения в гористых местностях, и не испытывали особых финансовых затруднений, постройка зубчатоколесных линий, преимущественно для передвижения туристов, продол-

жается довольно интенсивно. За период 1880—1885 г.г. включительно строятся дороги: Драхенфельсская на Рейне и еще пять дорог на континенте Европы и две дороги в Бразилии. Все эти линии построены под общим наблюдением Риггенбаха, устроившего в Ольтене небольшое техническое бюро, которое занималось, по предложениям частных лиц и Обществ, составлением проектов и разработкой отдельных частей путевого строения и подвижного состава зубчатых дорог.

Общее протяжение открытых до 1885 года дорог системы Риггенбаха равно 71,2 км; из них на долю чисто-зубчатых дорог падает 41 км. Дороги, сооруженные до 1879 года (около 37 км.) имеют нормальную ширину колеи в 1.435 м. Остальные применили метровую колею, а две линии даже ширину в 850 и 790 мм. Предельные под'емы не превышают 250⁰/₀₀, за исключением линии Корковадо в Бразилии, на которой они доходят до 300⁰/₀₀. По крутизне под'ема дорога эта до последнего времени считается единственной среди зубчатых дорог нормального типа, т. е. *с зацеплением в вертикальной плоскости*.

Все упомянутые дороги, в большинстве случаев, устраивались для увеселительных поездок (т. н. Vergnügungsbahnen) или для облегчения доступа к горным климатическим станциям; все они имеют небольшую длину; вопрос о скорости движения имел здесь второстепенное значение, тем более, что и зубчатоколесные локомотивы того времени не могли развивать на под'емах в 200—250⁰/₀₀ скорость свыше 10 км. в час.

В начале восьмидесятых годов пр. в., когда дороги Риггенбаха распространились далеко за пределы Швейцарского Союза, явилось желание расширить применение искусственного сцепления и воспользоваться зубчатой полосой для сооружения второстепенных железных дорог в таких местностях, где очертание рельефа земной коры допускает провести, без больших затрат, обыкновенную паровозную дорогу *не на всем протяжении* намеченной линии, а только на некоторых перегонах, остальная же часть пути должна эксплуатироваться искусственным сцеплением. Решение этого вопроса было связано с изменением конструкции паровозов, так как машины Риггенбаха—при *одном* тяговом механизме—не допускают на равнинных участках развития желаемой скорости, вследствие значительных внутренних сопротивлений и малого диаметра гладких колес. Затем, увеличение скорости могло также вызвать опасные напряжения в певочной зубчатке, которая исключительно укладывалась до 1885 г. В силу этого, для правильного решения намеченной задачи являлось необходимым: спроектировать, с одной стороны, кремальеру такой формы, которая допускала бы более скорый и плавный ход и, затем, построить такой локомотив, который развивал бы на горном участке гораздо большую мощность, чем на равнинном.

Оба эти условия выполнены в системе зубчатых дорог, предложенной в 1882 году инженером Абтом, учеником Риггенбаха и его сотрудником по изготовлению подвижного состава для вновь строящихся зубчатых дорог на принадлежавшем „Международному Обществу“ механическом заводе в Аарау. Сущность способа Абта сводится, с одной стороны, к укладке, взамен зубчатки-лестницы, ступенчатого зубчатого рельса типа изобретателя (см. черт. 31), а с другой—в устройстве паровоза с двумя отдельными тяговыми механизмами.

Зубчатка Абта состоит из двух или трех рядов брусков с вырезанными в них зубцами, при чем бруски эти расположены друг возле друга таким образом, что впадина одного зубца приходится против зубца или части его в соседней рейке (скрещенные зубцы). Соответственно такому устройству кремальеры, и ведущие зубчатые паровозные колеса состоят, каждое, из двух или трех поставленных рядом зубчатых дисков, *сдвинутых* один против другого на половину или на треть шага. Естественно, что когда такой локомотив придет в движение, то на длину шага будет приходиться не одно зацепление, как в зубчатке Риггенбаха, а два (при двух рейках) или три (при трех). Вследствие этого, паровоз получает более плавный ход и может идти с большей скоростью. Вес зубчатки Абта нормального типа—35 кг. на пог. м.

Спроектированный Абтом паровоз обладает двумя отдельными движущими механизмами: одним—для тяги по гладким рельсам, другим—для следования по зубчатому подъему. С этой целью машина паровоза снабжена двумя парами цилиндров; наружная пара действует на три спаренных оси с гладкими колесами, а поршневые штоки двух других цилиндров, находящихся внутри рамы, вращают, с помощью балансира, две оси, несущие зубчатые колеса. Эти оси помещены в особой раме, подвешенной к крайним осям (с гладкими колесами), благодаря чему колебания рессор не влияют на положение ведущих колес, а, следовательно, и на правильность передачи усилия. При движении паровоза, механизм, приводящий в действие гладкие колеса, находится постоянно в работе, а внутренние паровые цилиндры, вращающие зубчатые оси, начинают функционировать только тогда, когда паровоз вступает на зубчатый подъем. Указанные конструктивные изменения дали возможность довести скорость движения на перегонах с зубчатыми рельсами до 12, а на участках с обыкновенными рельсами—до 30 км. в час.

Первый опыт применения новой системы был сделан на линии Бланкенбург—Танне, в Гарце, открытой в 1885 году. Длина дороги—30,5 км.; наибольший уклон—60‰. Гарцская дорога представляет, таким образом, первое звено следующего, второго периода развития зубчатоколесных дорог—периода

постройки их в качестве второстепенных железных дорог нормального типа.

Параллельно с зубчаткой Абта, продолжали также пользоваться, при дальнейшем сооружении дорог второго периода, и старой кремальерой Риггенбаха, которую многие техники предпочитали, в виду ее прочности (в первые 20—25 лет своего существования она была уложена на 34 дорогах). Что же касается локомотивов, то чисто-зубчатые дороги переходят к более мощному типу с двумя ведущими и одной поддерживающей осью, что объясняется сравнительно малым весом локомотивов при ширине колеи в 80 см. и 1 м., которые были приняты почти во всех странах; а некоторые линии смешанного типа ввели у себя паровозы с тремя спаренными осями, при ведущем зубчатом колесе на средней оси. Из числа дорог, открытых в период 1885—1890 г.г., наиболее интересны в техническом отношении линии: Брюнигская (Швейцария), длиною 16 км., Паданг (о. Суматра), длиною в 94 км., Фисп—Цермат (Швейцария), протяжением в 35 км. и, достигающая высоты 4303 м. над ур. м., линия Пайкс—Пик (штат Колорадо в Сев. Америке), длиною в 14 км.

К началу второго периода относится также появление зубчатой штанги Биссингера и Клозе (несколько видоизмененная кремальера Риггенбаха). Зубчатка этого типа, получившая еще дальнейшие изменения, нашла себе применение на линии Хёлленталь в Бадене и на двух дорогах в Вюртемберге.

Начиная с 1890 г., ступенчатая зубчатка получает уже явное предпочтение, и в последующее десятилетие большая часть дорог строится по способу Абта. Из них обращают на себя внимание: дорога через Анды (Южная Америка), длиною в 75 км. и линия Бейрут—Дамаск, длиною в 146 км. Большей частью, дороги применяли двойную зубчатку и только три дороги отдали предпочтение зубчатке из трех реек. Одна из этих дорог, Пуэрто—Кабелло—Валенсия (Венесуэла) замечательна тем, что представляет единственный пример применения к локомотивам чисто-зубчатой системы принципа *двойного* движущего механизма.

