



Канатный транспорт (канатные дороги и лифты)

СКИФ



Кафедра «Эксплуатация транспортных
систем и логистика»

Лекционный курс

Автор

Короткий А. А.

Ростов-на-Дону,
2018

Аннотация

Лекционный курс предназначен в качестве основного учебного материала, для очных и заочных форм обучения по направлению 23.04.02 Наземные транспортно-технологические комплексы

Автор

Короткий Анатолий Аркадьевич –

д.т.н., профессор кафедры «ЭТСиЛ»

ОГЛАВЛЕНИЕ

ЛЕКЦИЯ №1.....	5
1.Общая информация.	5
2. Классификация ППКД.....	10
3. Области применения ППКД.....	15
Литература:	28
Лекция №2	28
1. Общее устройство, конструктивные особенности подвесных канатных дорог	28
2. Основные элементы подвесных канатных дорог	28
3. Элементы ПКД и подвижной состав	34
4. Общий порядок расчета и конструирования подвесных канатных дорог	42
Лекция №3	46
1. Экономические показатели и основные положения расчета сети ППКД.....	46
2. Основы теории канатных систем.	48
Лекция №4	53
1. Требования к стальным канатам.	53
2. Пропускная способность ПКД.....	58
3. Определение действующих сил на ПКД.	61
Лекция № 5.	72
1. МАЯТНИКОВЫЕ ППКД.....	72
2. ОДНОКАНАТНЫЕ ППКД.....	75
3. ДВУХКАНАТНЫЕ ППКД.....	77
Лекция №6	80
1. Методы эвакуации пассажиров на канатных дорогах.	80
2. Определение минимальной численности персонала при эвакуации методом «Дерево отказов»	86
Лекция №7	95

Канатный транспорт (канатные дороги и лифты)

1. Общая информация. Конструкция, технические характеристики, типы лифтов. ..	95
Лекция №8	112
1. Основные технические требования при проектировании, установке и эксплуатации лифтов (подъёмников).....	112

ЛЕКЦИЯ №1

1. Общая информация.

Стальной канат является важнейшим элементом канатной дороги, от состояния которого зависит надежность и эффективность ее работы.

Основными характеристиками каната, определяющими его безопасность в работе, долговечность и экономичность, являются: прочность, достаточная для восприятия с необходимым коэффициентом запаса статических, динамических и ударных нагрузок; сопротивление усталости, позволяющее противостоять повторным перегибам и вибрациям без преждевременного усталостного разрушения; сопротивляемость абразивному изнашиванию на шкивах, блоках, опорных и станционных башмаках и т. п.; сопротивляемость деформированию в зажимах и при работе на шкивах, блоках и башмаках; сопротивляемость воздействию поперечной нагрузки от давления колес подвижного состава, вызывающей контактные напряжения и напряжения изгиба; коррозионная стойкость.

К основным параметрам каната, влияющим на эти характеристики, относятся: конструкция каната, прочность проволок, пределы упругости и выносливости каната, его упругое и остаточное удлинения, жесткость, разрывное усилие и вид смазки.

Конструкции канатов. Для подвесных канатных дорог преимущественно используют канаты прядевые (открытые), изготовляемые из круглой проволоки, и закрытые, двойной свивки, с точечным (ТК) или линейным (ЛК) касанием проволок, с органическим или металлическим сердечником, нераскручивающиеся (Н) или раскручивающиеся (Р), крестовой или односторонней свивки, марки В, без покрытия (светлые) или с цинковым покрытием.

Повышенные требования к канатам, характеризующимся большими нагрузками и скоростями, а также компактностью, определяют преимущественное использование прядевых канатов двойной свивки с линейным касанием проволок. Такая конструкция обеспечивает высокую износостойкость и сопротивляемость деформированию.

Кроме того, широкое распространение получили закрытые многослойные несущие канаты, так как они имеют максимальное заполнение поперечного сечения металлом (до 90 %) и почти сплошную цилиндрическую поверхность. Это достигается использованием в наружном слое фасонной зетообразной проволоки, которая образует замок, не допускающий проникновения влаги и абразивных частиц внутрь каната и удерживающий проволоку от выхода наружу при обрыве.

Применение нераскручивающихся канатов предпочтительнее, чем раскручивающихся. Первые имеют следующие преимущества: большую гибкость, вследствие чего можно использовать шкивы меньшего диаметра; отсутствие стремления каната нарушать свою прямолинейность и создавать петли; малую изменяемость шага свивки при эксплуатации; более равномерное распределение растягивающих напряжений по прядям и проволокам; большую

Канатный транспорт (канатные дороги и лифты)

сопротивляемость усталостным напряжениям и изгибающим усилиям; меньшее число обрывов проволок за одинаковый срок службы; возможность большего числа перегибов на шкивах при эксплуатации; меньшую вибрацию при эксплуатации.

В раскручивающихся канатах действуют внутренние напряжения, возникающие при свивке проволок в пряди и прядей в канат. Положение проволок и прядей не сохраняется без закрепления концов каната специальными перевязками, что необходимо учитывать при ведении монтажных работ.

При выборе рода свивки каната принимают во внимание следующие обстоятельства. Канаты крестовой свивки по сравнению с канатами односторонней свивки характеризуются большими сопротивлением вращению под нагрузкой, стабильностью в работе, сопротивляемостью раздавливанию и поперечной деформации на шкивах малого диаметра. Легче выполняются их монтаж и обслуживание. Основным недостатком канатов крестовой свивки являются высокое давление между проволоками и соответственно большие контактные напряжения, особенно при перегибе каната на блоках. Это служит причиной меньшей износостойкости, но большей жесткости канатов крестовой свивки. В канатах односторонней свивки длина открытой поверхности проволок приблизительно в 2,5 раза больше, чем в канатах крестовой свивки той же конструкции и с тем же шагом свивки. Увеличенная поверхность трения проволок обеспечивает уменьшение их износа, а также износа желобов шкивов. Гибкость канатов односторонней свивки на 25 % выше гибкости канатов крестовой, а срок службы при наличии перегибов противоположных направлений составляет около 75 % срока службы при перегибах одного направления, в то время как для канатов крестовой свивки он не превышает 60 %. Недостатком канатов односторонней свивки является склонность к образованию петель и узлов при внезапном уменьшении натяжения, поэтому они должны быть всегда натянутыми.

Применение канатов типа ЛК предпочтительнее, чем канатов типа ТК. Во-первых, несмотря на некоторое относительное увеличение нагрузки, воспринимаемой внутренними проволоками, достигаются ликвидация местного смятия в точках контакта, уменьшение давлений и внутреннего трения. Такие канаты лучше работают на изгиб. Кроме того, за счет более плотной укладки проволок увеличивается металлическое сечение, а следовательно, и прочность каната. В канатах типа ТК из-за различных шагов свивки в разных слоях увеличивается точечный контакт проволок, в результате чего их местное смятие отрицательно сказывается на изгибно-усталостных свойствах каната.

В канатных дорогах, как правило, применяют канаты с органическим сердечником, который служит радиальной опорой для прядей, не позволяющей им соприкасаться одна с другой. Распространенное мнение о том, что сердечник должен выполнять функции резерва для смазки, неверно, так как смазка постепенно выдавливается, приводя к уменьшению его массы и, следовательно, к потере опоры для прядей. Органические сердечники из натуральной пеньки или сизаля постепенно уступают место сердечникам из синтетического волокна, которые более износостойки, лучше противостоят воздействию влаги и имеют более стабильную массу.

Канатный транспорт (канатные дороги и лифты)

Канаты с металлическим сердечником применяют при больших поперечных нагрузках, высоких натяжениях (более 0,25 от разрывного усилия), для работы при высоких температурах и при необходимости уменьшить вытяжку каната.

Качество и прочность проволок. Долговечность канатов во многом зависит от качества проволоки, которая должна обладать оптимальной прочностью при высоких пластических свойствах, иметь высокую стойкость против истирания и расплющивания, быть пригодной для сложных условий работы при динамических и знакопеременных нагрузках. На поверхности проволок не должно быть повреждений, ржавчины, трещин, раковин и т. п.

Наилучшее сочетание временного сопротивления, вязкости и износостойкости канатной проволоки достигается при ее изготовлении методом холодного волочения с термической обработкой патентированием, обеспечивающим сорбитную структуру металла. По мере увеличения временного сопротивления проволоки ее износостойкость и сопротивляемость раздавливанию возрастают, а гибкость и стойкость против повторных перегибов уменьшаются. Проволока с временным сопротивлением 1670—1860 МПа имеет наиболее оптимальное сочетание этих свойств.

Следует отметить, что срок службы каната не увеличивается пропорционально росту временного сопротивления его проволок, так как увеличение глубины поверхности закалки проволок приводит к повышенному абразивному изнашиванию. Кроме того, увеличение временного сопротивления проволок приводит к уменьшению сопротивления усталости каната.

Пределы упругости и выносливости канатов. Разграничить упругие и остаточные деформации практически довольно трудно. За предел упругости σ_u каната принимают условное напряжение, при котором его остаточные удлинения не превышают 2 % расстояния между контрольными рисками, нанесенными на канат при замерах. Предел упругости определяется коэффициентом упругости $k_u = \sigma_u / \sigma_B$, значения которого приведены ниже:

σ_B , МПа	1370-1570	1570-1760	1760-1960	1960-2160
ку для каната из проволоки				
без покрытия	0,65	0,7	0,75	0,8
с цинковым покрытием	0,6	0,65	0,7	0,75

Предел выносливости для стальных канатов можно принимать равным половине предела упругости, если последний не превышает 65 % временного сопротивления. При постоянной нагрузке предел выносливости растет с увеличением временного сопротивления, но до определенного значения (примерно до 1770—1960 МПа). С последующим увеличением временного сопротивления предел выносливости каната уменьшается.

Упругое и остаточное удлинение канатов. Как следствие свивки упругое удлинение каната значительно больше, чем металлического стержня. Модуль упругости E_k каната связан с модулем упругости E_c стали зависимостью $E_k = \alpha E_c = 2,1 \cdot 10^5 \alpha$, МПа, где $\alpha < 1$. При этом упругое удлинение каната $\Delta l = TL / (E_k F_k)$ (здесь T , L и F_k — соответственно натяжение каната, его длина и площадь сечения всех проволок).

Канатный транспорт (канатные дороги и лифты)

Модуль упругости каната E_k является величиной переменной и зависит как от конструкции, так и от степени натяжения каната. Для закрытых спиральных канатов принимают $E_k=1,6 \cdot 10^5$ МПа, для канатов двойной свивки с пеньковым сердечником $E_k=1 \cdot 10^5$ МПа и с металлическим сердечником $E_k=1,4 \cdot 10^5$ МПа. В начальный период работы по мере вытягивания и уплотнения каната его модуль упругости возрастает примерно на 20 %, достигая указанных величин. В этот же период у каната появляется остаточное удлинение. В зависимости от конструкции остаточное удлинение каната после его навешивания и приложения растягивающего усилия составляет 0,05 - 0,15 % от длины используемого каната.

Жесткость канатов. Жесткость - свойство каната сопротивляться возникновению в нем деформаций (особенно при изгибе и кручении) в пределах упругости. Жесткость каната зависит от его типа и конструкции, рода и вида свивки, диаметра проволок и их временного сопротивления.

При огибании блока канат, имеющий определенную жесткость, не сразу ложится в ручей и принимает кривизну огибаемой окружности. При набегании на блок и сбегания с него соответствующие участки каната располагаются по переходным кривым (рис. 1.1). Набегающая и сбегаящая ветви смещаются относительно вертикальной касательной к блоку на величину δ [11]. Без учета трения в опорах уравнение равновесия каната имеет вид

$$T_{наб}(R+\delta)=(T_{наб}+W)(R-\delta),$$

Где R – радиус блока; W – дополнительное усилие, необходимое для сгибания и разгибания каната.

Усилие W зависит от размеров и конструкции каната и блока и от натяжения в канате.

Запишем уравнение равновесия так:

$$W=T_{наб} \cdot (2\delta/R-\delta)=T_{наб} \cdot (2\delta/R) \cdot (1/1-(\delta/R)).$$

Если не будем учитывать отношение δ/R , так как оно близко к нулю, а $2\delta/R$ обозначаем через ϵ , то получим $\epsilon=W/T_{наб}$. Эта величина называется коэффициентом жесткости и определяется экспериментально в зависимости от многих факторов.

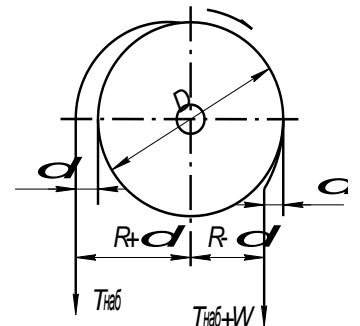


Рис. 1.1. Схема набегания каната на блок

Коэффициент жесткости канатов одной свивки приблизительно на 20 % ниже коэффициента жесткости канатов крестовой свивки, цинкование проволоки несколько увеличивает жесткость каната, кроме того, она может повыситься и в процессе эксплуатации. Исследования показывают, что при малых натяжениях силы сцепления между проволоками недостаточны для противодействия сдвигающим силам и жесткость каната при изгибе мала. При большем нагружении силы сцепления увеличиваются, и жесткость возрастает, изменяясь почти линейно с ростом натяжения. При очень больших натяжениях состояние каната приближается к состоянию сплошного стержня и жесткость при изгибе остается постоянной. Для удобства расчетов коэффициент жесткости иногда представляют в виде $\epsilon=B/(E_s J_s)$, где B - жесткость каната, определяемая экспериментально; $E_s J_s$ - жесткость сплошного стержня круглого сечения диаметром, равным диаметру каната.

Канатный транспорт (канатные дороги и лифты)

Разрывное усилие каната. Разрывное усилие каната в целом $T_{разр} = \alpha T_{сум}$ меньше суммарного разрывного усилия $T_{сум}$ входящих в него проволок. Коэффициент потерь α зависит от конструкции каната и качества его изготовления. При отсутствии точных данных о разрывном усилии каната принимают следующие значения коэффициента потерь: при одинарной свивке (спиральные канаты) $\alpha = 0,9$, при двойной свивке $\alpha = 0,82 \div 0,85$, при тройной свивке $\alpha = 0,8 \div 0,82$.

Смазывание канатов. Срок службы канатов во многом зависит от наличия и качества наружной и внутренней смазки, что особенно существенно, когда канаты являются главным элементом всей системы дороги и замена их является весьма трудоемкой операцией.

Применяемые канатные смазки должны обладать хорошим сцеплением с металлом, обеспечивать защиту от внутренней и наружной коррозии, уменьшать трение и износ трущихся поверхностей, быть водостойкими, иметь стабильные свойства при высоких (быть достаточно твердыми) и низких (быть достаточно эластичными) температурах, не оказывать разрушающего действия на материалы футеровки шкивов и роликов, иметь достаточную прочность пленки при контакте с роликами, не иметь токсичных свойств, образованная защитная пленка должна быть стойкой против окисления и обладать хорошей адгезией (липкостью к поверхности проволоки).

Разработанные в последние годы специальные методы испытаний канатных смазок позволили установить, что масла на основе натуральных нефтепродуктов, битумов, гудрона не обеспечивают достаточной защиты от коррозии, причем первые при температуре свыше 30°C стекают. Недопустимо также смазывание канатов маслами общего назначения, применяемыми для редукторов, подшипников и т. п.

По назначению смазочные материалы можно разделить на консервирующие и эксплуатационные.

В качестве консервирующей смазки применяют масла 39У и 278, разработанные Всесоюзным научно-исследовательским институтом по переработке нефти (ВНИИНП).

Эксплуатационные смазки для несущих канатов должны обеспечивать малый коэффициент трения ходовых колес во избежание потерь тягового усилия. Для тяговых канатов смазывание должно способствовать максимальному сцеплению каната с приводным шкивом. Смазка, наносимая в период эксплуатации, должна хорошо сочетаться со смазкой, нанесенной при изготовлении каната. Это обеспечивает увеличение срока службы каната, повышает экономичность и безопасность эксплуатации дороги. Так, канаты, которые при изготовлении смазывались консистентными смазками, не должны при эксплуатации смазываться жидкими маслами. В отечественной практике используются смазки типа Торсиол-55, 265-5, разработанные во ВНИИНП.

Смазка для башмаков, поддерживающих канат на линейных опорах, должна иметь повышенную способность к восприятию больших давлений и увеличенный срок службы. Для этой цели применяют масла, содержащие микрочастицы распыленного дисульфида молибдена. На отечественных канатных дорогах для смазывания башмаков используют масла типа Торсиол-35. Нормы расхода

Канатный транспорт (канатные дороги и лифты)

смазочного материала в среднем составляют 20—30 г/м для нового каната и 15—20 г/м при повторном смазывании для канатов диаметром 20—28 мм.

Подробные сведения о свойствах и конструкции канатов можно получить в специальной литературе [10, 11, 23, 35].

2. Классификация ППКД.

Классификация ППКД. Все канатные дороги по характеру движения подвижного состава разделяют на маятниковые (с возвратно-поступательным движением) и кольцевые (с кольцевым движением) (рис. 3.1). В соответствии с особенностями путл, по которому перемещается подвижной состав, различают дороги с неподвижным несущим канатом (двухканатные и дороги с самоходными вагонами) и с подвижным несуще-тяговым канатом (одноканатные дороги). Под одноканатными понимают дороги, у которых несущий канат одновременно является тяговым. Двухканатные дороги имеют раздельный несущий и тяговый канаты, причем число каждого из таких канатов может быть больше одного.