В основу проектов рассмотренных нами дорог с средним зубчатым рельсом был, как мы видели, положен принцип сцепления зубчатых колес с зубчатой рейкой в *вертикальной* плоскости. Определяемый теоретическим путем (исходя из условий равновесия действующих вдоль боковой грани зубца сил при торможении) предельный уклон для такого рода зубчатых дорог может быть принят, примерно, в 0,5 (т.-е. в 500‰)¹⁾.

¹⁾ Для линий, находящихся в условиях эксплуатации, тождественных с линией Фитцнау—Риги, наибольший уклон, i_{max} , по произведенному подсчету = 0,49 (К. Коковцов. Горные железные дороги Швейцарии особых систем. Т. II. Зубчатые дороги. С.-Петербург 1909, стр. 41).

В действительности, уклон на дорогах с вертикальным зацеплением не превосходит 250‰ и только на линии Корковадо повышается до 300‰. Многолетняя практика эксплуатации зубчатых дорог показала, что нормы эти установлены вполне рационально, и дальнейшее повышение их безусловно нежелательно, как в видах ограждения безопасности движения, так и во избежание понижения пропускной способности дорог. При таком ограничении предельного подъема, пользование системой вертикального зацепления,—условимся называть ее *нормальной* системой,—находится в тесной зависимости от конфигурации тех горных кражей, которые предполагается обвить рельсовой колеей. Между тем, некоторые горные группы и отдельные пики, например, Маттергорн, Адамелло, Пилат, по характеру своих изрезанных, падающих крутыми обрывами склонов, совершенно исключают возможность сооружения зубчатых дорог с нормальным зацеплением. Поэтому, когда явилась мысль облегчить восхождение на одну из вершин группы Пилата (на западном берегу озера Четырех Кантонов), с ее хаотически сдвинутыми, местами почти отвесно уходящими в высь известковыми массами, был на первую очередь выдвинут вопрос о возможности, тем или иным способом, увеличить предельный уклон рельсового пути, примерно, до 500‰. Поставленная дилемма была удачно разрешена цюрихскими техниками Лохером и Гуйер-Фрейлером, которые предложили заменить вертикальное зацепление—горизонтальным или, правильнее, зацеплением в плоскости параллельной линии полотна. Система эта была признана в технических кругах вполне удовлетворяющей условиям прочности и устойчивости и, после соответствующих поверочных расчетов, получила практическое осуществление при сооружении дороги на вершину Пилата. Оконченная постройкой в 1888 году линия Альпнахштадт—Пилатус-Кульм, длиною в 4,6 км. (3,3 км. по гор. напр.) с предельным уклоном в 480‰, представляет один из наиболее смелых и талантливо разработанных проектов Швейцарского инженерного гения. Дорога эксплуатируется паровозовагонами. Высота конечного пункта—2070 м. над ур. м. Тело дороги представляет сплошную каменную стену, покрытую слоем гравия и гранитными плитами. Мосты и путепроводы все из камня. На линии имеется шесть тоннелей. На рис. 76 представлен фотографический снимок верхнего участка этой, единственной в своем роде, горной дороги.

Познакомившись, в общих чертах, с развитием зубчатоколесных дорог эксплуатируемых паровой тягой, нам нужно теперь перейти к последней ступени эволюции рассматриваемой системы—к постройке дорог с применением для тяги экипажей энергии электрического тока (третий период).

Быстрое развитие, в конце прошлого столетия, сети уличных и пригородных электрических дорог в Америке и Запад-

ной Европе, не могло не отразиться и на постройке горных железных дорог местного пользования, тем более, что известные преимущества электрической тяги—малый мертвый груз локомотива, бóльший коэффициент сцепления, возможность пользования энергией по мере надобности и мощные тормоза,—выступают здесь еще резче, чем на линиях с пологими скатами. Затем, не следует забывать, что при сооружении

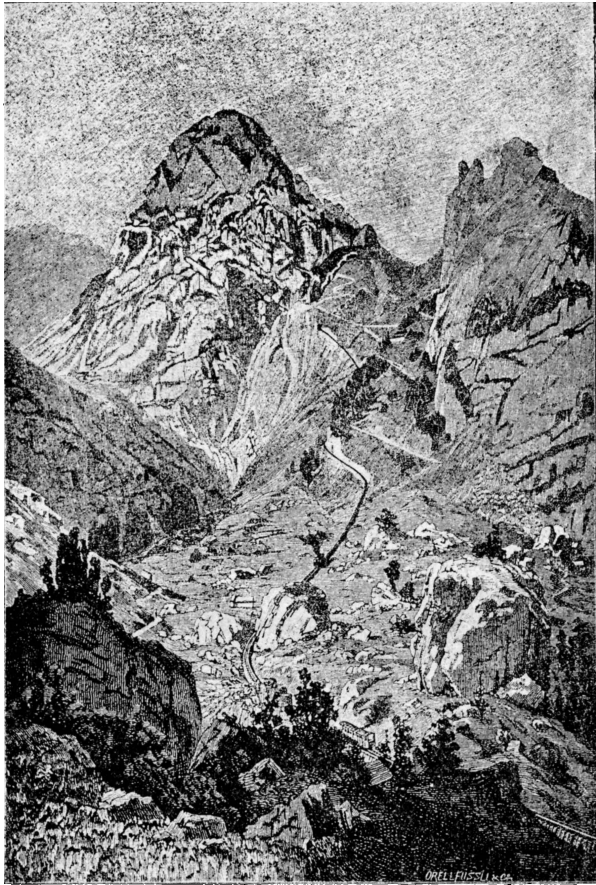


Рис. 76.

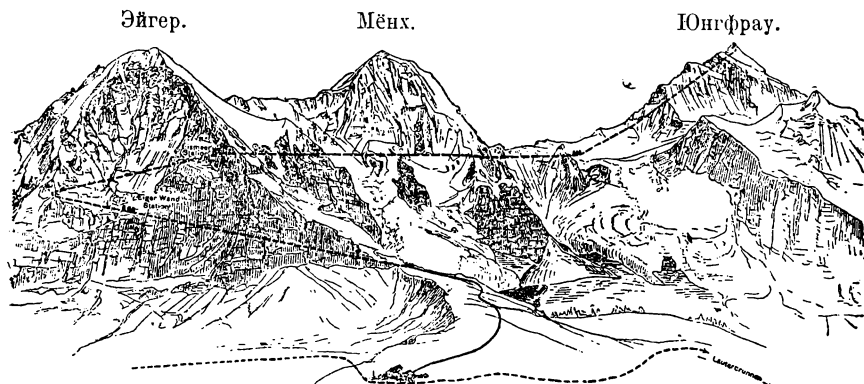
электрических дорог в местностях, изобилующих ключами и быстрыми водотоками, владельцы предприятия почти всегда обеспечены получением дешевой водяной силы. По этим соображениям, применение энергии электрического тока к зубчатым дорогам не заставило себя долго ждать. Почин в этом деле, как и в отношении сооружения горных канатных дорог, принадлежит Франции. В 1893 г. окончена постройкой линия

на гору Салев, близ Женевы. Общая длина—9100 м. Предельный уклон—250‰. Ширина колеи—1 м. Зубчатка Абта.

Следующая зубчатая электрическая дорога, Цермат—Горнерграт (Швейцария) достигает абсолютной высоты 3020 м. Открыта в 1898 г. Зубчатка Абта. Работает посредством двигателей вращающего тока.

Быстрые успехи тоннельной техники в связи с получением такого могущественного фактора, как энергия электрического тока, дали толчок и к постройке дороги на вершину Юнгфрау. Перспективное начертание продольного профиля этой линии представлено на черт. 77.

Первые проекты этой дороги относятся еще к 1889 году.



Черт. 77.

После целого ряда обсуждений наивыгоднейшего направления будущей линии, решено было, согласно проекту Гуйера-Целлера, вести дорогу от станции Шейдег линии Венгерн-альп, на юг, по направлению к массиву Эйгера. Здесь дорога вступает в тоннель и, пройдя около 10 км. подземной галлереей, достигает конечной точки, под вершиной горы, с отметкой в 4097 м. над ур. м. Отсюда путешественники должны будут доставляться на высшую точку, с отметкой в 4166 м., при помощи элеватора.

Столь необычные условия постройки дороги, как в отношении высоты под'ема,—далеко за пределы снеговой линии¹⁾, так и в отношении проведения большей части линий в тоннеле, побудили Швейцарское правительство, предварительно обсудения представленного Гуйером-Целлером проекта с технической стороны, обсудить вопрос, возможна ли, вообще, постройка и эксплуатация дороги на Юнгфрау без опасности для здоровья. Образованная для этой цели в 1890 г. Союзным Советом комиссия высказалась в том смысле, что эксплуатация дороги

¹⁾ Снеговая линия в Альпах пролегает на высоте 2700—2800 м. над уровнем моря.

до абсолютной высоты (т.-е. до высоты над ур. м.) в 3000 м. могла бы быть допущена беспрепятственно. Что же касается до продолжения дороги до вершины горы, то предварительно разрешения этого вопроса, соискатели концессии должны представить „доказательства в пользу безопасности поднятия на такую высоту“.

В виду этого, составитель окончательного проекта дороги, Гуйер-Целлер, в дополнение к ходатайству о выдаче концессии, представил, в 1894 г., целый ряд заключений специалистов: о влиянии на человеческий организм поднятия в сравнительно короткий промежуток времени на высоту 4000 м., о сущности т. н. горной болезни и о степени вероятности возникновения ее при поднятии на вершину Юнгфрау по рельсовому пути ¹⁾.

Не имея возможности входить в детали, мы можем только повторить вкратце наше заключение, высказанное в своем месте: а) если поднятие на вершину Юнгфрау и не представляет опасности для лиц, обладающих нормальным состоянием здоровья, то собранные врачами данные указывают, что даже незначительное мускульное напряжение может вызвать симптомы горной болезни ²⁾, и б) что, помимо недостаточного поглощения кислорода кровью, на появление горной болезни оказывают влияние индивидуальные особенности организма, состояние органов кровообращения, степень нервозности и т. п.

Союзный Совет не признал, однако, представленные соискателями концессии доводы в пользу разрешения постройки дороги до вершины Юнгфрау достаточно убедительными и, согласно § 8 выданной в декабре 1894 г. концессии, оставил за собой право одобрить детальные проекты для участков, расположенных выше станции Эйгер ($H = \infty 3200$ м.) „лишь тогда, когда будет доказано, что сооружение и эксплуатация дороги не повлечет за собой опасности в отношении жизни и здоровья людей“.

¹⁾ Das Projekt der Jungfraubahn wissenschaftlich, technisch und finanziell beleuchtet. Zürich 1896, I. Konzessions-Gesuch.

Собранные Гуйером-Целлером отзывы: известного воздухоплователя Спелтерини (совершившего 460 полетов), Швейцарского Альпийского клуба и специалистов-медиков,—французского профессора Реньяра и германского профессора Кронекера, представляют несомненный интерес, как в виду новизны дела, так и по серьезной научной обработке вопросов о химико-физиологической и механической теории происхождения горной болезни, а также и по описанию специально предпринятых для освещения настоящего вопроса опытов. Выдержки из этого документа, дополненные другими данными клинической медицины, приведены, между прочим, в книге инженера К. Кокковцова: „Горные жел. дор. Швейцарии особых систем“ II, стр. 184—191.

²⁾ Горной болезнью называется совокупность тех болезненных ощущений, которые испытывают некоторые люди при восхождении на значительные высоты. Головная боль, затруднительное дыхание, тошнота, сердцебиение суть характерные признаки этого недуга.

Пробивка горного массива на протяжении 10 км. с проведением поперечных галлерей на дневную поверхность у промежуточных станций потребовала производства самых тщательных геодезических работ. С этой целью было решено применить предложенный профессором Коппе новый метод фотограмметрической съемки—путем непосредственного измерения углов.

Когда все необходимые подготовительные действия были закончены, и предприятие надлежащим образом финансировано, было приступлено к работам. Первый участок, длиной около 2 км., был открыт в сентябре 1898 г. Предельный уклон—241‰. Наименьший радиус кривых—100 м. За исключением пространства в 84 м., покрытого сводами тоннеля, путь на всем протяжении Шейдег—Эйгерглетчер, протекает под открытым небом. Существенным отличием этого начального звена линии на Юнгфрау от прочих зубчатых путей служит своеобразный тип зубчатки, спроектированный инженером Штрубом. Признавая существующие типы зубчатых штанг недостаточно прочными и устойчивыми для таких альпийских дорог, как линия Юнгфрау, а также желая, по возможности, уменьшить расходы по ремонту пути, Штруб пришел к выводу, что лучшее решение вопроса—это устроить зубчатую штангу по образцу обыкновенного американского рельса. Кремальера Штруба (черт. 78), удостоенная первой премии на международном конкурсе по составлению проектов для сооружения дороги на Юнгфрау, представляет обыкновенный рельс с увеличенной головкой грушевидного профиля, со сделанными в нем вырезами. Вес 1 пог. м. зубчатки—34 кг.

Другую особенность верхнего строения пути представляет *косой рельсовый стык*.

В 1903 году открывается участок Эйгерглетчер—Эйгерванд. Летом 1905 года закончен третий участок, до станции Эйсмер, на абсолютной высоте 3.156 м., с устройством боковой галлерей по направлению к ледяной котловине фирновых полей Гриндельвальд-Фишерского глетчера. После некоторого перерыва в работах, открывается, в августе 1912 г., следующий участок, до станции Юнгфрауих, на абсолютной высоте в 3.421 м. и в расстоянии 9.220 м. от ст. Шейдег. Поперечная галлерей, длиной в 25 м., соединяет станцию с откосом горы, где предполагается соорудить поместительный отель. Дальнейшая постройка вновь отложена на несколько лет, чтобы путем эксплуатации этого нового участка выработать известный капитал, которым можно было бы воспользоваться для окончания работ...

Электрические локомотивы линии Юнгфрау оборудованы двигателями переменного трехфазного тока. Так как скорость вращения ротора, в пределах допускаемых практикой нагрузок, отличается от скорости вращения поля в этих двигателях не более, чем на 5%, то они наиболее пригодны в тех слу-

торый может эксплуатироваться без зубчатки, и из горного участка, уложенного кремальерой, то установление однообразной скорости является уже невыгодным, и тогда приходится обращаться к электродвигателям постоянного тока, которые допускают изменение скорости в широких пределах.

К таким линиям относятся две небольших дороги в долине Роны: Эгль—Лейзин, длиною в 6,75 м., открыта в 1899 г., и Бекс—Грион—Виллар, протяжением в 12,5 км., открыта в 1901 году.