Одноканатные кольцевые дороги разделяют на кресельные, гондольные, пульсирующие и буксировочные. Кресельные дороги, подвижной состав которых (кресла или полуоткрытые одно- или двухместные кабины) постоянно сцеплен с несуще-тяговым канатом, благодаря простоте конструкции и эффективности использования нашли наибольшее распространение, исключая буксировочные. Одноканатные гондольные дороги с автоматически отцепляемыми от несуще-тягового каната на станциях четырех- и шестиместными кабинами или двух-, трех- или четырехместными креслами более комфортабельны, чем кресельные, но и более сложны. Пульсирующие одноканатные дороги с неотцепляемыми кабинами или креслами по простоте конструкции и надежности приближаются к кресельным. Буксировочные канатные дороги (БКД) служат для транспортирования горнолыжников по заснеженному склону вверх путем буксирования.

Области применения ППКД. Наибольшее распространение получили ППКД при перевозке туристов и лыжников. Они служат главным и практически единственным средством внутреннего транспортного

Рис. 3.1. Классификация ППКД обеспечения горно-рекреационных и горно-туристских комплексов.

Довольно широко используют ППКД в качестве средств городского транспорта:

для перевозки рабочих из жилого массива к предприятиям или стройкам, расположенным в горах (Тырны-Ауз, Чиатура и др.);

для доставки обслуживающего персонала к горным обсерваториям, радиорелейным станциям или иным научно-техническим объектам (Абастумани);

для связи между находящимися на разных отметках районами городов, расположенных в горной местности (Чиатура, Тбилиси, Ереван, Алма-Ата и др.);

для перевозки людей через водные преграды (Нью-Йорк, Цюрих, Кельн и др.);

Канатный транспорт (канатные дороги и лифты)

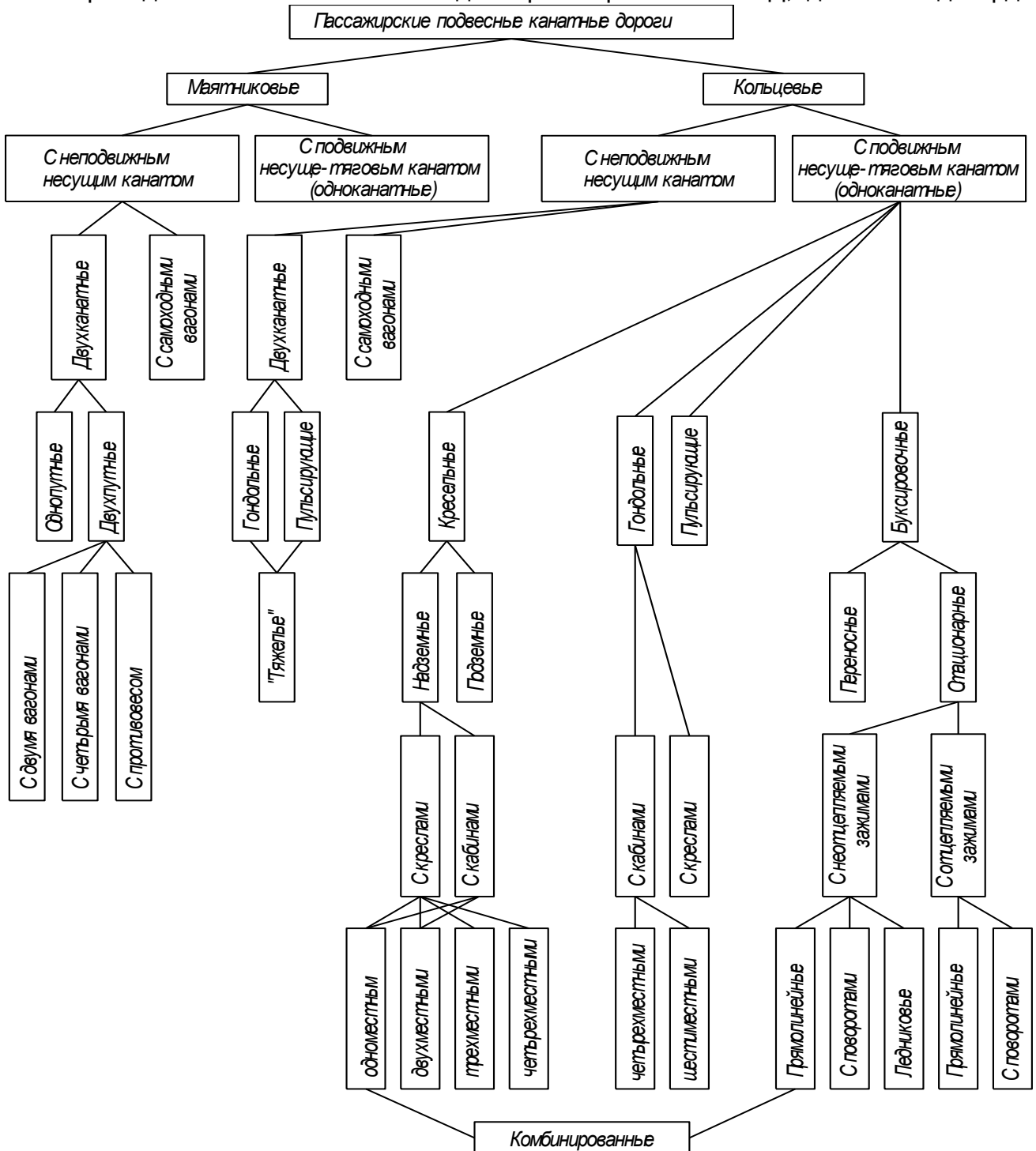
для связи прибрежных рекреационных полос с жилыми массивами и лечебными корпусами; наличие ППКД позволяет более полно использовать положительные свойства микроклимата обеих зон и увеличить общую ширину курортной зоны (Ялта, Сочи, Одесса и др.);

для доставки отдыхающих и туристов в горные парки и к достопримечательностям, расположенным в горной зоне (Тбилиси, Нальчик, Пятигорск, Кисловодск);

для транспортного обслуживания крупных выставочных территорий.

В последние годы с помощью кресельных ППКД специального исполнения начали осуществлять перевозку рабочих по наклонным подземным выработкам на рудниках и в шахтах.

Определение экономических показателей. Технико-экономический анализ, проводимый на начальной стадии проектирования ППКД, должен подтвердить



Канатный транспорт (канатные дороги и лифты)

экономическую целесообразность ее строительства, обоснованность выбора конкретного типа ППКД и, в связи с этим, — оптимальность выбора трассы. Вопрос о рентабельности ППКД рассматривают по-разному для дорог, являющихся элементом горно-туристского, курортного или выставочного комплекса, и дорог чисто транспортного назначения. В первом случае более важной, чем непосредственная рентабельность как отдельной хозяйственной единицы, является так называемая косвенная рентабельность ППКД как элемента системы в целом, заключающаяся в стимулировании притока туристов и развития района в экономическом, культурном или спортивном отношении.

При выработке решения о строительстве ППКД принимают во внимание и такие аспекты, как перспектива развития площадки, защита окружающей среды и др.

Затраты на строительство ППКД

$$K = K_l + K_p + K_{пр} + K_{обв} + K_{нат},$$

где K_l , K_p , $K_{пр}$, $K_{обв}$, $K_{нат}$ - затраты на строительство соответственно линии, перронов для посадки и высадки пассажиров, приводной станции, обводной станции, натяжных устройств (со строительной частью).

Так как затраты на строительство сооружений в значительной степени зависят от профиля поверхности и местных условий площадки, практически для каждой ППКД требуется индивидуальный расчет затрат.

Для горных кресельных ППКД длиной около 2 км, с разностью уровней 400-500 м и пропускной способностью около 400 чел/ч, затраты на строительство линии, приводной (нижней) и натяжной станций (включая перроны и натяжные устройства) относятся между собой в среднем, как 1:0,5:0,2. Для приблизительной оценки затрат на строительство ППКД можно пользоваться показателем «стоимость 1 км линии» и к полученным с его помощью затратам на строительство линии добавлять затраты на строительство станций, взятые из вышеприведенного соотношения или по аналогам.

Для приближенной сравнительной оценки затрат на строительство ППКД разных типов можно пользоваться принятым в Австрии соотношением $B : K : Г1 : Г2 : M = 1 : (1,4 - 1,5) : (2,8 - 3) : (3,7 - 4) : (4,2 - 4,8)$, где B , K , $Г1$, $Г2$ и M - затраты на строительство соответственно буксировочной, кресельной, гондольной одно- и двухканатной и маятниковой ППКД.

Затраты на эксплуатацию ППКД складываются из амортизационных отчислений, заработной платы обслуживающего персонала, затрат на электроэнергию, текущий ремонт и содержание зданий и сооружений. Основную часть эксплуатационных расходов составляют заработная плата и амортизационные отчисления. Увеличение дальности перевозок снижает удельный вес расходов на заработную плату, так как основная масса рабочих находится на станциях, и их численность и, следовательно, фонд заработной платы от длины дороги почти не зависят. Удельный вес затрат на электроэнергию невелик (до 10 %).

Главным экономическим показателем работы ППКД является себестоимость перевозок, определяемая как приведенные годовые затраты на строительство и эксплуатацию, отнесенные к объему A_g перевозок за год. Приведенные расходы

Канатный транспорт (канатные дороги и лифты)

$$П = КЕ_n + Э,$$

где К - затраты на строительство дороги (капитальные вложения); E_n - нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений ($E_n = 0,15$); Э - годовые эксплуатационные расходы.

Себестоимость перевозок

$$С = П/Аг.$$

Годовой объем перевозок определяют исходя из среднесуточной пропускной способности канатной дороги, учитывая неравномерность пассажирского потока в течение года путем введения коэффициента использования дороги (ориентировочно 0,5-0,6), зависящего от ее назначения, местных условий, сезонности, погоды и других факторов.

Сравнительный анализ технико-экономических показателей использования ППКД в качестве средства городского транспорта, выполненный ВНИИПТМАШем [20], показал, что в среднем 1 км канатной дороги заменяет 15 км автомобильной дороги, а капитальные затраты для ППКД в 8 и более раз ниже, чем для традиционных средств городского транспорта. Себестоимость перевозок, определенная по приведенным затратам на 1 км (с учетом сокращения длины транспортирования), для ППКД в 1,5 и более раз меньше. При этом для маятниковых дорог самая высокая, а для кресельных - самая низкая себестоимость перевозок. Затрата времени на поездку на канатных дорогах самая минимальная, что удобно для населения.

Основные положения расчета сети ППКД для обслуживания горнолыжных комплексов. Функционирование горнолыжных центров невозможно без сети ППКД. Одним из главных критериев для определения категорий лыжных станций в приальпийских странах считаются количество и пропускная способность обслуживающих центр ППКД.

Проекту планировки комплекса предшествуют всесторонние изыскания, результатами которых помимо обычных инженерных данных должны быть карты снегового покрова на склонах (период залегания, глубина, лавинная опасность и др.) и предложения по оптимальному сочетанию вместимости лыжных склонов, количества и пропускной способности лыжных трасс и потребности в ППКД различных типов.

Количество, типаж и расположение ППКД комплекса подчиняются общему замыслу прокладки трасс. Должно быть достигнуто взаимное соответствие пропускных способностей тех и других и обеспечен максимум удобств для лыжников при посадке, высадке и транспортировании. Канатные дороги должны образовывать единую систему, обслуживающую все горнолыжные трассы, с учетом многократного подъема лыжников к началу каждой из них. Иными словами ППКД и трассы спуска, как в целом, так и по отдельным направлениям (лучам) должны составлять замкнутые системы. Система в целом по современным понятиям должна охватывать, возможно, больший район и большее число склонов.

Требования безопасности лыжников при спуске позволили выработать эмпирические нормативы пропускной способности горнолыжных туристских трасс. При массовом катании через каждый 10 м ширины трассы должно проходить не более 100 лыжников в 1 ч, что соответствует среднему интервалу

Канатный транспорт (канатные дороги и лифты)

между двумя лыжниками, равному 7 с. Поэтому, если канатная дорога обслуживает лыжную трассу средней ширины 50 м, ее пропускная способность должна быть около 500 чел/ч (практически к этому значению еще добавляют 100-150 чел/ч на обслуживание экскурсантов и пиковые ситуации).

Пропускную способность транспортной ППКД, доставляющей лыжников к началу нескольких расходящихся лучевых магистралей, обслуживающих отдельные группы трасс, определяют исходя из их суммарной суточной вместимости, т. е. суммарного контингента лыжников, загружающих в течение дня эти отдельные замкнутые системы. Указанную вместимость рассчитывают исходя из известного из практики нормативного перепада H высот спуска, который в среднем накатывает один лыжник. Этот перепад составляет 3000-3500 м в день для средних условий.

Зная суммарный перепад h высот лыжных трасс, определяют среднее количество спусков, совершаемых лыжником за день:

$$K = H/h.$$

При числе часов N использования трасс в течение дня и суммарной часовой пропускной способности P_{Σ} всех расходящихся из одной точки лучевых замкнутых систем, состоящих из цепочки ППКД и обслуживаемых ими трасс, получим искомую емкость (человек в день):

$$E = N P_{\Sigma}/K.$$

Это количество лыжников должно быть доставлено транспортной ППКД в точку, откуда расходятся лучевые системы, за время, приемлемое с точки зрения максимальной длительности ожидания подъема одним пассажиром. Поэтому искомая пропускная способность транспортной ППКД будет также зависеть от ожидаемого темпа прибытия пассажиров к ее нижней станции. Если принять, что пассажиры поступают на эту станцию из гостиничного комплекса, за-полняемого лыжниками, посещающими только рассматриваемую систему дорог и трасс, то исходя из значения E можно оценить потребное для них количество мест жилья. Обычно его принимают приблизительно равным $(1,2-1,5) E$, учитывая при этом, что часть отдыхающих не выходит на трассы.

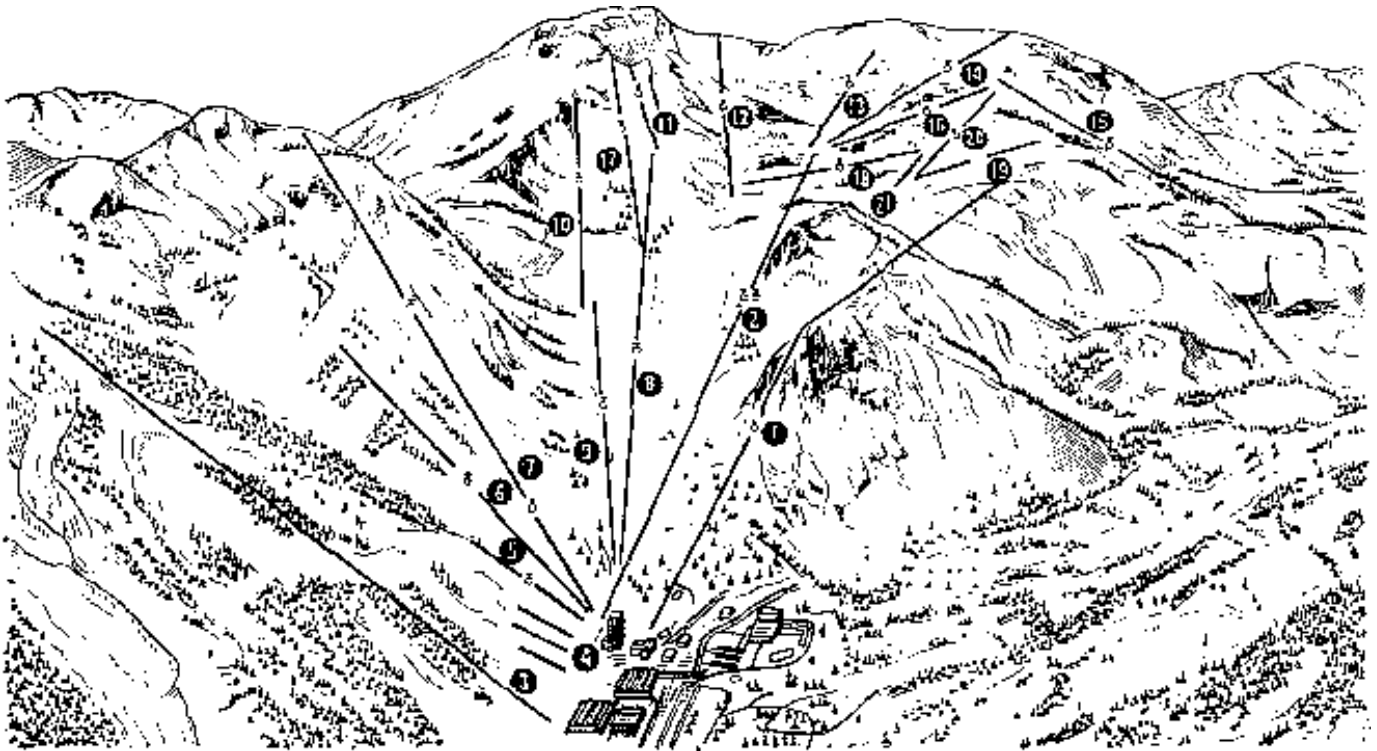


Рис. 3.2. ППКД комплекса Скво-Велли:

1 – маятниковая; 2 – гондольная; 3 – с двухместными креслами; 4 – буксировочные типа «Пома» (6 шт.); 5 – 10 – с двухместными креслами; 11 – с одноместными креслами; 12 – 21 – с двухместными креслами

В приальпийских странах существует несколько вариантов норм, связывающих количество мест жилья в гостиничном комплексе лыжного центра с пропускной способностью транспортных и выполняющих в начале дня роль транспортных ППКД. Так, по нормативам, разработанным во Франции, суммарная пропускная способность этих ППКД должна в 4-6 раз превышать количество мест жилья, т. е. в течение 12-15 мин нижние станции ППКД успевают обслужить всех отдыхающих данного центра.