В 1905 году сооружается небольшая линия Бруннен—Моршак, на восточном побережье озера Четырех Кантонов. Длина дороги около 2 км. Эксплуатируется вращающим, трехфазным током. Чисто-зубчатая система.

В начале 1908 года число электрических зубчатых дорог Швейцарии увеличилось еще на одну линию, смешанной системы—линию Монтей—Шампери (долина Роны). Линия эта отличается, между прочим, своеобразным устройством вагонов двигателей, о чем будет сказано ниже.

Конструктивные элементы. Зубчатые дороги сооружались вначале, по примеру канатных железных дорог, почти исключительно для восхождения на высоты. Длина этих линий, которыми пользовались, большей частью, для горных прогулок или для сообщения с воздушными курортами, не превышала 10 км. Сравнительно реже зубчатые дороги проводили с коммерческой целью. Таким образом, по существу дела, постройка таких чисто горных дорог не могла получить большого развития. Обстоятельства меняются в корне после постройки линий по системе Абта, которые доказали, что зубчатоколесные дороги смешанного типа могут, в известных случаях, вполне заменить собой под'ездные второстепенные пути общего пользования. Все эти линии, сооруженные в холмистой местности, имели уклоны (не считая линии Фисп—Цермат) не свыше 80‰. Помимо рельефа земной поверхности, это объясняется, вероятно, и тем, что при допущении большей крутизны пришлось бы уменьшить среднюю скорость и провозную способность.

С начала переживаемого столетия зубчатоколесные дороги смешанного типа получают серьезного конкурента в лице электрической тяги, сделавшей, как мы знаем, к концу прошлого века громадные успехи. Электрические дороги, в виду непосредственного вращения колес (без помощи шатуна и мотыля) допускают движение по гладким рельсам на под'емах до 11‰, а при сухих рельсах—и выше ¹⁾, т.-е. на под'емах не менее крутых, чем на большинстве смешанных зубчатых дорог большого протяжения. Если к сказанному, важному пре-

¹⁾ Dr. F. Niethammer. Die elektrischen Bahnsysteme der Gegenwart. Zürich. 1905, S. 112.

имуществу мы присоединим еще специфические свойства электрической эксплуатации рельсовых путей: возможность увеличения густоты движения, малые поездные составы, быстроту трогания с места и торможения и, наконец, большую скорость, то можно сказать а priori, что если дальнейшая постройка зубчатых дорог смешанного типа и не приостановится, то она несомненно сократится. Сказанное, конечно, не относится к линиям, уложенным сплошь зубчатой пологой. Дороги чистой системы, наоборот, благодаря применению электрической энергии, получают возможность достигать такой высоты, о которой ранее невозможно было и думать (линии Горнерграт и Юнгфграу). По этим мотивам, мы обратим внимание при последующем изложении преимущественно на устройство дорог, уложенных кремальерой на всем протяжении.

Если канат является главной составной частью канатных дорог, то зубчатая полоса есть наиболее существенный конструктивный элемент каждой зубчатой дороги. В равной мере безопасность движения зависит и от устройства локомотива. Таким образом, эти два составных элемента являются, по сравнению с прочими, наиболее важными в перевозочной системе рассматриваемой группы.

Одновременно с кремальерой Риггенбаха и ее дериватами пользуются ступенчатой зубчаткой Абта, а в последнее время и зубчатым рельсом Штруба. Каждый из этих типов имеет свои конструктивные особенности, влияющие на его прочность и степень пригодности для данной цели. Достоинства зубчатки-лестницы, заключаются, помимо ее прочности, в том, что ведущие зубчатые колеса, в случае поднятия на кремальеру, удерживаются на ней верхними гранями поясов. Затем, и в отношении действия внешних сил кремальера Риггенбаха находится, по сравнению с другими двумя типами, в лучших условиях, так как цепки ее работают на изгиб, как брусья на двух опорах. К недостаткам этой зубчатки следует отнести: значительный единичный вес, невозможность двигаться по зубчатому пути с большой скоростью, необходимость изготовления отдельных звеньев для укладки на закруглениях и отсутствие непрерывности в стыках.

Преимущества ступенчатого рельса Абта суть: плавность зацепления, легкость прокатки, обработки и укладки, перекрытие стыка и возможность усиления зубчатого пути на крутых перегонах. Но так как зубцы сопротивляются сгибанию и скалыванию, как брусья, закрепленные одним концом, то они не могут выдерживать такого давления, как зубцы кремальеры Риггенбаха, и потому-то на долю одного шага приходится два или три зацепления. При этом, для предотвращения вредных последствий уширения впадины под влиянием изменения температуры, зубчатые колеса в паровозах Абта насаживаются на оси таким образом, что в местах, где

помещаются зубчатые диски, оси утолщаются, и в этих утолщениях, вдоль оси, вставляют до 8 подковообразных пружин. Как только давление на зубец превзойдет 1.000 кгр., пружины начинают сжиматься, а при давлении 1.300 кгр. соприкасаются между собой, после чего обязательно начинает работать следующий зубец. К положительным качествам ступенчатого рельса относится также и то, что давление на зубец, без опасности поднятия зубчатого колеса при торможении может достигнуть, как показывает расчет ¹⁾, значительно большей величины, чем при употреблении зубчатки-лестницы. Однако, все указанные качества парализуются органическим недостатком этой системы—отсутствием боковых стенок, которое послужило причиной схода поездов с пути на двух европейских и на одной американской дороге. Поэтому Швейцарский департамент железных дорог рекомендовал дорогам в свое время подвергнуть тщательному изучению вопрос об увеличении безопасности движения посредством направляющих реборд и, в особенности, путем устройства рельсовых зажимов (якорей).

Зубчатка Штруба, по выражению изобретателя, соединяет в себе „безопасность зубчатой полосы, уложенной на линии Пилат, с долговечностью зубчатки-лестницы и легковесностью брусковой кремальеры, при чем, однако, лишена присущих этим трем системам недостатков“ ²⁾. С мнением относительно прочности и сравнительной легкости зубчатки Штруба можно вполне согласиться, но в отношении надежности зацепления, зубчатка Лохера, несомненно, лучше,—лучше уже потому, что зацепление происходит в плоскости параллельной полотну, и, кроме того, помещенные под ведущими колесами направляющие диски препятствуют поднятию колес ³⁾. Тем не менее зубчатый рельс Штруба допускает возможность надежного торможения посредством рельсовых зажимов, а затем, что особенно важно, значительная прочность зубцов допускает установку на локомотиве *одного* ведущего колеса. Это последнее обстоятельство очень важно: он позволяет поместить это колесо около центра тяжести локомотива, вследствие чего поднятию колеса при торможении сопротивляется давление всего паровоза, а не третьей его части, как это имеет место в локомотивах Абта.

¹⁾ К. Кокцов. Горные железные дороги Швейцарии особых систем. Т. I, стр. 99.

²⁾ E. Strub. Bergbahnen der Schweiz bis 1900. II. Reine Zahnradbahnen. Wiesbaden. 1902, S. 117.

³⁾ Мы не входили в сравнительную оценку зубчатки Лохера по той причине, что дорога на Пилат является *единственным* примером применения зацепления в горизонтальной плоскости. Поэтому, под термином «зубчатые дороги» техники подразумевают исключительно зубчатые дороги *нормального типа*, т.-е. с зацеплением в вертикальной плоскости.

Наблюдаемая разница в условиях движения на дорогах чисто-зубчатых и смешанного типа послужила основанием к выработке совершенно отдельных типов локомотивов для обеих систем. Существенным отличием машин первой категории служит передача тягового усилия только на ведущие зубчатые колеса. Поэтому, в зависимости от числа ведущих осей, мы различаем в этой категории:

1) *Паровозы с одним ведущим колесом.* Сюда относятся: первоначальный тип линии Фитцнау—Риги, тип Арт—Риги и паровоз, построенный для бразильской дороги Корковадо, с двойным уменьшением скорости.

2) *Паровозы с двумя ведущими осями.* Эта система впервые применена на линии Дженоерозо (зубчатка Абта). Две ведущих оси с зубчатыми колесами служат одновременно поддерживающими для гладких колес; третья поддерживающая ось—системы Бисселя (с радиальным перемещением). Зубчатоколесный привод заменен двуплечим балансиrom. Паровозы этого типа встречаются и на некоторых других дорогах.

3) *Паровозы с тремя ведущими осями.* Единственный пример устройства подобного локомотива дает нам американская дорога Пайкс-Пик.

Все паровозы упомянутых трех категорий—танковые; паровые машины имеют по два цилиндра. Давление пара доходит до 14 атм. Движущий механизм сходен с механизмом паровозов обыкновенных железных дорог. Паровую машину о 4 цилиндрах мы встречаем только на линии Пуерто—Кабелло—Валенсия (Венесуэла). Вес в холодном состоянии от 11,5 до 16 тн.

Оставляя в стороне тип с тремя движущими осями, мы видим, что на линиях нормальной ширины колеи пользуются машинами с одной ведущей осью, а на узкоколейных дорогах применяют паровозы с двух ведущих осях. Постройка последнего типа главным образом обусловлена укладкой зубчатки Абта. Тормозными приборами служат ленточные или нажимные тормоза и воздушный регулятор движения. На Брюнигской дороге (1888) был, кроме того, впервые применен автоматический тормоз системы Клозе. Устройство этого прибора следующее: вагонные тормозные колодки нажимаются на колеса при помощи рессор, которые, во время движения поезда, поддерживаются в сжатом состоянии посредством давления пара, находящегося в особом паровом цилиндре. Как только пар из цилиндра будет выпущен,—рессоры выпрямляются и тормоз начинает действовать ¹⁾. Такими же тормозами были оборудованы линии: Бриенц—Ротгорн, Фисп—Цермат, Венгернальп и др.

¹⁾ L. Vigreux et F. Loppé. Les chemins de fer à crémaillères et les chemins de fer funiculaires à crémaillères à l'exposition universelle de 1889. Paris. 1893, p. 125.

Паровозы смешанного типа распадаются на две серии 1) *паровозы с двумя цилиндрами*, т.-е. с одним движущим механизмом; тип этот применялся в первое время, и 2) *паровозы с 4 цилиндрами*, т.-е. с двумя самостоятельными движущими механизмами. Машины этой серии имеют довольно много разновидностей: они строятся с одним или с двумя ведущими зубчатыми колесами, отличаются между собой числом осей, расположением цилиндров; некоторые паровозы работают по системе компаунд (пар из цилиндров, приводящих в движение гладкие колеса, поступает в цилиндры зубчатоколесного механизма) и т. п. Мы не будем входить в детальное рассмотрение всех этих типов, так как дорог смешанного типа в последнее время строится очень мало и, кроме того, паровые двигатели уже во многих странах вытеснены электрическими локомотивами ¹⁾.

Зубчатые дороги, эксплуатируемые электрической энергией, пользуются ею или в виде постоянного тока, или в форме переменного трехфазного тока.

Применение постоянного тока с последовательным возбуждением выгоднее в тех случаях, когда продольный профиль пути представляет ломаную линию, и когда центральная силовая станция не очень удалена от района потребления. В редких случаях пользуются двигателями постоянного тока с параллельным возбуждением (линия Триест-Опчина). Система эта, при небольшом протяжении дороги, работает удовлетворительно и дает экономию, в виду рекуперации энергии при следовании поезда под уклон.

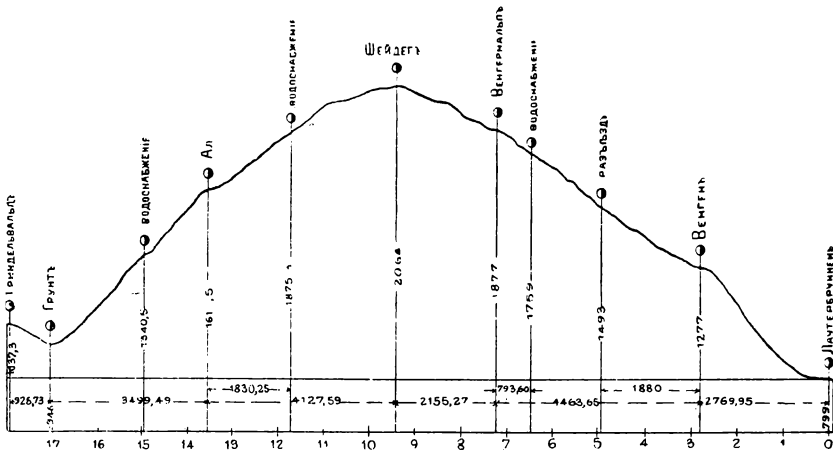
Электромоторы трехфазного тока применяются, как это замечено выше, обыкновенно в тех случаях, когда профиль дороги представляет более или менее равномерный уклон по всей линии (сохранение постоянной скорости не требует тогда изменения в расходе энергии). Легкость трансформирования позволяет при трехфазной системе не особенно стесняться расстоянием подстанций от местонахождения источников силы. Но главные качества этих двигателей заключаются в автоматическом регулировании скорости нисходящего поезда и в обратном получении, при спуске, электрической энергии.

Электрические локомотивы обыкновенно имеют две оси с гладкими колесами. Между ними находятся два ведущих зубчатых колеса, которые приводятся в действие двумя симметрично расположенными электромоторами при помощи двойной зубчатой передачи. Вес локомотивов колеблется от 10 до 16 тонн. Мощность—от 150 до 300 лш. сил.

Восьмиколесные электрические вагоны смешанной линии Монтей—Шемпери оборудованы 4 двигателями постоянного

¹⁾ Желающие ознакомиться с типами зубчато-колесных паровозов смешанной системы могут найти интересные их сведения в упомянутой книге: «Горные железные дороги Швейцарии особых систем». Т, II, стр. 235.

тока. Два мотора вращают гладкие колеса, а двое других приводят в движение пару зубчатых колес. Система эта, предложенная Штрубом, представляет, по идее, полную аналогию с системой паровозов Абта. Вес электровагона—27 тонн. Мощность всех 4 двигателей, совершенно одинаковой конструкции, рассчитана таким образом, что двигатели, действующие на гладкие колеса, будучи соединены последовательно, могут, при скорости около 8,5 км./ч., развить наибольшую силу тяги в 1900 кгр., а два других мотора, соединенные параллельно, доставляют, при той же скорости, тяговое усилие в 4100 кгр.



Черт. 79.