Примером современного крупного горнолыжного комплекса с большим насыщением канатными дорогами (в основной своей массе кресельными) может служить комплекс в Скво-Велли (США) (рис. 3.2) Суммарная пропускная способность канатных дорог 22 150 чел/ч.

3. Области применения ППКД.

Канатное метро - подвесная пассажирская дорога. Состоит из приводной, натяжной и промежуточных станций остановок, опор и трех канатов, по которым перемещается подвижной состав комфортабельных кабин вагонов.

Максимальная провозная способность канатного метро до 7 (семи) тыс. пассажиров в час, вместимость (число посадочных мест) в одном вагоне до 30 человек, скорость движения - 50 60 км/час.

Канатный транспорт (канатные дороги и лифты)

Провозная способность сопоставима с городскими маршрутными такси, автобусами, троллейбусами, трамваями. В то же время этот вид транспорта обладает целым рядом преимуществ: комфортностью и безопасностью для пассажиров, экономической эффективностью, быстротой строительства, доступностью для всех слоев населения, современным эстетическим видом, высокой рентабельностью.

Трасса канатного метро занимает минимум наземных площадей (всего 0,1 га на строительство 1 км дороги), не пересекает транспортные и людские наземные потоки, экологически безопасна, легко обслуживается. Кроме того, ее проходке не мешают ни рельеф местности, ни объекты, расположенные на земле, ни коммуникации всех видов.

Особенно актуальными они становятся в последнее время, так как позволяют решить проблему передвижения людских потоков в мегаполисах с многомиллионным населением.

Как считают специалисты, станции канатной подвесной пассажирской дороги могут располагаться вблизи или в зоне станций подземного метро, создавая замкнутость трасс передвижения массовых людских потоков, и использоваться как торговые и культурные центры.

Круговая обзорность кабин позволяет проводить экскурсии по городу, подвозить жителей и гостей города на горнолыжные комплексы, озера и исторические места.

Канатное метро может эксплуатироваться при температуре от + 40°C до 40°C, на случай неблагоприятных климатических условий предусмотрены профилактические меры обслуживания.

Строительство подвесной пассажирской дороги, считают специалисты, обходится раз в десять дешевле, чем освоение любого другого вида транспорта, так как не требует прокладки дорог, подземных работ, дорогостоящих транспортных средств и не нарушает состояние строительных объектов и коммуникаций вдоль трассы.

Затраты на сооружение канатного метро окупаются в течение 15 лет, если использовать его в качестве городского транспорта (при стоимости проезда 15 20 рублей), и 5 7 лет как экскурсионно туристический (при цене 500 1000 рублей за экскурсию).

("Технадзор" №9(34) сентябрь 2009 года)

В 2008 году на II Уральском конгрессе выставке подъемно транспортного оборудования "ПТМ Урал - 2008" Владимир Котельников презентовал проект "Канатное метро как средство городского транспорта для Олимпиады 2014 года", разработанный специалистами новочеркасского инженерно консультационного центра (ИКЦ) "Мысль" и самарского ООО "Скадо".

Канатное метро имеет российский приоритет (авторские права защищены Патентами РФ), проекты нацелены на решение транспортных, социальных и экологических проблем в крупных городах.

В настоящее время (март 2011 г.) строительство канатного метро активно ведется в районе Сочи.

Проекты канатного метро разработаны для городов Геленджик, Одесса, Ростов на Дону, Москва, Новороссийск и некоторых других.

Канатный транспорт (канатные дороги и лифты)

Разработчики предлагают создать проект канатного метро и для Екатеринбурга - столицы Урала. Специалисты ИКЦ "Мысль" из Новочеркаска совместно с московским автомобильно дорожным институтом подготовили проект канатного метро для Екатеринбурга.

Существующие аналоги канатного метро.

Конструкция "метроканат", использующая технологии канатной тяги. Для перемещения пассажиров между конечными станциями используются пассажирские кабины с сидениями. "Метроканат" имеет ограниченное применение для урбанизированной среды, т.к. перемещение пассажиров осуществляется только между двумя станциями.

Конструкция струнного транспорта Юницкого(СТЮ). Предназначен для межгородского сообщения. Безопасность конструкции сомнительна в части устойчивости электромодулей на рельс струне при движении со скоростью 300 500 км/час.

Конструкция легкой надземной автоматизированной транспортной системы "Транскар", предназначенной для адресной индивидуальной высокоскоростной и безостановочной доставки пассажиров непосредственно до станции назначения без промежуточных остановок. Является простой разновидностью монорельсовой дороги.

Актуальность создания инновационного пассажирского транспорта продиктована возникшими в последнее десятилетие макро- и микрологических логистических проблемами пассажирских перевозок в урбанизированной среде. Транспортные проблемы городов проиллюстрированы на рис. 1.



Рис. 1. Транспортные проблемы городов

Традиционно транспортные проблемы решаются путем усовершенствования привычных видов городского транспорта, приведенных на рис.2, однако увеличение их количества и скорости движения, выделение специальных полос движения и другие организационные мероприятия не приводят к желаемому результату. В последнее время бурными темпами развиваются альтернативные виды транспорта, в частности, инновационные пассажирские канатные дороги.

Канатный транспорт (канатные дороги и лифты)

Рис. 2. Классический (традиционный) транспорт урбанизированной среды



Пассажирские канатные дороги (ПКД) относятся к непрерывным видам транспорта, которые обладают значительными преимуществами: меньшей протяженностью трасс, высоким уровнем механизации и автоматизации транспортного процесса, значительной производительностью транспортных установок, работают на электрической тяге и др.[1]

Стереотип мышления связывает использование ПКД, как основной вид транспортной инфраструктуры в горноклиматических зонах и туристических комплексах, которые, как правило, являются узловым звеном транспортных технологий, от которых зависит не только нормальное функционирование всего комплекса, но и безопасность отдыхающих там людей.

Технической особенностью конструкции ПКД является ее подвижный состав (вагоны, кабины, гондолы), перемещаемый на некотором расстоянии от поверхности земли по стальным канатам, что позволяет соединять конечные пункты по кратчайшему расстоянию, переходить через преграды высотой до 100 метров.

Бесперебойная работа ПКД практически не зависит от погодных условий, за исключением ураганного ветра (свыше 25 м/с). В условиях плотной городской застройки, пересеченной или горной местности этот вид транспорта является единственно возможным видом логистической связи в урбанистическом пространстве по перевозке пассажиров с минимальными стоимостными и временными затратами.

Канатные дороги обладают целым рядом преимуществ перед существующими видами транспорта, а именно:

- минимальное воздействие на окружающую среду: выброс вредных веществ отсутствуют, шум и вибрация - минимальны;

Канатный транспорт (канатные дороги и лифты)

- относительные энергозатраты на перемещение (до 40 км/час) в 5-10 раз ниже, чем у современного автомобиля;
- для прокладки трассы требуется не более 0,1 га земли на один километр пути с инфраструктурой;
- не требуется сооружения насыпей, выемок, строительства тоннелей, мощных эстакад, путепроводов и виадуков, нарушающих ландшафт;
- обладает повышенной устойчивостью к воздействию стихийных бедствий: землетрясений, наводнений, оползней, цунами и др.;
- стоимость проезда - на уровне традиционных видов общественного транспорта;
- стоимость строительства трассы с инфраструктурой в 2-5 раз дешевле современных железных и автомобильных дорог;
- потребность в строительных материалах и конструкциях, объем земляных работ, расход черных и цветных металлов и т. п. минимальная;
- подвижный состав обеспечивает комфорт и удобство для пассажира, в том числе и для людей с ограниченными возможностями, пожилых граждан и пассажиров с детьми;
- транспортная система обеспечивает безопасность движения за счет резервирования;
- пропускная способность одной трассы до 6,0 тыс. пас./час в каждом направлении;
- трасса канатной дороги не зависит от ландшафта, не имеет пересечений с наземным транспортом в одном уровне;
- возможность реализации больших расстояний между промежуточными опорами в зависимости от топографии до нескольких километров;
- срок строительства 2-3 года до 10 км пути, при этом возможно параллельное строительство и пуск в эксплуатацию поэтапно участки трассы;
- на станциях канатного метро могут располагаться коммерческие площади;
- дизайн станций легко интегрируется в архитектурный облик городских районов;
- в кабине канатного метро до 32 посадочных мест.

В табл. 1. приведены сравнительные характеристики различных видов транспорта, применяемых в урбанизированной среде.

Канатный транспорт (канатные дороги и лифты)

Табл.1.

Сравнительные характеристики различных видов транспорта

№ п/п	Параметр	Метрополитен	Монорельс	Скоростной трамвай	Трамвай	Троллейбус	Автобус	Канатное метро
1.	Максимальный пассажиропоток, тыс. пас/час	30	6	30	18	7	7	6
2.	Стоимость строительства одного км линии, млрд. руб.	7,5	1,8	2,1	0,8	0,6	0,5	0,3
3.	Максимальная скорость движения, км/ч	90	45	60	60	60	60	40
4.	Средняя скорость движения, км/ч	40	15	30	24	20	20	34
5.	Площадь занимаемая одним пассажиром на улице, м ²	0	0	4	3,1	2,4	3,1	0
6.	Коэффициент полезного использования энергии	0,2	0,15	0,3	0,19	0,17	0,14	0,42
7.	Удельный расход энергии Вт*ч/т*км	50	100	60	70	90	120	25
8.	Удельный расход энергоресурсов (в литрах на 100 пассажиро-километров)	1,5	2,0	1,6	2,0	2,3	2,2	0,4
9.	Приведенная стоимость движения при максимальном пассажиропотоке, тыс. руб./пас.	28,9	100,0	2,68	3,12	2,0	1,2	1,8
10.	Приведенная стоимость подвижного состава, тыс. руб./пас/год	2,0	20,0	3,2	3,2	3,2	4,8	0,4
11.	Стоимость пассажиро-километра, руб.	5,3	3,9	2,8	3,5	2,9	3,8	2

Перечисленные выше аргументы свидетельствуют о том, что канатный транспорт является достаточно перспективным, что и отображает наметившиеся в настоящее время в мире предпосылки для его развития.

В настоящее время организации, занимающиеся проектированием и реконструкцией транспортной инфраструктуры городов, не имеют практически никакой информации о возможностях канатных дорог, как одного из видов городского транспорта: по перевозке людей к местам их работы и проживания; транспортная связь санаториев и домов отдыха, находящихся на значительном удалении от прибрежной полосы; логистика между отдельными районами городов, разделенными водными препятствиями; транспортировка посетителей

Канатный транспорт (канатные дороги и лифты)

крупных выставок и развлекательных парков. Кроме того, канатные дороги можно использовать в тех случаях, когда экономически не целесообразно сооружение мостов, переходов и тоннелей.

Широкое распространение в качестве городского транспорта ПКД получили в Европе, Азии и Латинской Америки. Для таких крупных городов, как Нью-Йорк, Лондон, Милан, Кельн, Барселона, Каир, Каракас разработаны проекты подвесных пассажирских канатных дорог для разгрузки пассажирского транспорта в сильно застроенной деловой части городов [1,2].

Авторами разработано абсолютно новое предложение по модернизации и технологическому развитию логистических задач транспортной инфраструктуры для урбанизированной среды – канатное метро, которое коренным образом может изменить ситуацию на городском пассажирском транспорте. Концепция и конструктивные решения канатного метро имеют российский приоритет в виде патентов РФ [3,4,5], нацелены на решение транспортных, социальных и экологических проблем в городах.

На рис. 3. представлены компьютерные модели канатного метро, интегрированного в урбанистическую среду. Предложенный инновационный транспорт дает возможность свести к минимуму воздействие на окружающую среду и обеспечить высокий уровень комфортности и безопасности при перевозке пассажиров, кардинально меняя логистику пассажиропотоков в пространстве и времени.

Рис. 3. Компьютерная модель промежуточных опор и подвижного состава канатного метро, интегрированного в урбанистику



Канатное метро - комфортабельное, социально ориентированное, дешевое при строительстве и эксплуатации, доступное, легко адаптированное к урбанизированной среде, надежное и безопасное в эксплуатации, экологически чистое, не создающее шумов и вибраций на станциях - вид общественного транспорта, не имеющего пересечений в одном уровне с любыми другими маршрутами движения, проложенного над проезжими частями улиц и городской застройкой.

Конструктивно канатное метро состоит из конечных и промежуточных станций, соединенных между собой путями из тяговых и несущих канатов с подвешенными на них пассажирскими вагонами, приводимыми в движение тяговым канатом посредством привода. Между станциями установлены промежуточные опоры с балансирными, на которые опираются стальные канаты,

Канатный транспорт (канатные дороги и лифты)

высота закрепления которых варьируется в зависимости от рельефа местности и высоты строений, расположенных под путями движения. Все станции (рис. 4) установлены на арочных или Г(Т)-образных опорах над проезжими частями улиц с сохранением под ними габаритов для движения городского автотранспорта и соединенными со всеми станциями в каждом направлении двумя независимыми путями. Пассажирские вагоны приводятся в движение тяговым канатом посредством дискретного привода с мехатронными модулями движения. Тяговый канат опирается на ролики балансиров, часть которых входят в кинематическую цепь мехатронных модулей движения, а специальные конвейеры пересадочных станций оборудованы системой переадресации пассажирских вагонов на другие пути движения [3].

Рис. 4. Станции канатного метро, интегрированные в урбанистическую среду



Применение дискретного привода с мехатронными модулями движения для канатного метро, представленного на рис. 5, позволяет получить инновационные преимущества по сравнению с традиционными конструкциями пассажирских канатных дорог:

- отсутствуют ограничения длины по пути транспортирования;
- снижены на 40% габаритные и массовые характеристики основных элементов оборудования канатной дороги (каната, шкива, опорных роликов, балансиров);
- улучшена динамика (снижена подвижная масса каната);
- повышена энергоэффективность на 30%;
- улучшен комфорт пассажиров (разгон, торможение, переход через опоры);
- увеличена скорость движения вагонов до 20 м/с;
- снижены затраты по транспортировке и монтажу;
- повышена безопасность и постоянная готовность при эксплуатации (многократное резервирование - всегда довезет пассажиров до конечной станции).

• Дискретный привод позволяет: освободить станции от стационарных приводов, имеющих значительные габариты и массу; создать комфорт на станциях за счет снижения шума и вибрации; распределять тяговое усилие по всей длине тягового каната, что дает возможность применять стальной канат меньшего диаметра; создать трассу практически бесконечной длины; повысить безопасность, продолжая движение вагонов по маршруту, даже при выходе из строя части мехатронных модулей движения дискретного привода, реализовывая принципы резервирования.

Канатный транспорт (канатные дороги и лифты)

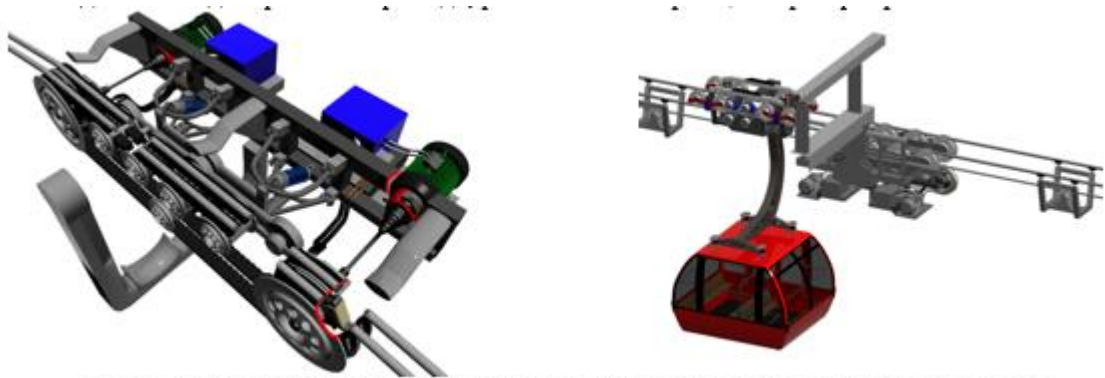


Рис. 5. Мехатронные модули движения дискретного привода канатного метро

Новизна предлагаемого технического решения состоит в размещении мехатронных модулей движения на промежуточных опорах, что позволяет при одинаковой энергоемкости увеличить длину трассы подвесной канатной дороги, за счет воздействия каждого модуля на отдельный его приводной участок, расположенный между опорами.

Применение дискретных приводов с мехатронными модулями движения, снижающих энергоемкость многоканатных транспортных систем, открывает новые перспективы для развития пассажирского канатного транспорта в урбанизированной среде.