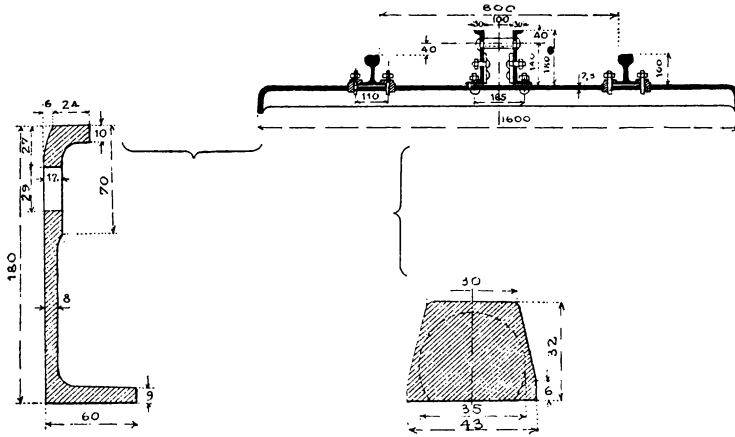
Обе цифры дают в сумме ту предельную силу 6000 кгр., которая необходима для тяги вагона с полной нагрузкой на предельном уклоне.

Описание дорог. Для ознакомления с общим устройством зубчатых дорог мы полагаем остановиться на двух примерах дорог чистой системы: на линии Венгернальп и на электрической дороге на Горнерграт.

Зубчатая дорога на Венгернальп. Раскинувшийся по берегам быстрой Аары городок Интерлакен, с прилегающими к нему озерами и видом на Юнгфрау, блистающий белоснежный массив которой так картинно выделяется на фоне темной зелени боковых очертаний ближайших холмов и гор, по справедливости считается излюбленным сборным пунктом для любителей горных экскурсий. Канатный подъем соединяет Интерлакен с вершиной Гардера; зубчатая дорога облегчает восхождение на Шиниге Платте, с ее широким кругозором на долину Черной Лютчины, цепь Фаулгорна и на озера. Рельсовые пути подводят вас к подножию Гриндельвальдского ледника. Но только одна линия Венгернальп переносит вас за пределы

альпийского пояса ¹⁾ и приближает к царству вечных льдов. Проходя в расстоянии около 5 км. от группы Эйгер-Мёнх-Юнгфрау, она дает возможность, на сравнительно близком расстоянии и всего с высоты 2000 метров любоваться ледяными кручами, фирновыми полями; следить за падением срывающихся с треском лавин...

Дорога на Венгернальп или, точнее через Венгернальп (небольшое горное плато, идущее почти параллельно северному склону Юнгфрау) не только замечательна по своему местоположению, но представляет большой интерес и с технической стороны. Прежде всего, нельзя не отметить, что, благодаря искусному выбору направления, строителям удалось, не превзойдя заданной предельной величины уклона, 250‰, провести рельсовый путь почти сплошь на дневной



Черт. 80.

поверхности (имеется только один тоннель в 25 м.), несмотря на то, что на протяжении около 9½ км. от станции Лаутербруннен линия поднимается почти на 1300 м. (черт. 79). Затем, на дороге применена более конструктивная форма кремальеры (черт. 80), представляющая зубчатку Риггенбаха усовершенствованного типа. Наконец, в целях увеличения безопасности движения все мосты и виадуки, за исключением двух мостов у конечных станций, сделаны из камня.

Длина дороги	17,9 км.
Наибольший уклон	250‰
Наименьший радиус закруглений	60 м.
Ширина колеи	80 см.

¹⁾ В географическом отношении Швейцария разделяется на три пояса: 1) горный—от 750 до 1200 м. над ур. м.; 2) альпийский—от 1200 до 2100 м, и 3) снежный—выше 2100 м.

Работы были начаты в 1891 году и закончены в 1893 году. Начинаясь от станции Лаутербруннен, с отметкой в 799 метров, линия поворачивает сначала на восток и, искусно побеждая все препятствия посредством выемок в скале и виадуков, доходит до станции Венген. Перспективный рисунок этого перегона представлен на рис. 81 (в центре

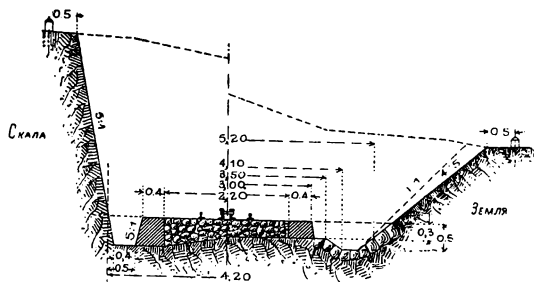


Рис. 81.

Штауббах: над ним Юнгфрау). Затем, линия направляется на юг. При подходе к станции Венгернальп, на высоте 1801 м., рельсовый путь огибает выступ скалы, и взорам путешественников открывается во всей своей величественной красоте группа Эйгер-Мёнх-Юнгфрау. Вид этих гор и, в особенности, блистающей своей белизной Юнгфрау не покидает вас до кульминационного пункта дороги—Шейдег, от которого начинается электрическая дорога на вершину

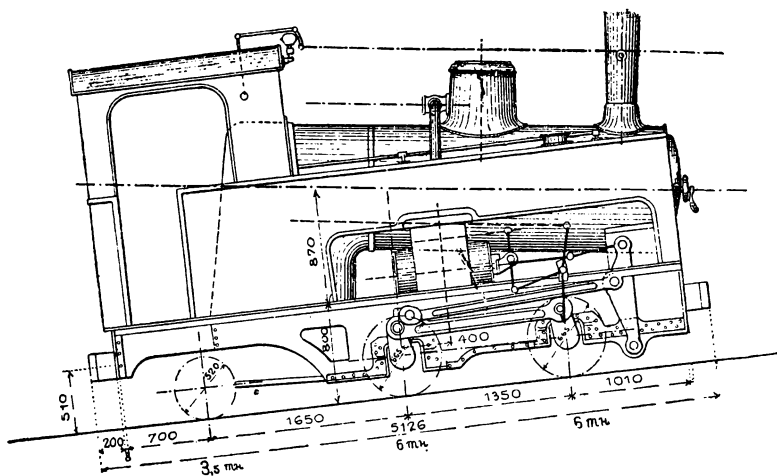
Юнгфрау. От станции Шейдег поезд идет под гору. Минуя Альпиглен и Грунд, путешественники прибывают в Гриндель-валд ¹⁾).

Дорога построена в один путь. Для сопряжения уклонов допущены радиусы в 300 м. Нижнее строение представляет слой щебня, удерживаемого с боков двумя рядами каменных банкетов. На черт. 82 показан поперечный профиль полотна в выемке в обыкновенном и скалистом грунте. Наибольшая высота насыпей—12 м., при полукторных откосах. Для предохранения рельсового пути от угона служат поперечные бетонные массивы со вделанными в них рельсовыми стойками, по образцу линии Фитцнау — Риги. Устройство нижнего строения потребовало производства крупных



На линии Венгернальп были впервые применены несимметрические стрелки с раздвижными острьяками у рельсов и неподвижными острьяками у зубчатки. Стрелки этого типа оказались, однако, непрактичными и не вполне безопасными, и потому с 1900 года половина их была переделана на стрелки обычного типа, с движущимися на шарнирах звеньями зубчатой полосы.

Первые паровозы дороги были построены, в главных чертах, по образцу машин дороги на Монте-Дженерозо. Паровозная рама поддерживается тремя осями с свободно вращающимися на них гладкими колесами. Первые две оси снабжены, кроме того, зубчатыми колесами о 18 зубцах каждое.



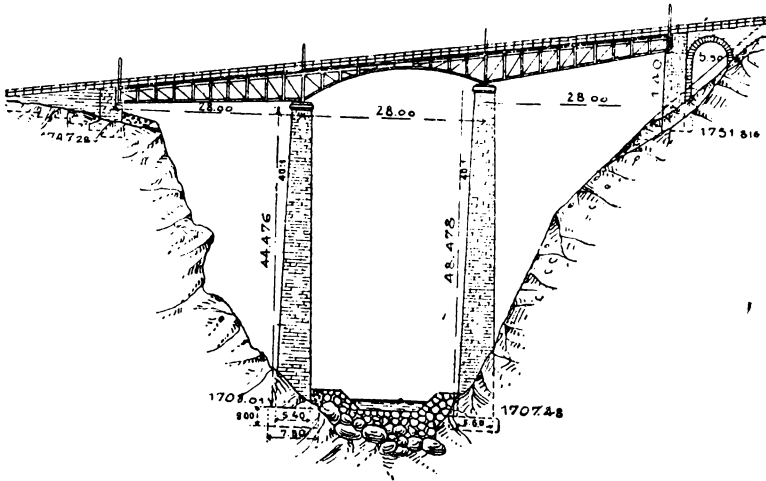
Черт. 83.

Центры осей их отстоят на расстоянии 135 см. друг от друга, что соответствует $13\frac{1}{2}$ делениям. Зацепление одного колеса против другого запаздывает, следовательно, на половину шага. Диаметр зубчатого ведущего колеса менее диаметра поддерживающих на 99 мм.

Штанговое усилие передается на переднюю ось посредством двуплечих балансиров. Задняя ось—системы Бисселя. Паровозы оборудованы: воздушным регулятором, двумя тормозами у ведущих зубчатых осей и автоматическим паровым тормозом. Через несколько лет эти паровозы были заменены другими, измененной конструкции (черт. 83): двуплечие балансиры заменены одноплечими, рама несколько укорочена, размеры котла увеличены, ленточные тормоза заменены тормозами с колодками. Вследствие этих изменений, паровоз приобрел большую устойчивость, более равномерное давление на оси и более надежные тормоза. Вес нового паровоза в рабо-

чем состоянии—15,5 тн. Сила тяги—6350 кгр. Мощность—164 лош. сил¹⁾).

Локомотивы измененного типа не имели, однако, плавного хода, так как движущиеся массы были плохо сбалансированы. Желая устранить этот недостаток, администрация дороги вернулась к прежнему устройству коромысла, со следующими, однако, изменениями: ось вращения коромысла приподнята настолько, что когда оно пересекает отвесную плоскость, то нижняя цапфа его приходится на одной прямой с центрами ведущих осей. Движение поршневых тяг передается на переднюю ось.



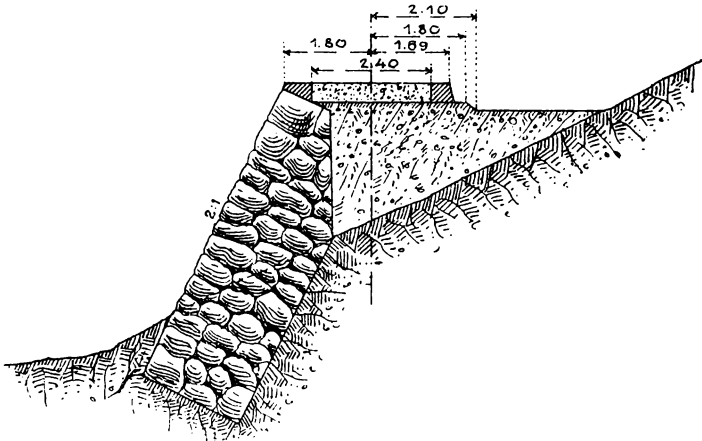
Черт. 84.

Курсирующие на линии пассажирские вагоны—четырёхосные; состоят из двух отделений II класса и четырех—III класса. Поезда идут в составе 1—2 вагонов.

Зубчатая дорога на Горнерграт. В 1898 году открыто движение по зубчатоколесной электрической дороге, соединяющей Цермат с утесом Горнерграт, на абсолютной высоте свыше 3000 м., т.-е. на 250 м. выше снеговой линии. Простирающийся вниз, широкой снежной покатостью, Горнский ледник отделяет Горнерграт от одной из наиболее мощных групп Пеннинских альп,—от группы Монте-Роза (выс. до 4638 м.). Стоящий на вершине утеса зритель окружен со всех сторон фирновыми полями, глетчерами и снежными вершинами, между которыми резко выделяется на востоке остроконечная пирамида Маттергорна.

¹⁾ E. Strub. Wengernalpbahn. Schweizerische Bauz. 1893, B. XXII, S. 51.

Линия эксплуатируется двигателями трехфазного тока, получаемого от силовой гидроэлектрической станции, расположенной у подошвы горы, на берегу Финделенбаха, на 80 м. ниже полотна дороги. Вододействующими приемниками служат турбины Жирара высокого давления, с горизонтальным валом и внешним подводом воды. Так как, в случае одновременного отхода со станции двух груженных поездов, приемники силовой станции должны развивать мощность до 500 сил¹⁾, — на гидроэлектрической станции было установлено две турбины, мощностью по 250 л. с. Каждая из этих турбин соединена гибкою связью с генераторной машиной трехфазного тока, построенной по обычному типу многополюсных динамо



Черт. 87.

с неподвижным якорем. Ротор представляет систему электромагнитов о 12 полюсах. Для возбуждения магнитов служат динамомашины постоянного тока, приводимые в действие отдельными турбинами. При 400 оборотах в минуту, генераторы дают переменный ток в 40 периодов в секунду. Ток этот,

¹⁾ Принимая вес груженного поезда в 28 тонн, единичное сопротивление в 20 кгр. и скорость—2 м./с., развиваемая электродвигателями локомотива. мощность на предельном уклоне в 200‰ будет:

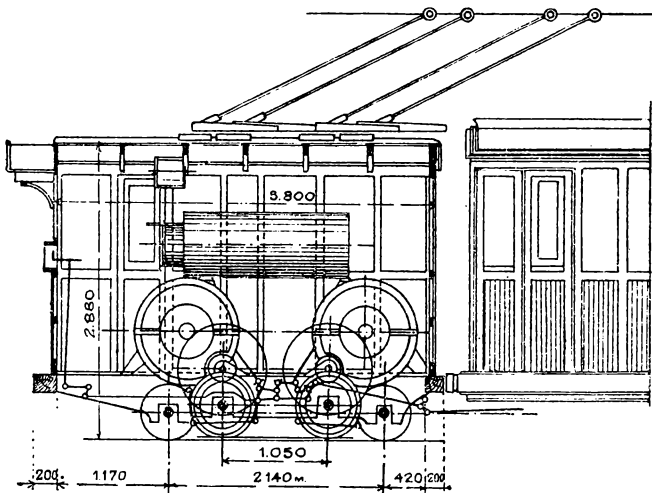
$$W = \frac{28 \times 220 \times 2}{75} = \infty 160 \text{ л. с.}$$

Если прибавить к найденной величине потерю на передачу силы двигателя на ведущую ось, примерно. 20 л. с., то окажется, что механическая работа локомотива, потребная для перемещения каждого поезда, должна быть не менее 180 сил.

Исходя из указанной цифры и приняв в расчет коэффициенты отдачи электродвигателей, контактного и питательного проводов, трансформаторов и генераторных машин, мы определим, что для поднятия одного поезда рабочие приемники гидроэлектрической станции должны давать до 250 сил.

напряжением до 5400 вольтов, направляется к трем трансформаторам (на центральной станции, на пятом и на восьмом километре дороги), где напряжение его понижается до 540 V.