На станциях канатного метро (рис. 6) имеется возможность разместить коммерческие и социально ориентированные объекты инфраструктуры для пассажиров в виде кафе, магазинов, аптек, пунктов приема оплат, отделений банков, туалетов и пр.

Рис. 6. Компьютерная модель станций канатного метро



Станции соединены между собой в каждом направлении двумя независимыми путями, на которых, посредством тележек с захватом, подвешены

Канатный транспорт (канатные дороги и лифты)

отцепляемые на станциях пассажирские вагоны. Дублирование путей в одном направлении повышает надежность и безопасность: во время ремонта одного из путей; при проведении спасательной операции в случае аварийной остановки вагонов; возможности варьирования количеством вагонов на каждом пути в зависимости от пассажиропотока.

На пересадочных станциях конвейер оборудован системой переадресации пассажирских вагонов на другие пути движения, что позволяет пассажирам производить пересадку на другие пути (маршруты) без высадки из подвижного состава, а также, в случае нестандартной ситуации, оперативно снимать подвижный состав с маршрута в депо, заменив его другим.

Канатное метро работает следующим образом. Пассажиры приходят к концевой, промежуточной или пересадочной станциям по галереям, оборудованных лестницами, эскалаторами, лифтами и пропускными системами, попадают на посадочную платформу, где стоят или медленно движутся пассажирские вагоны. Люди, входят в пассажирские вагоны, и усаживаются на посадочные места. После сигнала, поступающего из вагона или дежурного по станции, пассажирские вагоны подхватываются конвейерами, разгоняются до скорости движения тягового каната и с помощью захвата, расположенного на тележке, попадают на несущие канаты, где продолжают движение по путям до следующей станции.

Инвестиционная привлекательность канатного метро состоит в том, что стоимость строительства на порядок дешевле любого другого вида городского общественного транспорта. Строительство не требует внешних инвестиций и осуществляется за счет продажи коммерческих площадей на станциях. Затраты на эксплуатацию покрываются стоимостью проездных билетов.

Анализ урбанистической среды города Одессы показал, что особенностью городской, туристической и экскурсионной логистики является протяженная застройка вдоль побережья на 25 км Одесского залива Черного моря. Население более одного млн. чел.

В 2010 году Одессу посетили более одного миллиона туристов. Отдыхающие с проживанием – около 500 тыс. чел. Однодневные туристы - более 500 тыс. чел., дающие максимальный доход в бюджет города.

Морские круизы - один из наиболее востребованных направлений отдыха в Одессе. Свыше 70 лайнеров подали заявки на заходы в Одессу.

Особенностью туристических маршрутов – посещение исторической части города, парка им. Шевченко, пляжей от Лузановки до Аркадия и далее в сторону Фонтана. На рис. 7 представлены основные достопримечательности г. Одессы.

Канатный транспорт (канатные дороги и лифты)



Рис. 7. Достопримечательности Одессы

В настоящее время авторами разработана концепция инновационного городского транспорта по развитию канатного метро в Одессе, как туристического,

Канатный транспорт (канатные дороги и лифты)

так и городского транспорта. На рис. 8 представлены маршрут туристического и городского канатного метро в Одессе, а в табл. 2 его технико-экономические характеристики.

Рис.8. Маршрут канатного метро в Одессе



Таблица 2.

Характеристики туристического канатного метро в Одессе

Показатели проекта	Туристическая логистика	Городская логистика
Количество станций, шт.	технически неограниченно	11
Длина маршрута, км	25	13,2
Количество опор, шт.	120	70
Количество кабин, шт.	160	70
Пассажировместимость одной кабины	до 32 чел.	до 32 чел.
Время строительства, лет	3-4	
Время в пути, мин	40	25
Скорость движения, км/ч	до 40	до 40
Пассажиропоток, чел./час	до 6000	до 6000
Стоимость, млн. евро.	150-250	109
Срок окупаемости, лет	5-7	7-10

Суть концепции состоит в кардинальном изменении городского, туристического и экскурсионного обслуживания жителей, отдыхающих и гостей во вновь созданной среде обитания путем логистического объединения спальных районов и достопримечательностей города с его центральной частью, в цельный органический комплекс с помощью канатного метро.

Канатный транспорт (канатные дороги и лифты)

Таким образом, реализуя предложенную концепцию транспортной системы с использованием канатного метро, возможно будет жителям самых отдаленных спальных районов добраться до центра города на экологически чистом транспорте в течение 30 минут.

Туристическое и экскурсионное обслуживание позволит однодневным туристам в рамки одного светового дня (4-8 часов) посетить достопримечательности города. Мировой опыт свидетельствует об экономической целесообразности организации такого туризма. Для реализации предложенной концепции к туристическим и экскурсионным услугам предъявляются определенные требования, а именно:

1. Максимальных охват достопримечательностей в течение одного светового дня.
2. Необычность, оригинальность и привлекательность туристических маршрутов с новыми видами транспорта.
3. Высокий уровень комфорта для пассажиров при перемещении между объектами, в том числе детей и инвалидов.
4. Функционирование туристической и экскурсионной системы в любых климатических условиях зимой и летом.
5. Доступность, экологичность и безопасность.
6. Мобильность и гибкость туристических и экскурсионных маршрутов по времени в любых климатических условиях.
7. Доступность, экологичность, безопасность в чрезвычайных ситуациях.
8. Минимальное воздействие на сложившуюся урбанистику и природный ландшафт.
9. Минимизация стоимости при транспортировке туристов.

Авторами разработаны типовые архитектурно-планировочные решения станций канатного метро (рис. 9), интегрированные в существующую уличную и транспортную инфраструктуру урбанистической среды.

Рис. 9. Типовые архитектурно-планировочные решения станций канатного метро



Канатный транспорт (канатные дороги и лифты)

Таким образом, проведенные анализ представленных материалов свидетельствует о высокой степени привлекательности канатного метро с точки зрения потенциальных инвесторов и целесообразности дальнейшей реализации этого проекта как инновационного для Одессы.

Литература:

1. Исследование модели организации функционирования общественного транспорта за рубежом // Экономика, управление, общество: история и современность /Материалы Всероссийской научно-практической конференции молодых исследователей, аспирантов и соискателей ч.2. – Хабаровск: Изд-во ДВАГС.-2007. – С.59-66.

2. Короткий А.А., Маслов В.Б. и др. О перспективах применения канатного транспорта // Безопасность труда в промышленности.- 2005.- №6.- С.30-34.

3. Городская канатная дорога / Котельников В.С., Маслов В.Б., Короткий Д.А., Козловский А.Е., Иванов К.М., Допельмайер Михаэль // Патент на изобретение №2381931 от 20.02.2010 Бюл. №5 по заявке №2008137853 от 22.09.2008

4. Демонстрационный стенд городской канатной дороги/Короткий Д.А., Маслов В.Б., Маслов Д.В., Бондаренко Б.И., Панфилов А.В. //Патент на полезную модель №97558 от 10 сентября 2010 Бюл. №25 от 10.09.2010

5. Городская канатная дорога /Короткий Д.А., Маслов В.Б., Маслов Д.В., Кирсанов М.В., Панфилов А.В. // Патент на изобретение №2412840 от 27 февраля 2010. Бюл. №6 от 27.02.2011

Лекция №2

1. Общее устройство, конструктивные особенности подвесных канатных дорог

Подвесные канатные дороги (ПКД) – это транспортирующие машины, тяговым и грузонесущим элементом которых является канат, подвешенный на опорах над поверхностью земли.

Подвесные канатные дороги классифицируют по следующим признакам:

по назначению: грузовые и пассажирские;

по характеру движения грузонесущих элементов: кольцевые; маятниковые;

по конструкции: одноканатные; двухканатные.

2. Основные элементы подвесных канатных дорог

2.1. Одноканатные грузовые подвесные дороги

Характерной особенностью одноканатных грузовых подвесных дорог является то, что функции несущего и тягового элемента выполняет несущий канат, замкнутый в кольцо (рис. 1). Загруженные вагонетки одноканатных грузовых подвесных дорог перемещаются по жесткому рельсовому пути к выходу

Канатный транспорт (канатные дороги и лифты)

со станции, где они подключаются к тяговому канату и перемещаются по несущему канату грузовой ветви к разгрузочной станции Б (рис. 1).

Вагонетки совершают кольцевое движение, но на линии между станциями А и Б они не опираются на гибкий подвесной путь, а подвешены к непрерывно движущемуся несуще-тяговому канату и перемещаются вместе с ним.

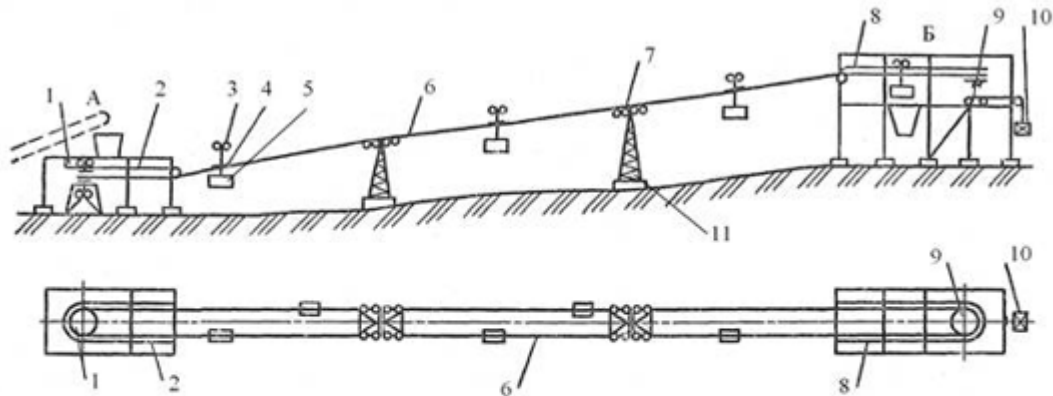


Рис. 1. Одноканатная подвесная канатная дорога с кольцевым движением:
 1 – фрикционный привод; 2, 8 – рельсовые пути; 3 – ходовые колеса;
 4 – зажимной аппарат; 5 – вагонетки; 6 – канат; 7 – балансирные роликовые
 батареи;
 9 – концевой шкив; 10 – груз натяжного устройства; 11 – опоры

При входе на станцию вагонетки автоматически отключаются от каната и передвигаются по жестким рельсовым путям, опираясь ходовыми колесами, при сходе с рельсового пути вагонетки автоматически сцепляются с канатом зажимным аппаратом. Несуще-тяговый канат приводится в движение фрикционным приводом с канатоведущим шкивом.

2.2. Двухканатные грузовые подвесные дороги

Характерной особенностью двухканатных грузовых подвесных дорог с кольцевым движением является наличие гибких подвесных путей – несущих канатов, по которым совершает кольцевое движение подвижной состав (вагонетки), перемещаемый между станциями тяговым канатом, замкнутым в кольцо (рис. 2).

На погрузочной станции А вагонетки с помощью выключателя освобождают от тягового каната и загружают из бункера. Здесь вагонетки снова переходят на жесткий рельсовый путь, соединяющий несущие канаты грузовой и холостой ветвей, разгружаются в бункер, обходят оборотный шкив тягового каната, подключаются к нему и по несущему канату холостой ветви возвращаются в пункт А. Концы несущих канатов закреплены на станции А, а на станции Б натянуты грузами.

У однопутной двухканатной подвесной дороги (рис. 3) маятниковое (реверсивное) движение по несущему канату совершает только одна вагонетка, несущий канат прикреплен к якорю и натянут контргрузом. Тяговый канат (как на дорогах с кольцевым движением) отводится на одной из станций к приводу, а на другой натягивается контргрузом.

Канатный транспорт (канатные дороги и лифты)

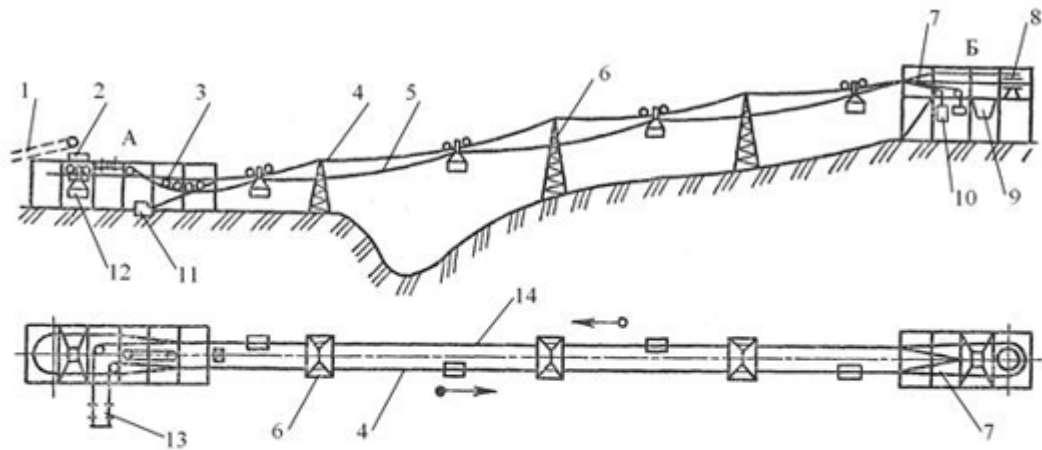


Рис.2. Двухканатная грузовая подвесная дорога с кольцевым движением:
 1 – загрузочный конвейер; 2, 9 – бункер; 3, 7 – рельсовый путь; 4, 14 – несущие канаты;
 5 – тяговый канат; 6 – опоры; 8 – оборотный шкив; 10 – грузы натяжного устройства;
 11 – закрепляющие якоря; 12 – вагонетки; 13 – фрикционный привод

В качестве привода иногда используется лебедка с барабаном, на котором закреплены два конца каната – сбегаящий и набегающий, в этом случае натяжное устройство не применяется.

Дороги данного типа выполняют как однопутными, так и двухпутными – тогда маятниковое движение в противоположных направлениях выполняют две вагонетки, присоединенные к общему тяговому канату.

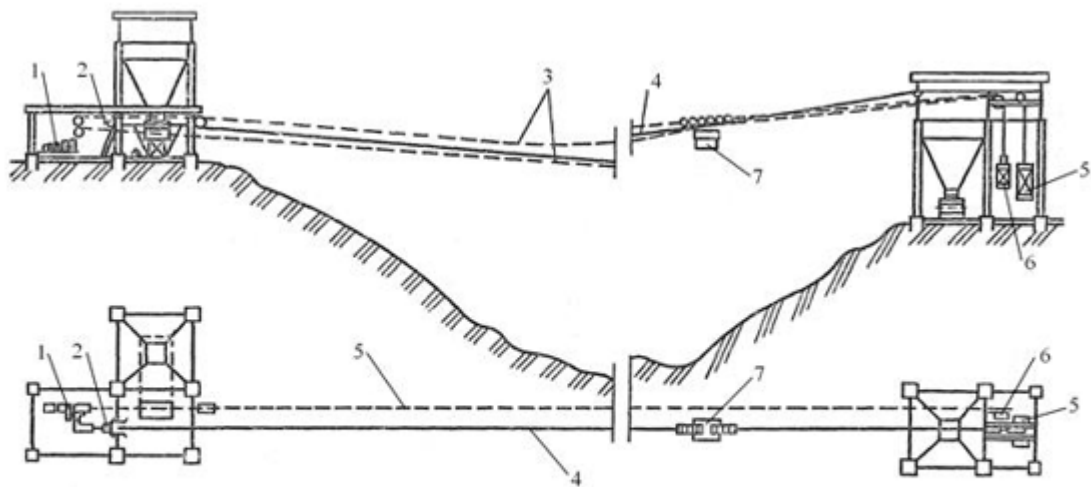


Рис.3. Двухканатная подвесная канатная дорога с маятниковым движением:
 1 – фрикционный привод; 2 – якорь; 3, 5 – тяговый канат; 4 – несущий канат;
 6 – контргруз; 7 – вагонетка

2.3. Пассажирские подвесные канатные дороги

Принцип действия пассажирских подвесных канатных дорог аналогичен принципу действия грузовых подвесных канатных дорог. Пассажирские подвесные канатные дороги выполняют одно- и двухканатными; они имеют кольцевое и маятниковое движение. Принципиальное отличие пассажирских канатных дорог от

Канатный транспорт (канатные дороги и лифты)

грузовых состоит в конструкции подвижного состава и повышенных требованиях к безопасности.

По конструкции подвижного состава пассажирские подвесные канатные дороги:

Кресельные (обычно одноканатные кольцевые) – с открытыми креслами или легкими полуоткрытыми кабинами, подвешенными к непрерывно движущемуся несущему-тяговому канату; посадка и высадка пассажиров происходит на ходу.

Первая одноместная кресельная канатная дорога была построена в США в 1935 году; в наше время кресельные канатные дороги существуют почти во всех странах мира и продолжают строиться неослабевающими темпами. Кресельные канатные дороги являются универсальным транспортным средством, обслуживающим горнолыжников и любителей летних горных аттракционов, посетителей высокогорных курортов и туристов.

Для лыжников и сноубордистов преимущество кресельной дороги перед буксировочной очевидно – это подъем в комфортабельном кресле с подножкой, что способствует наиболее полному восстановлению лыжникам перед спуском, а также возможность ее круглогодичной эксплуатации.

Кресельные канатные дороги состоят из приводной и обводной станций, натяжного устройства, подвижного состава (в данном случае – кресел) и линейных опор с роликовыми балансирами, поддерживающими канат.

Канат выполняет несущую и тяговую функции, натяжка каната осуществляется противовесом или гидравлической системой.

В качестве подвижного состава используются кресла от 2-местных до 12-местных с отцепляемыми или фиксированными зажимами. Канатные дороги с неотцепляемыми креслами (постоянно закрепленными на канате) получили большое распространение и строятся до сих пор, хотя в современных горнолыжных центрах преимущество имеют дороги с отцепляемыми креслами.

С учетом требований действующих правил безопасности, скорость движения канатных дорог с неотцепляемыми креслами при перевозке обычных пассажиров не превышает 2,25 м/с, а при перевозке лыжников – 2,5 м/с.

Максимальная пропускная способность дороги составляет: 1200 чел/час для дороги с 2-местными креслами и 1800 чел/час для дороги с 4-местными креслами.

На площадках посадки устанавливается специальный турникет, автоматически «дозировующий» очередь пассажиров по отдельным креслам (турникеты незаменимы при эксплуатации дорог с 4-8-местными креслами), в качестве дополнительного средства, помогающего организовать одновременную посадку в кресло шести и более лыжников, применяются специальные посадочные конвейеры, предварительно расставляющие лыжников в ряд.

Для быстрой доставки пассажиров в креслах на расстояния свыше 1000 м широко применяются канатные дороги с отцепляемыми креслами. Несущий-тяговый канат на таких дорогах движется с постоянной скоростью 5 м/с, во время посадки и высадки пассажиров на станциях кресла с раскрытыми зажимами движутся по специальному конвейеру со скоростью 0,3 м/с.

На выходе со станции кресла разгоняются до скорости 5 м/с, зажимы автоматически закрываются и фиксируются на канате – такая схема позволяет

Канатный транспорт (канатные дороги и лифты)

пассажирам более комфортно совершать посадку и высадку и вдвое сокращать время проезда.

Пропускная способность канатных дорог, оснащенных креслами с отцепляемыми зажимами, может достигать 2600 чел/час (для дороги с 4-местными отцепляемыми креслами) и до 4000 чел/час (для дороги с 8-местными отцепляемыми креслами).

Гондольные (одно- или двухканатные кольцевые) с кабинами (гондолами) или креслами, отцепляемыми от каната на конечных станциях и обеспечивающими более комфортабельный вход и выход пассажиров.

Кабинные канатные дороги являются универсальным транспортным средством, обслуживающим горнолыжников и любителей летних горных аттракционов, посетителей высокогорных курортов и туристов; используются в качестве транспортных магистралей для преодоления водных преград и горных ущелий.

По типу движения кабинные канатные дороги разделяют на два класса: с маятниковым (возвратно-поступательным) и кольцевым режимом движения. К преимуществам маятниковых гондольных дорог можно отнести простоту конструкции станций, недостатком является резкое снижение производительности с увеличением длины дороги.

В качестве подвижного состава гондольных канатных дорог применяются группы из нескольких кабин вместимостью от 6 до 24 человек или отдельные вагоны вместимостью от 28 до 150 человек в зависимости от требуемой производительности.

Маятниковая схема получила наибольшее распространение в связи с тем, что она обеспечивает постоянство пассажиропотока и максимальную производительность. Различают дороги с равномерным размещением кабин по линии и с несколькими группами кабин.

Дороги с кольцевым режимом движения можно разделить на дороги с постоянно закрепленными и отцепляемыми кабинами.

Кабинные канатные дороги состоят из приводной и обводной станций, натяжного устройства, подвижного состава (кабин) и линейных опор с роликовыми балансирными, поддерживающими канат. Натяжка каната осуществляется противовесом или гидравлической системой.

С учетом требований действующих Правил безопасности скорость движения канатных дорог с неотцепляемыми кабинами с кольцевым пульсирующим движением групп 2–6-местных кабин не должна превышать 4 м/с; посадка и высадка пассажиров на станциях осуществляется при остановленном подвижном составе или на скорости 0,2–0,5 м/с.

Производительность дорог такого типа зависит от количества групп кабин, количества кабин в каждой группе и типа кабин и не превышает 500 чел/час. Дороги данного класса обычно применяются для решения проблем транспортного и экскурсионного обслуживания.

Для быстрой доставки пассажиров на расстояния свыше 1000 м широко применяются кабинные канатные дороги с отцепляемым на станциях подвижным составом: несущий-тяговый канат на таких дорогах движется с постоянной скоростью 6 м/с, во время посадки и высадки пассажиров на станциях кабины с

Канатный транспорт (канатные дороги и лифты)

раскрытыми зажимами движутся по специальному конвейеру со скоростью 0,3 м/с, на выходе со станции кабины разгоняются до скорости 6 м/с, зажимы автоматически закрываются и фиксируются на канате.

Кабины крепятся к канату с помощью специальных отцепляющихся зажимов, не требующих никакого технического обслуживания. При входе гондолы на станцию ее зажим отцепляется от тягово-несущего каната, и она переходит на стационарный подвесной конвейер, при этом скорость кабины уменьшается до 0,3 м/с, ее двери автоматически открываются и пассажиры выходят; затем гондола продолжает свое движение на стационарном конвейере на другую сторону станции, пассажиры заходят в кабину, двери автоматически закрываются, гондола разгоняется конвейером до скорости каната, зажим захватывает канат и гондола выходит со станции; снаружи кабины предусмотрены специальные ниши для лыж.

Рядом с приводной станцией сооружается гараж для парковки гондол на время остановки или технического обслуживания дороги, внутри гаража гондолы перемещаются по направляющему рельсу вручную или с помощью цепного конвейера.

Гондольные дороги выполняют как транспортную функцию доставки пассажиров от жилых зон или паркингов в зону горнолыжного катания, так и для доставки лыжников к началу горнолыжной трассы. Кроме того, гондольные дороги успешно используются в теплое время года для экскурсионных и туристических целей.

Разновидностью гондольных дорог является система, в которой используются два тягово-несущих каната и кабины вместимостью до 36 пассажиров, производительность этих дорог составляет до 4500 чел/час. В отличие от традиционных систем, позволяющих эксплуатацию при скорости ветра не более 15 м/с дорога такого типа может эксплуатироваться при скорости до 25 м/с.

Буксировочные (одноканатные кольцевые) с неотцепляемыми подвесками (бугелями), снабженными буксировочными приборами для одного или двух лыжников (пассажиры захватывают приборы на ходу). В состав буксировочной (бугельной) канатной дороги входят:

- верхняя и нижняя станции (приводная и натяжная или совмещенный привод-натяжка и обводная станция);
- линейные опоры с балансирами, поддерживающими несуще-тяговый канат;
- буксировочные устройства.

Буксировочные канатные дороги (БКД) предназначены для эксплуатации в зимнее время года и служат для транспортировки лыжников и сноубордистов вверх по склону путем буксирования.

Приводная станция может размещаться как вверху склона, так и внизу – в зависимости от удобства подведения электроэнергии. Натяжение каната может регулироваться как с помощью контргруза, так и цилиндрами гидронатяжки.

В зависимости от количества посадочных мест на буксировочном устройстве, БКД делятся на двухместные и одноместные. Буксировочное устройство должно обеспечивать плавность в начале движения лыжника за счет вытяжки тросика; рекомендуемая скорость движения БКД от 2 до 3,5 м/с.

Канатный транспорт (канатные дороги и лифты)

Существуют дороги с накопителем буксировочных устройств, однако БКД с накопителями находят все меньшее применение, в связи с рывками, возникающими при посадке. Буксировочные канатные дороги могут быть не только прямолинейными, но иметь и повороты трассы.

Используются два типа буксировочных канатных дорог:

тип 1. Дорога с Т-образными опорами и буксировочными устройствами с вытяжкой буксировочного тросика 6,5 м – такие буксировочные устройства обеспечивают плавность движения и удобство посадки;

тип 2. Дорога с П-образными опорами и буксировочными устройствами штангового типа с вытяжкой тросика 1 м.

Скорость движения таких дорог от 2,4 до 2,8 м/с; максимальная производительность дорог с одноместными буксировочными устройствами составляет 720 чел/час при длине склона до 600 м.

Максимальная производительность буксировочных канатных дорог с двухместными буксировочными устройствами составляет 1200 чел/час, что обусловлено условиями безопасной посадки и движения; скорость составляет 3–3,5 м/с. Применение дорог данного типа рекомендуется на склонах от 400 до 1700 м. Преимуществом дорог данного типа является возможность быстрого монтажа-демонтажа.

Максимальная пропускная способность для дорог с одноместными бугелями – 900 чел/час и двухместными – 1200 чел/час.

Бугели безопасны для лыжников, надежны при эксплуатации и наиболее просты в обслуживании, а также экономичны по потреблению электроэнергии. Привод буксировочной канатной дороги размещается на нижней станции. Тяговый канат расположен в вертикальной плоскости, поэтому его обратная ветвь спуска поддерживается Г-образными опорами с роликами.

Положение нижней подъемной ветви каната может регулироваться по высоте в зависимости от высоты снежного покрова. Для свободного прохода снегоуплотняющей машины нижняя ветвь каната может быть поднята на высоту верхней. Нижняя станция буксировочной дороги оснащена приводом с грузовой натяжкой.

3. Элементы ПКД и подвижной состав

Несущие канаты. В качестве несущих применяют закрытые канаты ГОСТ 7675-73 и ГОСТ 7676-73 с внешним рядом фасонных S-образных проволок. Отрезки несущих канатов соединяют с помощью линейных муфт с винтовой стяжкой (рис. 4). Концы соединяемых канатов заводят в половинки муфты, расплетают, заклинивают стальными клиньями, затягивают во внутренние конусные части полумуфты и соединяют винтовой стяжкой.

Канатный транспорт (канатные дороги и лифты)

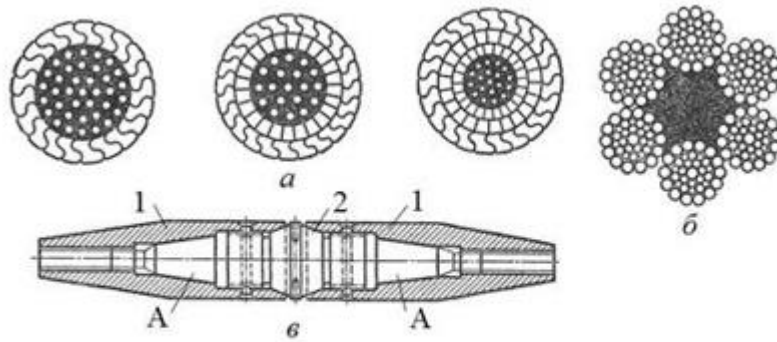


Рис. 4. Несущие и тяговые элементы канатной дороги:
a – сечения несущих канатов; *б* – сечение тягового каната; *в* – линейная муфта;
 1 – полумуфта; 2 – винтовая стяжка; А – конусные части полумуфты

Тяговые и несуще-тяговые канаты при эксплуатации подвергаются частым перегибам на шкивах, блоках и роликах, а также сжатию в зажимах сцепных приборов и истиранию.

Тяговые и несуще-тяговые канаты должны иметь повышенную гибкость, гладкую наружную поверхность, податливость при поперечном сжатии для надежного крепления в зажимах, высокую прочность и долговечность. В качестве тяговых и несуще-тяговых канатов используют канаты типа ЛКО.

Соединение отдельных участков канатов выполняют счалкой, длину счалки принимают не менее 1000 диаметров каната для грузовых и не менее 3000 диаметров каната для пассажирских дорог.

Подвижной состав грузовых канатных дорог. Вагонетки двухканатных грузовых канатных дорог с кольцевым движением (основной тип) изготавливают с опрокидывающимся кузовом (рис.5) или открывающимся днищем.

Благодаря шарниру кузов сохраняет отвесное положение на наклонных участках дороги. Цапфы расположены ниже центра тяжести загруженного кузова и выше его центра тяжести в незагруженном состоянии, кроме того цапфы смещены от оси симметрии кузова, поэтому загруженный кузов легко опрокидывается и возвращается в исходное положение после разгрузки.

Канатный транспорт (канатные дороги и лифты)

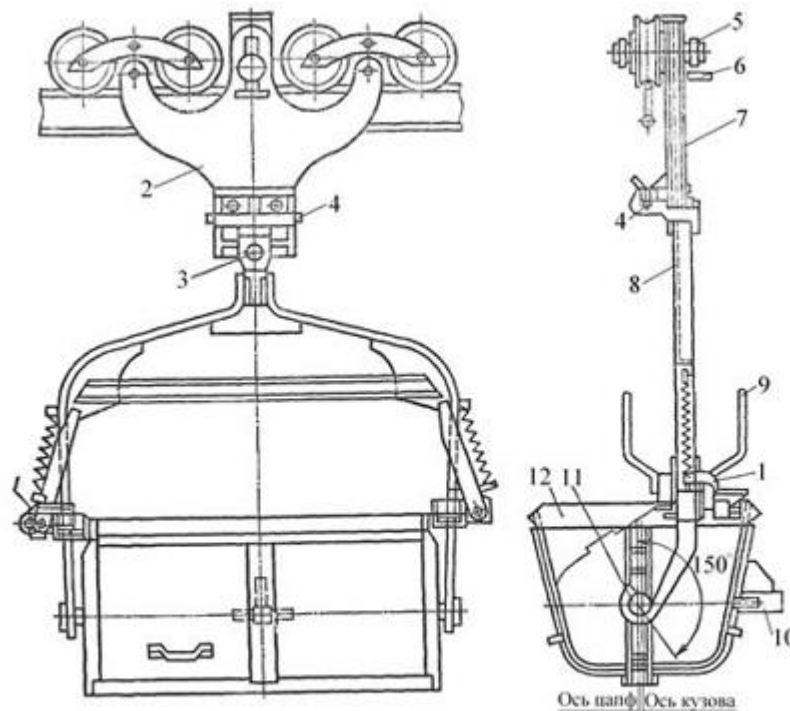


Рис.5. Вагонетка с опрокидывающимся кузовом:

1 – защелка; 2 – тележка; 3 – шарнир; 4 – зажимной аппарат; 5 – боковой ролик;
6 – шина; 7 – тяга; 8 – подвеска; 9 – запорный рычаг; 10 – палец; 11 – цапфа; 12 –

кузов

При наезде бокового ролика на шину подвижная щека поворачивается, и зажим освобождает тяговый канат, при сходе ролика с шины тяговый канат зажимается щеками и вагонетка прикрепляется (операции прицепки и отцепки происходят автоматически).

Нормальный ряд грузоподъемностей ходовых тележек вагонеток (включая массы груза, кузова и подвески): 800; 1250; 2000; 3200 кг. Вместимость кузова 0,25; 0,32; 0,4; 0,5; 0,63; 0,8; 1,0; 1,25; 1,6; 2,0; 2,5; 3,2 м³.

Подвижной состав пассажирских канатных дорог. Подвижной состав отечественных кресельных одноканатных пассажирских дорог состоит из неотцепляемых одноместных или двухместных кресел правого и левого исполнения с подножкой или без подножки и двухместных кабин.

Кресла (рис. 6) и кабины (рис. 7) прикрепляются к несуще-тяговому канату пружинно-винтовым зажимом, связанным с подвеской с сиденьем кресла или каркасом кабины.

Канатный транспорт (канатные дороги и лифты)

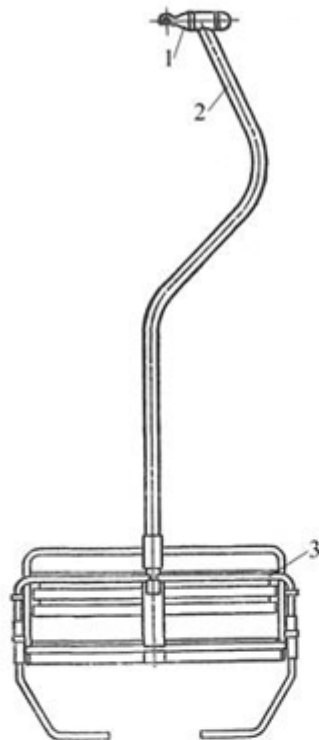


Рис. 6. Кресло кресельной пассажирской подвесной канатной дороги:
1 – пружинно-винтовой зажим; 2 – подвеска; 3 – сиденье

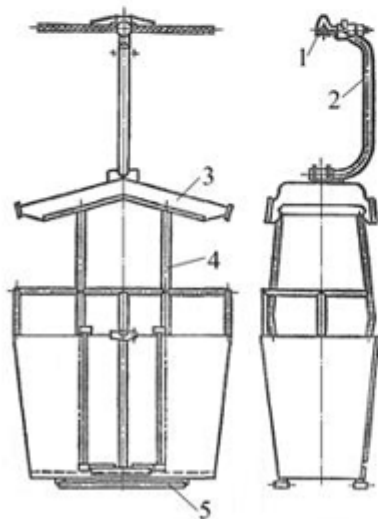


Рис. 7. Кабина кресельной пассажирской подвесной канатной дороги:
1 – пружинно-винтовой зажим; 2 – подвеска; 3 – козырек; 4 – каркас кабины; 5 –
двери

Кабины выполняются с козырьками или без козырьков и снабжаются дверями. Конструкция и размеры кресел подвесных канатных дорог стандартизованы.

Вагоны отечественных маятниковых пассажирских подвесных дорог выполняют 10-, 20-, 40-, 60-, 80-, 100-, 125-местными. Конструкция таких вагонов включает тележку, подвеску и кабину.