Электрический локомотив (разрез его схематически изображен на черт. 88) включает в себе два шестиполосных электромотора трехфазного тока. При 800 оборотах в минуту и напряжении в 500 V, каждый мотор в состоянии произвести механическую работу в 90 л. с. Вращение оси двигателя передается, при посредстве двойной зубчатой передачи, на соответствующую ведущую ось, так что моторы работают независимо друг от друга. Коэффициент передачи равен 1:12. Вес локомотива — 10,5 тонн.

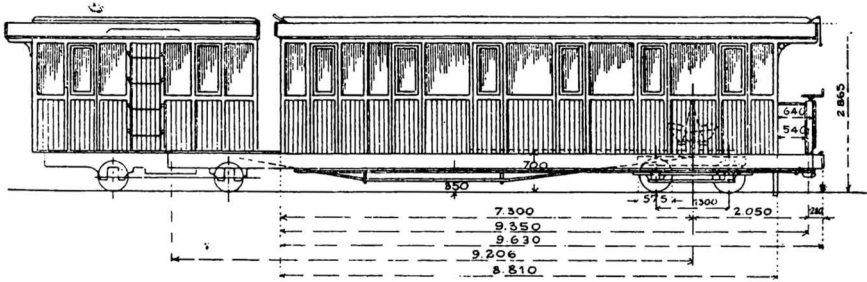


Черт. 88.

Для остановки поезда служат два рычажных винтовых тормоза и самодействующий электрический тормоз, который останавливает вагон, когда ток прекращается или скорость превышает назначенный предел. Регулирование скорости поезда при спуске производится автоматически, вследствие известного свойства трехфазных двигателей обращаться в первичные машины, как только скорость их превзойдет скорость синхронного хода. Чтобы работа станции, постепенно уменьшаясь, не достигла при этом такой величины, при которой быстрота вращения индукторов первичных (генераторных) машин превзойдет установленный предел, устроено особое приспособление, с помощью которого в контактные провода вводится сопротивление, как только скорость превзойдет определенную величину. Если бы нужно было двигаться вниз со скоростью, меньшей скорости синхронного хода, то в двигатели пускают ток по направлению соответствующему движению в гору,

и вводя в цепь известное сопротивление, достигают того, что вагон, под влиянием двух сил: электромагнитной силы двигателя и направленной вдоль оси пути слагаемой веса поезда, будет двигаться с требуемой скоростью.

Поезд состоит обыкновенно из одного закрытого вагона, вмещающего 60 пассажиров (черт. 89). Вагонная рама поддер-



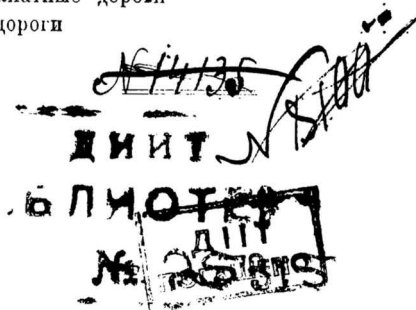
Черт. 89.

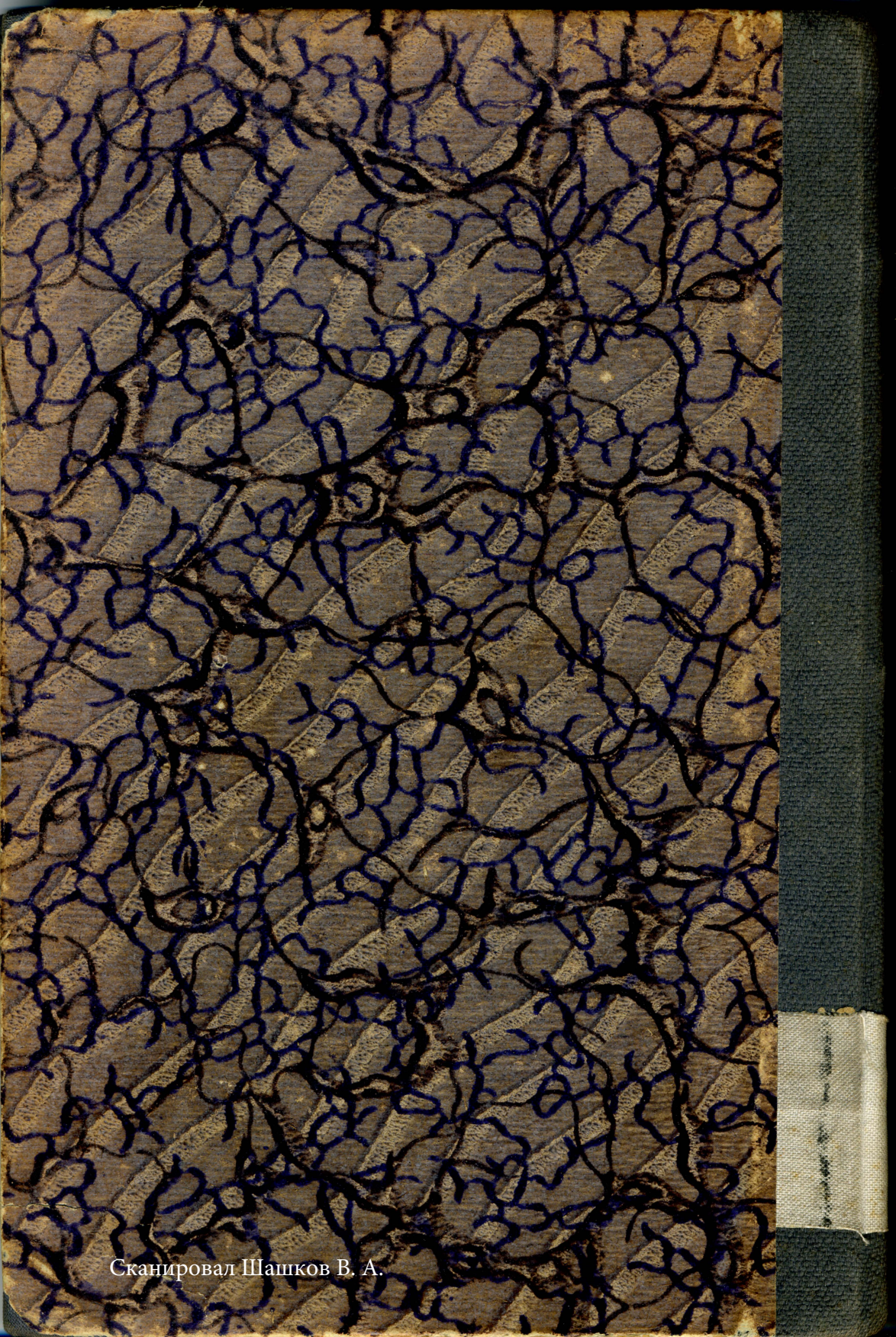
живается спереди тележкой, а задняя ее сторона подвешена к локомотиву помощью удлиненных швеллеров. Благодаря такому устройству, примененному впервые на линии Горнергат, половина веса вагона передается на оси локомотива. Этим достигается увеличение давления на ведущие оси, а следовательно и надежность зацепления.

Дорога эксплуатируется с июня по конец сентября и обслуживается в летнее время шестью парами сквозных поездов и одной парой местных, между станциями Цермат и Риффельальп.

ОГЛАВЛЕНИЕ.

Глава	Стр.
I. Введение	3
II. Подвесные дороги	7
III. Наземные канатные дороги	46
IV. Висячие канатные дороги	75
V. Зубчатые дороги	119





Сканировал Шашков В. А.