Привод. Преимущественное применение в грузовых и пассажирских канатных дорогах с кольцевым и маятниковым движением имеет фрикционный привод с канатоведущими шкивами.

Канатный транспорт (канатные дороги и лифты)

Силы сцепления зависят от коэффициента трения между канатом и канатоведущим шкивом, угла обхвата канатоведущего шкива канатом (рис. 8) и усилия натяжения ветвей каната на канатоведущем шкиве. Для увеличения коэффициента сцепления μ каната со шкивом ($\mu = 0,1-0,12$) используют зажимы канатов различных типов и футеровки ручья шкива. Зажимы имеют меньшее распространение из-за больших местных сопротивлений, которые способствуют быстрому износу самих зажимов и каната.

Наиболее рациональным и надежным способом повышения коэффициента сцепления μ является футерование ручья шкива вязкоупругим материалом (износоустойчивая резина, обеспечивающая $\mu = 0,22$ и работоспособность при температуре от $+40$ до -25 °С). Конструкция и размеры шкивов пассажирских канатных дорог регламентированы стандартами.

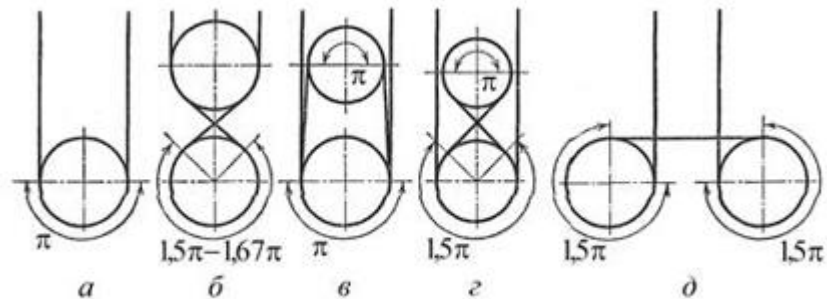


Рис. 8. Схемы обхвата канатом шкива

Существует несколько схем обхвата канатоведущего шкива канатом (рис. 8). Самая простая из схем обхвата шкива (рис. 8, а) обеспечивает наименьшую тяговую способность. Для ее повышения, например, канатоведущий шкив выполняют двухжелобчатым и огибают канатом дважды (рис. 8, в, г), однако при этом происходит неравномерный износ парных желобов шкива и каната.

В конструкции привода с двумя последовательно расположенными шкивами (рис. 8, д) канатоведущие шкивы приводятся во вращение электродвигателями, имеющими разную мощность с учетом того, что при одинаковых углах обхвата они передают разные тяговые усилия, отличающиеся приблизительно вдвое.

Наиболее рациональной является схема обхвата канатоведущего шкива канатом (рис. 8, б), в которой вал одноручьевого футерованного канатоведущего шкива, опертый на подшипники, приводится во вращение электродвигателем приводного механизма. Все элементы привода установлены на общей сварной раме.

В подвесных канатных дорогах обычно устанавливается электрический привод. Дороги, расположенные в труднодоступных горных местностях, удаленных от линий электропередач, снабжают дизельными электрическими приводами.

Линейные сооружения. К линейным сооружениям относятся опоры и линейные станции.

Опоры (рис. 9) поддерживают несущие и тяговые канаты на линии и изготавливаются металлическими или железобетонными высотой 5–30 м; расстояние между осями несущих канатов на опоре (колея) составляет 3; 4; 6 м.

Канатный транспорт (канатные дороги и лифты)

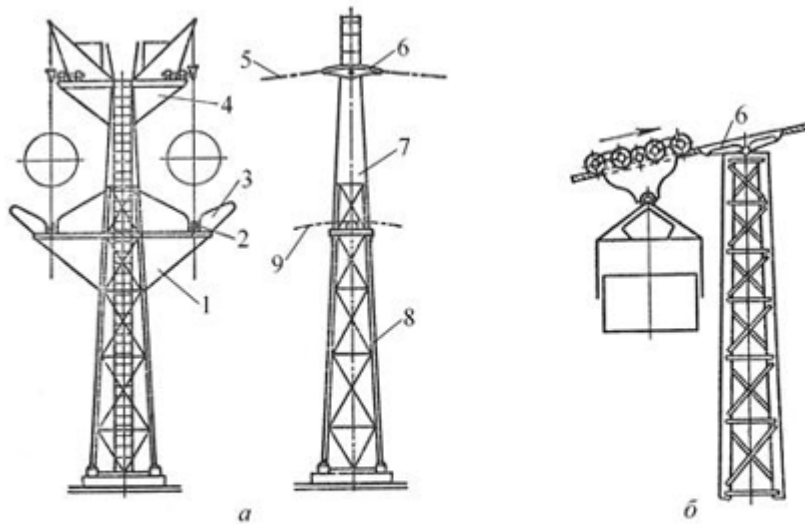


Рис. 9. Металлическая опора двухканатной кольцевой грузовой подвесной дороги:
а – конструкция; *б* – башмак опоры;
 1 – нижние консоли; 2 – ролики; 3 – дуга; 4 – верхние консоли; 5 – несущие канаты;
 6 – башмаки; 7 – головная часть; 8 – пирамидальные секции; 9 – тяговый канат

Линейные станции (рис. 10) устанавливают в местах стыка участков несущего каната и выполняют двойными натяжными, двойными якорными и якорно-натяжными.

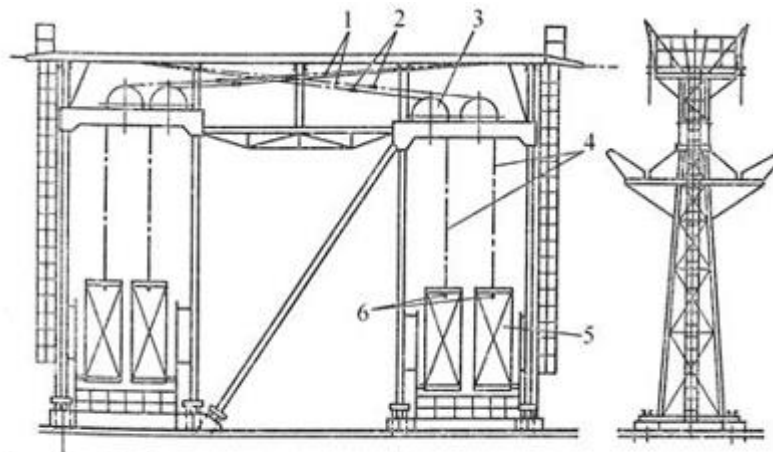


Рис. 10. Двойная натяжная линейная станция:
 1 – несущий канат; 2 – переходная муфта; 3 – блок;
 4 – натяжной канат; 5 – контргруз; 6 – концевая муфта

На двойной натяжной станции оба несущих каната каждого из стыкуемых участков с помощью отклоняющих башмаков отводятся внутрь станции, стыкуются переходными муфтами с натяжными канатами, перекинутыми через блоки, и натягиваются контргрузами. С рамами контргрузов натяжные канаты соединены концевыми муфтами.

На двойной якорной станции (рис. 11) концы несущих канатов, отведенные внутрь станции с помощью отклоняющих башмаков, заякориваются в металлоконструкции станции с помощью анкерной плиты со сферической подушкой и концевой муфты.

Канатный транспорт (канатные дороги и лифты)

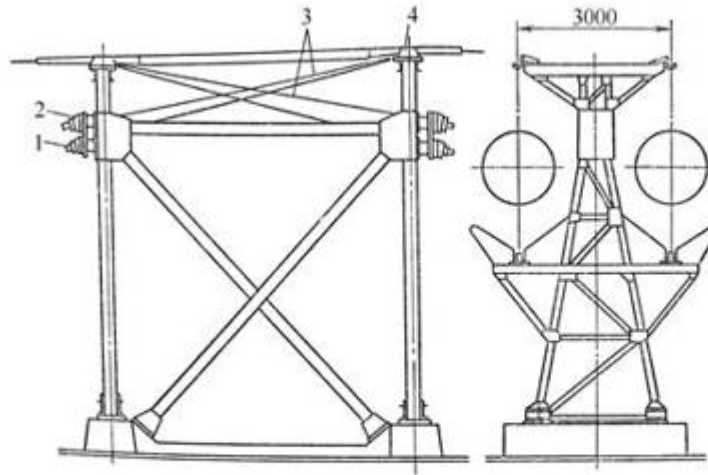


Рис. 11. Двойная якорная линейная станция:

1 – концевая муфта; 2 – анкерная плита; 3 – несущий канат; 4 – отклоняющий башмак

Станции и их оборудование. Станции грузовых канатных дорог по назначению классифицируют на погрузочные; разгрузочные; угловые; проходные; узловые.

Погрузочная станция – это отправной пункт, представляющий собой наземное сооружение, в котором размещаются:

- жесткий рельсовый путь (на него переходят вагонетки на станции);
- выключатель, обеспечивающий отсоединение разгруженных вагонеток от тягового каната;
- устройство для замедления движения вагонеток перед погрузкой (рельсовый путь с подъемом или тормозные шины);
- устройство для принудительного продвижения отключенных вагонеток по рельсовому пути;
- бункеры, дозаторы, питатели – устройства для накопления груза на станции и дозированной загрузки вагонеток;
- устройство для разгона загруженных вагонеток до скорости тягового каната (наклонная горка или батарея футерованных роликов);
- выключатель, обеспечивающий автоматическое подсоединение вагонеток к тяговому канату.

Разгрузочная станция – это конечный пункт грузовых канатных дорог, где происходит разгрузка. Здесь разгруженные вагонетки обходят вокруг обводного шкива и возвращаются к выходной части станции, затем отключаются от конвейера (или вспомогательного каната), подключаются к тяговому канату и уходят на линию.

Угловые станции устанавливают в пунктах поворота трассы: если на станции не установлены привод или натяжное устройство, то она работает автоматически, т.е. вагонетки проходят ее, не отключаясь от тягового каната.

Проходные станции устанавливают в местах сопряжения приводных участков грузовых канатных дорог большой длины, имеющих несколько приводов: вагонетки отключаются от тягового каната и движутся по рельсовому пути по инерции в сторону выключателя, который подключает их к тяговому канату другого приводного участка дороги.

Канатный транспорт (канатные дороги и лифты)

Узловые станции устанавливают в местах разветвления линии грузовой канатной дороги, примыкания к ней другой дороги или пересечения нескольких дорог: стрелки рельсовых путей переводятся автоматически с пульта управления по сигналу концевых выключателей, установленных на тележках вагонеток.

Защитные сооружения. К защитным сооружениям относятся предохранительные сети (рис. 12) и мосты (рис.13), ограждающие пространство от возможного падения груза из вагонетки или самой вагонетки в случае аварии.

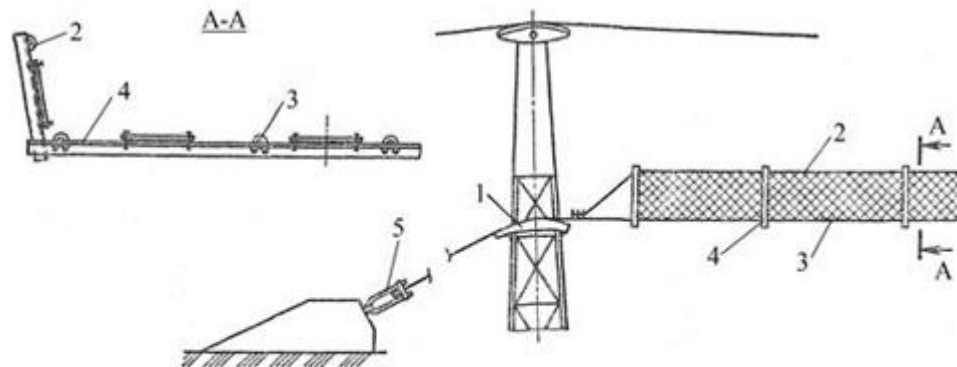


Рис. 12. Предохранительная сеть:
1 – башмак; 2 – каркас из бортовых канатов; 3 – сетевые канаты;
4 – поперечины; 5 - якорное устройство

Основными параметрами подвесных канатных дорог являются:

- длина канатных дорог не ограничена, т.к. дорогу можно образовывать из многих последовательно соединяемых самостоятельных секций;
- уклон трассы не более 30°;
- производительность грузовых канатных дорог достигает 600т/ч;
- грузоподъемность вагонеток 2–3 т;
- скорость движения вагонеток на линии до 3,2 м/с;
- пропускная способность пассажирских подвесных канатных дорог 2000–3000 чел./ч.

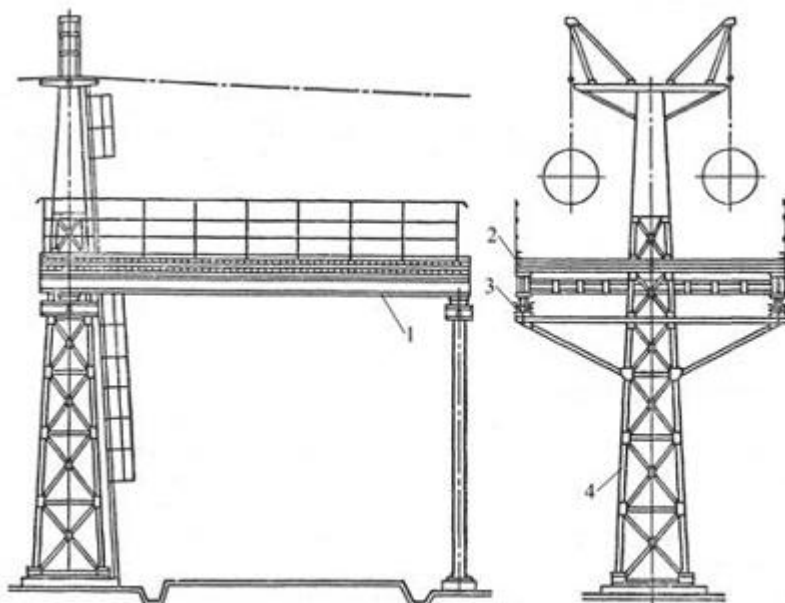


Рис. 13. Предохранительный мост:
1 – пролетное строение; 2 – настил; 3 – пружинные опоры; 4 – линейная опора

Основными расчетными нагрузками подвесных канатных дорог являются:

Канатный транспорт (канатные дороги и лифты)

- натяжение в сбегающей ветви тягового каната;
- натяжение в набегающей ветви тягового каната;
- силы сопротивления движению на характерных участках трассы загруженной и холостой ветвей: прямолинейных, наклонных; участках поворота на канатоведущем и обводных шкивах, на роликовой батарее и т.д.

4. Общий порядок расчета и конструирования подвесных канатных дорог

Основные параметры грузовых подвесных канатных дорог (часовую производительность, скорость, вместимость и полезную грузоподъемность вагонеток) определяют из расчета требуемой годовой производительности $P_г$ дороги. Расчетная часовая производительность

где K – коэффициент неравномерности работы грузовых подвесных канатных дорог; $K = 1,1$ – при одно- и двухсменной работе; $K = 1,2$ – при трех- и четырехсменной работе;

n_0 – количество дней (суток) работы дороги в году;

T – количество часов работы дороги в сутки.

Требуемая полезная грузоподъемность вагонетки

где t – интервал между последовательными выпусками вагонеток на линию; $t \geq 18$ с – при механизированном перемещении вагонеток; $t \geq 12$ с – при загрузке на ходу; $t = 20-60$ с – при прочих условиях.

Вместимость вагонетки

где ρ – насыпная плотность груза, т/м³;

ψ – коэффициент заполнения кузова вагонетки; $\psi = 0,8-1,0$

По полученным значениям G и i выбирают тип вагонетки с учетом собственной массы вагонетки, которая входит в номинальную грузоподъемность и составляет 25–35% от номинальной грузоподъемности

Расстояние между вагонетками на линии

$$\lambda = tv,$$

где v – скорость движения вагонетки, м/с.

С увеличением вместимости вагонеток уменьшается их количество, увеличивается интервал выпуска вагонеток на линию и облегчается механизация загрузки, но при этом возрастает диаметр несущего каната и стоимость дороги.

С повышением скорости при той же производительности увеличивается расстояние между вагонетками на линии, снижается общая нагрузка на несущий и тяговый канаты дороги.

Самым оптимальным вариантом при выборе трассы дороги при отсутствии помех для установки опор является прямолинейная трасса.

При наличии железных и автомобильных дорог, населенных пунктов, рек и каналов, линий электропередач, промышленных зданий и сооружений на пути строящейся подвесной канатной дороги рассматривают технико-экономические

Канатный транспорт (канатные дороги и лифты)

показатели альтернативных вариантов (с прямой и ломаной в плане трассами) и выбирают из них оптимальный.

При большой длине дороги и необходимости нескольких приводных участков целесообразно для сокращения количества приводов увеличивать мощность приводов, прочность тягового каната, а также скорость движения (для снижения распределенной нагрузки).

Приводы смежных приводных участков целесообразно размещать на одной станции и в одном машинном помещении. Так как мощности приводов и натяжения тяговых канатов выполняются (по возможности) одинаковыми, приводные участки устанавливают с одинаковыми разностями высот h конечных точек и одинаковыми длинами пролетов L . Продольный профиль дороги может быть прямым, вогнутым и выпуклым (рис. 14).

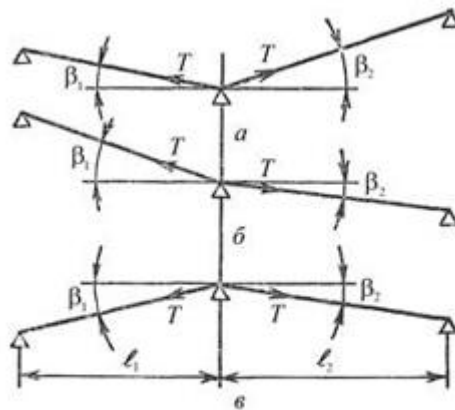


Рис. 14. Профили подвесной канатной дороги:
а, б – вогнутые; е – выпуклый

При построении профиля подвесной канатной дороги должны выполняться требования, регламентированные Правилами устройства и безопасной эксплуатации грузовых и пассажирских подвесных канатных дорог, которые предусматривают:

- обеспечение свободного габарита под дорогой (расстояние по вертикали от нижней точки подвижного состава, а также от любого каната или предохранительного устройства дороги до земли должно быть не менее 2,5 м над незастроенными территориями и не менее 4,5 м – над территориями промышленных предприятий, строительных площадок и автомобильными дорогами; над зданиями и сооружениями оно должно быть не менее 1 м);
- обеспечение габаритов приближения вагонеток на линии с учетом 20%-го бокового качания (не менее 1 м к сооружениям и естественным препятствиям; не менее 2 м – в местах прохода людей и не менее 0,5 м– между габаритами встречных вагонеток);
- надежность прилегания несущих канатов к опорным башмакам на вогнутых участках профиля с коэффициентом запаса;
- плавность профиля дороги, обеспечиваемая таким размещением опор на выпуклых участках трассы, при котором углы δ перегиба несущего каната (рис. 15), возрастающие на выпуклых участках при подходе вагонетки к опоре, примерно одинаковы, а $\text{tg}\delta \leq 0,08$;

Канатный транспорт (канатные дороги и лифты)

- равномерность нагрузки привода, достигаемая расстановкой опор, при которой на подходе к ним (места трассы, где углы подъема максимальны) одновременно находится не более 25% общего количества вагонеток всей линии.

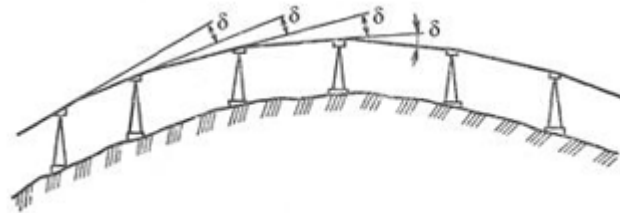


Рис. 15. Выпуклый участок профиля подвесной канатной дороги

На равнинной местности опоры располагают на равном расстоянии друг от друга с пролетом $l = 80-150$ м, а при дорогостоящих основаниях под опоры пролеты увеличивают до 200–300 м. Опоры у станций располагают на расстоянии 40–60 м от них. Высота опор составляет 8–12 м с обязательным соблюдением требований свободного габарита над дорогой.

Колею дороги принимают 3 и 4 м, для дорог малой длины – 6 м (по диаметру обводного шкива). После выбора колеи выполняют проверку проходимости вагонеток в самом длинном пролете дороги с учетом раскачивания при действии ветра.

Угол отклонения вагонеток от вертикали

$$tg\varphi = \frac{kFa + k_1 d_T \lambda e}{(m_B b + q_0 \lambda e)g} W,$$

где $k = 1,4$ и $k_1 = 1,2$ – аэродинамические коэффициенты для вагонеток и для каната соответственно;

F – площадь боковой подветренной поверхности вагонетки, м²;

a – расстояние по вертикали от точки приложения ветровой нагрузки к вагонетке до верха каната, м;

d_T – диаметр тягового каната, м;

λ – расстояние между вагонетками, м;

e – расстояние от верха несущего каната до оси тягового каната, м;

m_B – масса вагонетки, кг;

b – расстояние по вертикали от точки подвеса вагонетки до тягового каната, м;

q_0 – масса 1 м тягового каната, кг/м.

Тяговый расчет. Тяговый расчет канатной дороги с фрикционным приводом выполняют методом обхода по контуру (рис. 16).

Канатный транспорт (канатные дороги и лифты)

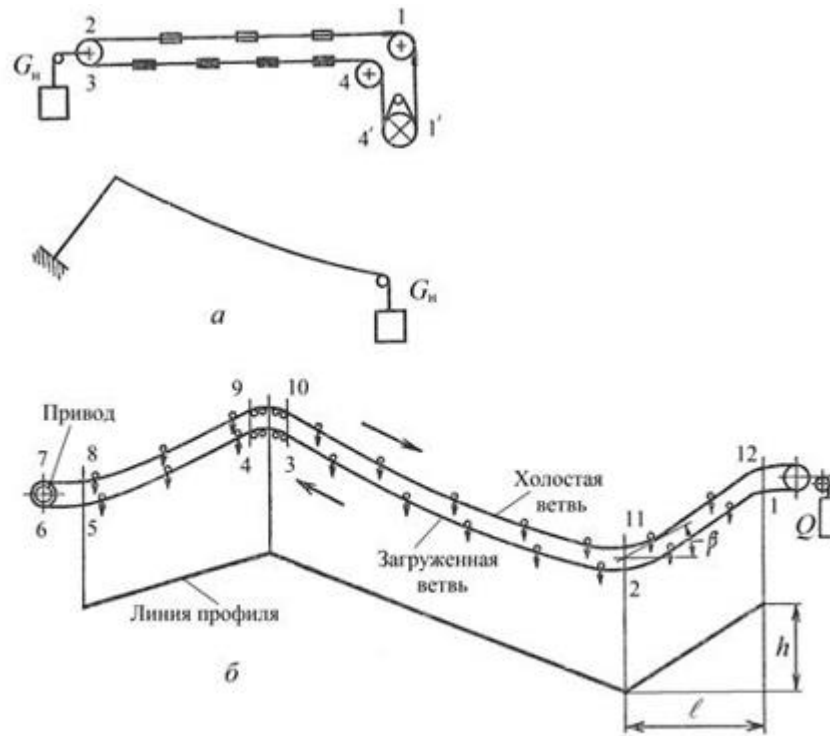


Рис. 16. Схемы для тягового расчета канатной дороги

Натяжения тягового каната в характерных точках трассы дороги:

$$S_1 = S_{cb};$$

$$S_2 = S_1 + W_{1-2};$$

$$S_3 = K S_2 = K(S_1 + W_{1-2});$$

$$S_4 = S_{нб} = W_{3-4} = K(S_1 + W_{1-2}) + W_{3-4}$$

где $K = 1,05-1,1$ – коэффициент, учитывающий сопротивление на натяжном шкиве;

W_{1-2}, W_{3-4} – силы сопротивления на участках 1–2, 3–4.

В соответствии с уравнением Эйлера $S_4 = S_{нб} = S_{cb} e^{\mu \alpha} = S_1 e^{\mu \alpha}$,

где μ – коэффициент сцепления каната со шкивом;

α – угол обхвата канатом шкива, рад;

e – основание натурального логарифма.

Мощность привода

$$P = \frac{k_3 U v}{1000 \eta},$$

где U – тяговое усилие на канатоведущем шкиве, Н;

$\eta = 0,85-0,9$ – КПД привода.

Диаметр тягового каната принимают по его максимальному натяжению при установившемся движении с учетом запаса прочности, который согласно Правил Ростехнадзора принимается не менее 4,5.

Несущий канат кроме растяжения испытывает значительные напряжения от изгиба и смятия в зоне контакта с колесами вагонеток, поэтому несущий канат рассчитывают на прочность по растягивающему усилию и на долговечность с учетом значения и частоты действия нагрузок от колес вагонеток.

При нормативном запасе прочности каната $n \geq 2,8$ для грузовых дорог и $n \geq 3,3$ для пассажирских разрывное усилие каната

$$T_{разр} > T_{max} n.$$

Канатный транспорт (канатные дороги и лифты)

По этому усилению по каталогу выбирают диаметр каната.

Вопросы для самопроверки

- Назначение, общее устройство и классификация подвесных канатных дорог.
- Устройство и основные разновидности грузовых подвесных канатных дорог.
- Классификация, устройство и разновидности пассажирских подвесных канатных дорог.
- Основные параметры грузовых и пассажирских канатных дорог.
- Основные элементы и оборудование канатных дорог.
- Конструктивные особенности приводов канатных дорог.
- Общий порядок расчета и проектирования канатных дорог.

Лекция №3

1. Экономические показатели и основные положения расчета сети ППКД.

От места посадки к месту высадки пассажиров можно доставить различными видами транспорта, автомобильным, снегоходами, ППКД, вертолетами и т.д.

На первом этапе анализируется возможность использования ППКД и альтернативных видов транспорта. Если принимается решение доставку осуществлять с помощью ППКД, то рассматривается возможность и целесообразность применения конкретного типа ППКД на основании анализа технико-экономических показателей. При этом необходимо учитывать назначения ППКД, то есть использование ППКД в качестве городского транспорта или для перевозки лыжников, спортсменов, посетителей выставочного комплекса, рабочих промышленных предприятий.

Исходными данными для проектирования ППКД являются:

- пропускная способность ППКД;
- характеристика трассы (длина по горизонтали, перепад высот станций посадки и высадки пассажиров, углы наклона, рельеф местности, наличие сооружений, пересечений с другими дорогами и т.п.);
- условия посадки и высадки пассажиров, сочетание с другими ППКД;
- перспективы развития района в экономическом, культурном, спортивном отношении, экологические аспекты строительства ППКД.

Технико-экономический анализ выполняется на начальной стадии проектирования ППКД и должен подтвердить экономическую целесообразность строительства, обоснованность выбора конкретного типа ППКД.

Для каждого выбранного варианта индивидуально определяются капитальные затраты на приобретение и монтаж оборудования (со строительной частью), эксплуатационные расходы, численность обслуживающего персонала ППКД, срок окупаемости.

Капитальные затраты на сооружение ППКД

$$K = K_l + K_p + K_{пр} + K_{обв},$$

где K_l - затраты на строительство линейных опор и сооружений;

Канатный транспорт (канатные дороги и лифты)

Кп - строительство пертронов для посадки и высадки пассажиров;

Кпр - сооружение приводной станции;

Кобв - сооружение обводной станции.

Для кресельных ППКД, используемых в горной местности, длиной 1,5...2 км, с разностью уровней от 300 до 500 м и пропускной способностью около 500 чел/ч, затраты на строительство промежуточных опор и сооружений, приводной нижней) и обводной станций(включая перроны и натяжные устройства) относятся между собой в среднем, как 1:0,5:0,2. Для приблизительной оценки затрат на строительство ППКД можно использовать стоимость «одного километра» промежуточных опор и сооружений и к полученным затратам на строительство линейных сооружений добавлять затраты на строительство станций, взятые из вышеприведенного соотношения или по аналогам.

Для приближенной сравнительной оценки затрат на строительство ППКД разных типов можно пользоваться принятым в Австрии соотношением Б : К : Г1 : Г2 : М = 1 : (1,4 - 1,5) : (2,8 - 3) : : (3,7 - 4) : (4,2 - 4,8), где Б, К, Г1, Г2 и М - затраты на строительство соответственно буксировочной, кресельной, гондольной одно- и двухканатной и маятниковой ППКД [0].

Годовые эксплуатационные расходы

$$C_p = Z + \Xi + M + 0,01 \sum K_j (A_j + A_{p_j}),$$

где Z – годовая заработная плата;

Ξ – расходы на электроэнергию;

M – расходы на смазочные и другие материалы;

K_j - стоимость отдельных запасных частей, используемых при ремонте;

A_j- амортизационные отчисления в процентах;

A_{p_j}- амортизационные отчисления на ремонт в процентах.

Основную часть эксплуатационных расходов составляют заработная плата, затрат на электроэнергию и амортизационные отчисления. Расходы на текущий ремонт и содержание зданий и сооружений незначительны. Увеличение дальности перевозок снижает удельный вес расходов на заработную плату, так как основная масса рабочих находится на станциях, и их численность и, следовательно, фонд заработной платы от длины дороги практически не зависят.

Ежегодные приведенные расходы

$$C_{год} = K_{ен} + C_p,$$

где E_н - нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений (E_н = 0,1...0,15), учитывающий срок окупаемости.

Основным экономическим показателем работы ППКД является себестоимость перевозок, определяемая как приведенные годовые затраты на строительство и эксплуатацию, отнесенные к объему перевозок за год, т.е. годовой пропускной способности ППКД.

Стоимость перевозки одного пассажира

$$C = C_{год} / P_{г},$$

где P_г – годовая пропускная способность ППКД

$$P_{г} = (P \cdot км \cdot Т \cdot n \cdot N) / км,$$

где P – часовая пропускная способность ППКД, пас/час;

км – коэффициент использования дороги во времени;

T – продолжительность смены в часах;

Канатный транспорт (канатные дороги и лифты)

n – количество смен в сутки;

N – число рабочих дней в году;

kn – коэффициент неравномерности загрузки подвижного состава.

Годовая пропускная способность может изменяться в значительных пределах, в зависимости от среднесуточного использования дороги во времени ($km = 0,4 \dots 0,9$) и неравномерности пассажирского потока в течение года ($k = 1,0 \dots 2,0$), которые в свою очередь зависят от назначения ППКД, местных условий, сезонности, погоды и других факторов.

Сравнительный анализ технико-экономических показателей использования ППКД в качестве средства городского транспорта, выполненный ВНИИПТМАШем [20], показал, что в среднем 1 км канатной дороги заменяет 15 км автомобильной дороги, а капитальные затраты для ППКД в 8 и более раз ниже, чем для традиционных средств городского транспорта. Себестоимость перевозок, определенная по приведенным затратам на 1 км (с учетом сокращения длины транспортирования), для ППКД в 1,5 и более раз меньше. При этом для маятниковых дорог самая высокая, а для кресельных и буксировочных - самая низкая себестоимость перевозок. Затрата времени на поездку на канатных дорогах самая минимальная, что удобно для населения [33].

2. Основы теории канатных систем.

На подвесных канатных дорогах (ПКД) основными элементами являются канаты, которые по назначению бывают несущими, тяговыми, несуще-тяговыми и натяжными. Перечисленные канаты имеют различное назначение, но все они воспринимают равномерно распределенную по длине нагрузку от силы тяжести самого каната и растягивающие усилия, создаваемое натяжным устройством. На канаты несущие и несуще-тяговые кроме этих нагрузок действует сила тяжести подвижного состава.

Канат под действием равномерно распределенной нагрузки

Рассмотрим основы теории канатных систем на примере несущее-тягового каната ПКД. Характерной особенностью канатов ПКД является большая длина пролетов и малая жесткость изгиба, поэтому для их расчета возможно применение положений теории гибкой нити [0, 12]. Для существующих на практике случаев сочетания действующих сил и перегибов канатов ПКД возможно применять раздел из теории упругой нити с малыми стрелами провисания [0]

$$f \ll l,$$

где f – стрела провисания нити,

l – длина пролета.

Однако, применение даже этого раздела теории упругой нити связано с необходимостью использования при решении уравнения цепной линии метода последовательных приближений, что требует высокой точности вычислений и может привести к существенной ошибке.

Задача значительно упрощается, если кривую провисания в пролете под действием собственной силы тяжести рассматривать как квадратичную параболу.

Канатный транспорт (канатные дороги и лифты)

При замене цепной линии квадратичной параболой для большинства существующих ПКД отношение максимальной стрелы провеса к длине пролета $f/l < 0,1$ не превышает 2...3%. При увеличении пролетов более 1 км, что практически встречается редко, ошибка возрастает и может достигать 10%.

Для каната с малой стрелой провисания принимаем, что сила тяжести каната равномерно распределена не по кривой провисания, а по длин хорды пролета.

Рассмотрим схему каната, на который действует равномерно распределенная по хорде пролета нагрузка. Начало координат расположим в точке левой опоры (рис. 2.1). Из условия статического равновесия системы сумма сил на ось x равна нулю

$$\sum x = -H_A + H_B = 0,$$

отсюда $H_A = H_B$.

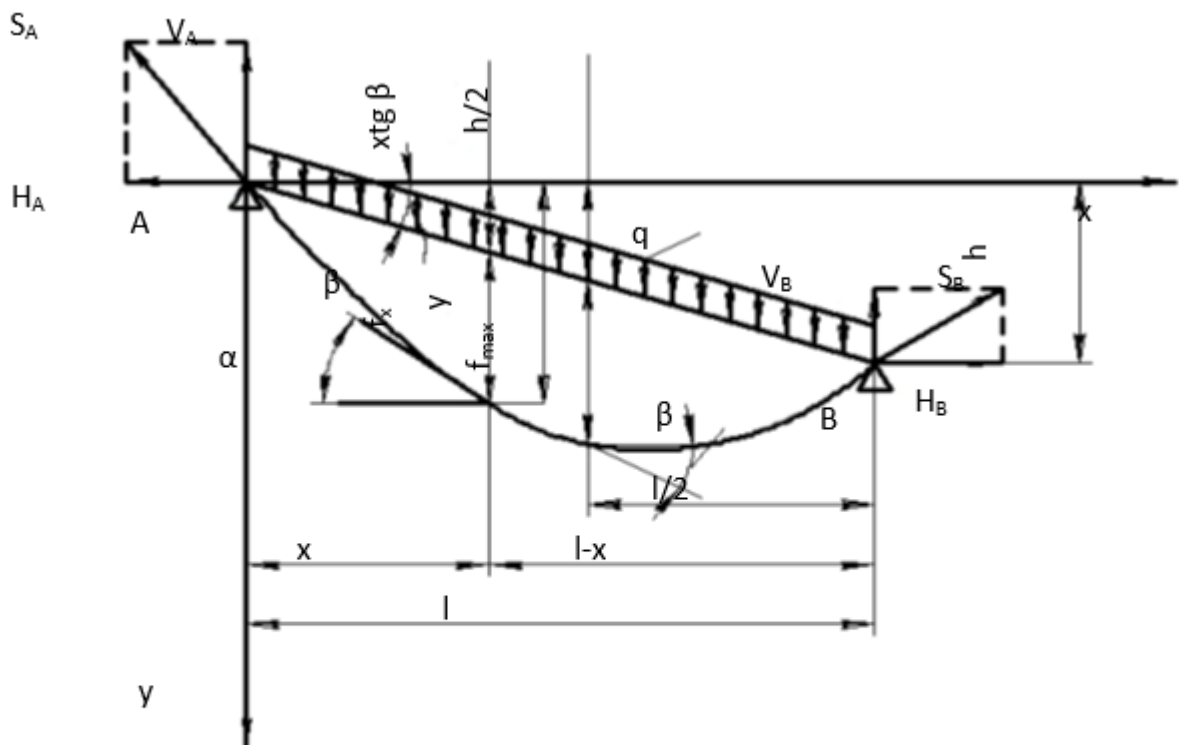


Рис. 2.1. Схема каната с равномерно распределенной по хорде пролета нагрузкой.

Если разрезать канат в произвольном сечении (точка C) и рассмотреть только правую часть, то найдем

$$-\sum x = -H_X + H_B = 0,$$

отсюда $H_X = H_B = H_A = H$.

Таким образом, горизонтальная составляющая натяжения каната, нагруженного вертикальными силами одинакова в о всех сечениях.

Уравнения кривой провисания каната, отнесенное к началу координат в верхней опоре A имеет вид

$$y = x \operatorname{tg} \beta + f_x \tag{2.1}$$

Из теории гибкой нити [0] известно, что

Канатный транспорт (канатные дороги и лифты)

$$f_x = Mx/H, \quad (2.2)$$

где Mx – изгибающий момент в сечении x простой балки, загруженной аналогично нити.

$$\text{Тогда} \quad y = x \operatorname{tg}\beta + Mx/H \quad (2.3)$$

Для равномерно распределенной по хорде пролета нагрузки q (рис.2.1)

$$Mx = qlx/2\cos\beta - qx^2/2\cos\beta = qx(l-x)/2\cos\beta. \quad (2.4)$$

Следовательно,

$$y = x \operatorname{tg}\beta + qx(l-x)/2H\cos\beta \quad (2.5)$$

Это уравнение параболы в системе координат приведенной на рис.2.1.

Второе слагаемое правой части выражения представляет собой провес каната

$$f_x = Mx/H = qx(l-x)/2H\cos\beta \quad (2.6)$$

Тангенс угла наклона касательной к кривой

$$\operatorname{tg}\alpha = dy/dx = \operatorname{tg}\beta + q(l-2x)/2H\cos\beta. \quad (2.7)$$

В середине пролета при $x = l/2$ $\operatorname{tg}\alpha = \operatorname{tg}\beta$.

Максимальное значение момента, а следовательно и провеса каната с равномерно распределенной по хорде вертикальной нагрузкой достигается в середине пролета при $x = l/2$

$$f_{\max} = ql^2/8H\cos\beta. \quad (2.8)$$

По известному максимальному провесу каната определим горизонтальную составляющую натяжения

$$H = ql^2/8f_{\max}\cos\beta. \quad (2.9)$$

Подставляя это выражение в формулу 1.7, получим еще одну зависимость для угла наклона касательной к кривой

$$\operatorname{tg}\alpha = dy/dx = \operatorname{tg}\beta + 4f_{\max}(l-2x)/l^2. \quad (2.10)$$

Величина угла наклона касательной к кривой у верхней опоры А при $x=0$

$$\operatorname{tg}\alpha_A = \operatorname{tg}\beta + 4f_{\max}/l.$$

Подставим в это выражение $\operatorname{tg}\beta = h/l$, получим

$$\operatorname{tg}\alpha_A = (4f_{\max} + h)/l, \quad (2.11)$$

где h – разность отметок высот опор А и В.

Угол наклона у нижней опоры В при $x=l$

$$\operatorname{tg}\alpha_B = -(4f_{\max} + h)/l. \quad (2.12)$$

Рассмотрим возможные случаи подхода каната к нижней опоре.

1) При $4f_{\max} = h$ $\operatorname{tg}\alpha_B = 0$ (рис. 2.2, а) канат подходит к нижней опоре В горизонтально. Вертикальная сила в точке В равна нулю. Верхняя опора воспринимает всю вертикальную нагрузку, т.е.

$$V_A = ql, \quad V_B = 0.$$

2) Если $4f_{\max} > h$ $\operatorname{tg}\alpha_B < 0$ (рис. 2.2, б), то вертикальная составляющая реакции опоры В направлена вверх.

3) Если $4f_{\max} < h$ $\operatorname{tg}\alpha_B > 0$ (рис. 2.2, в), то вертикальная составляющая реакции опоры В направлена вниз, т.е. опора должна оборудоваться отжимными роликами.

Канатный транспорт (канатные дороги и лифты)

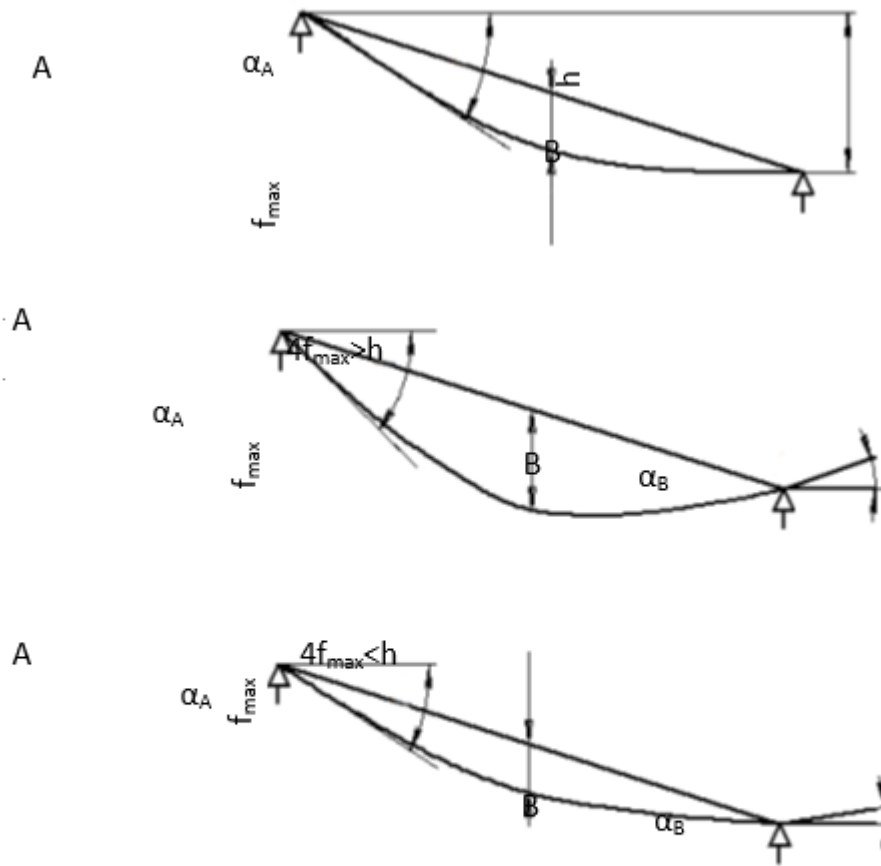


Рис.2.2. Возможные случаи подхода каната к нижней опоре:

- а) канат подходит к нижней опоре В горизонтально;
- б) канат подходит к нижней опоре В снизу;
- в) канат подходит к нижней опоре В сверху.

Определим значение горизонтальной составляющей натяжения каната. В середине пролета касательная к параболе (точка Д рис. 2.1) параллельна хорде, то натяжение каната в середине пролета направлено под углом β к горизонту. Тогда горизонтальная составляющая

$$H = S_D \cos \beta, \quad (2.13)$$

где S_D – натяжение каната в точке Д.

Согласно теории гибкой нити [0] разность натяжений в любых двух точках i и j с разностью ординат h будет

$$\Delta S = S_i - S_j = qh. \quad (2.14)$$

Это выражение справедливо с небольшой погрешностью и для параболы [0], тогда

$$S_D = S_A - (h/2 + f_{max}) q, \quad S_D = S_B + (h/2 - f_{max}) q.$$

Сложив, эти выражения получим

$$S_D = (S_A + S_B)/2 - q f_{max} = S_{cp} - q f_{max}, \quad (2.15)$$

где $S_{cp} = (S_A + S_B)/2$ – условное среднее значение натяжения каната в пролете.

Так как $S_A = S_B + qh$, то $S_{cp} = (S_B + qh + S_B)/2 = S_B + qh/2$.

Подставим выражение 15 в формулу 13 получим

Канатный транспорт (канатные дороги и лифты)

$$H = (Sc_p - q f_{max}) \cos \beta. \quad (2.16)$$

Для практических расчетов можно пренебречь выражением $q f_{max}$, так как его величина мала по сравнению с Sc_p , тогда

$$H = Sc_p \cos \beta. \quad (2.17)$$

Длину каната в одном пролете с равномерно распределенной нагрузкой определим по формуле для гибкой нити [12]

$$L = l / \cos \beta + (\cos^3 \beta / 24 H^2) \int_0^l Q^2 dx, \quad (2.18)$$

где Q – нормальная к оси x перерезывающая сила в сечении простой балки, загруженной так же как канат. Определенный интеграл от 0 до l можно вычислить по методу Верещагина путем перемножения эпюр перерезывающих сил [0]. В результате получим выражение

$$L = l / \cos \beta + q^2 l^3 \cos^3 \beta / 24 H^2. \quad (2.19)$$

Длина каната в пролете рассчитанная по этой формуле отличается от длины цепной линии незначительно [0, 11].

С учетом зависимости 1.17 длина каната будет

$$L = l / \cos \beta + q^2 l^3 \cos^3 \beta / 24 S^2 c_p \cos \beta.$$

Выразим длину каната через величину провеса в середине пролета, подставив в выражение 19 значение f_{max} из формулы 8

$$L = l / \cos \beta + 8 f_{max}^2 \cos^3 \beta / 3 l. \quad (2.20)$$

Рассмотрим, существует ли связь между провесом и напряжением в канате под действием только распределенной силы тяжести, для этого формулу 1.7 подставим значение H из выражения 1.16 и получим

$$f_{max} = q l^2 / 8 Sc_p \cos^2 \beta, \text{ отсюда } Sc_p = q l^2 / 8 f_{max} \cos^2 \beta.$$

Среднее напряжение в канате будет

$$\sigma = Sc_p / F = q l^2 / 8 F f_{max} \cos^2 \beta,$$

где F - площадь поперечного сечения каната.

Подставим вместо q его значение $q = F \rho$, где ρ – плотность материала каната.

$$\text{Тогда } \sigma = \rho l^2 / 8 f_{max} \cos^2 \beta.$$

Отсюда следует, что напряжение в канатах из одного материала независимо от их диаметра при одинаковых провесах в пролете длиной l будет одинаково.

Канат под действием равномерно распределенной нагрузки и сосредоточенных сил

Суммарный провес каната f_x определяется исходя из суммарного момента $M_{сум}$ в сечении x простой балки, загруженной распределенной нагрузкой и сосредоточенной силой аналогично канату [0, 12]

$$f_{сум} = M_{сум} / H = (M_1 + M_2) / H = f_1 + f_2,$$

где M_1 , M_2 , и f_1 , f_2 – моменты и провесы соответственно, от распределенной нагрузкой и сосредоточенной силы.

Учитывая выражение 2.2, 2.4 и 2.6 получим провес от равномерно распределенной нагрузкой

$$f_1 = M_1 / H = q x(l-x) / 2 H \cos \beta$$

и от действия сосредоточенной силы

$$f_2 = M_2 / H.$$

Канатный транспорт (канатные дороги и лифты)

Форма провисания каната соответствует кривой момента $M_{\text{сум}}$ и представляет собой ряд пересекающихся парабол [0]. Точки пересечения парабол расположены в местах приложения сосредоточенных сил. При действии на канат одной сосредоточенной силы P провес будет равен

$$f_2 = M_2 / H = Px(l-x)/Hl.$$

Суммарный провес в точке под грузом

$$f_{\text{сум}} = f_1 + f_2 = qx(l-x)/2H\cos\beta + Px(l-x)/Hl$$

$$\text{или } f_{\text{сум}} = x(l-x)(q+P)/2Hl\cos\beta. \quad (2.21)$$

Длину каната, находящегося под действием равномерно распределенной нагрузки q и сосредоточенной силы P определим, вычислив значение интеграла из выражения 18. Для условий одновременного приложения распределенной нагрузки и сосредоточенной силы получим

$$\int_0^l Q^2 dx = \int_0^l Q_1^2 dx + \int_0^l Q_2^2 dx + 2 \int_0^l Q_1 Q_2 dx,$$

где Q_1 – перерезывающая сила от распределенной нагрузки $q/\cos\beta$, действующей на горизонтальную балку,

Q_2 - перерезывающая сила от нагрузки P .

Путем перемножения перерезывающих сил по методу Верещагина с учетом выражения 1.19 получим длину каната в пролете

$$L = l/\cos\beta + q^2 l^3 \cos\beta / 24 H^2 + [P^2 x(l-x) / 2 H^2] \cos^3 \beta + [q P x(l-x) / 2 H^2] \cos^2 \beta.$$

Длина каната при расположении в середине пролета $x = l/2$

$$L = l/\cos\beta + q^2 l^3 \cos\beta / 24 H^2 + (P^2 l / 8 H^2) \cos^3 \beta + (q P l / 2 H) \cos^2 \beta.$$

При большем числе сосредоточенных сил в пролете решение выполняется аналогично [0, 12].

Лекция №4

1. Требования к стальным канатам.

На подвесных канатных дорогах (ПКД) основными элементами является канаты, которые по назначению бывают несущими, тяговыми, несуще-тяговыми и натяжными. Перечисленные канаты имеют различное назначение, но все они воспринимают равномерно распределенную по длине нагрузку от силы тяжести самого каната и растягивающие усилия, создаваемое натяжным устройством. На канаты несущие и несуще-тяговые кроме этих нагрузок действует сила тяжести подвижного состава.

Состояние каната определяет безопасность, надежность и эффективность работы канатной дороги.

Стальные канаты ПКД должны удовлетворять следующим требованиям:

- прочность, достаточная для восприятия статических, динамических и ударных нагрузок;
- сопротивление усталости, позволяющее противостоять повторным перегибам и вибрациям;
- сопротивляемость абразивному износу на шкивах и блоках;
- сопротивляемость деформированию в зажимах и при работе на шкивах и блоках;
- коррозионная стойкость.

Канатный транспорт (канатные дороги и лифты)

Основными параметрами каната являются: конструкция каната и его геометрические размеры, прочность проволок, пределы упругости и выносливости каната, его упругое и остаточное удлинения, жесткость, разрывное усилие и вид смазки.

Стальные канаты, применяемые на пассажирских канатных дорогах, должны изготавливаться из проволоки марки «ВК» или «В», грузоподъемного назначения, нераскручивающиеся и по своим механическим и качественным характеристикам соответствовать требованиям действующих стандартов (технических условий). Соответствие канатов должно подтверждаться сертификатами заводов-изготовителей.

При отсутствии сертификатов канаты до навески на ПКД должны быть испытаны на канатоиспытательной станции. Испытания должны проводиться для круглопрядных канатов в соответствии с ГОСТ 3241.

После проведения испытаний должно быть выдано свидетельство об испытании.

При сооружении канатной дороги должны применяться только вновь изготовленные канаты. Допускается повторно использовать несущие-тяговые канаты после проведения экспертизы промышленной безопасности каната с использованием неразрушающих методов контроля.

При выборе канаты должны быть проверены расчетом на прочность при растяжении по формуле

$$F_0 \geq Sk_3$$

где F_0 - разрывное усилие каната в целом, принимаемое по сертификату или свидетельству об испытании;

S - наибольшее натяжение каната;

k_3 - минимальный коэффициент запаса прочности (табл. 1).

При указании в сертификате предприятия-изготовителя (свидетельстве об испытании) суммарного разрывного усилия всех проволок разрывное усилие каната в целом может быть определено путем умножения суммарного разрывного усилия всех проволок на поправочный коэффициент.

Поправочный коэффициент должен приниматься по стандарту для каждой конкретной конструкции выбранного каната. В случае отсутствия такого стандарта поправочный коэффициент для круглопрядных канатов должен приниматься 0,83.

Канатный транспорт (канатные дороги и лифты)

Таблица 1.

Минимальный коэффициент запаса прочности канатов

/п	Тип дороги и назначение каната	Коэффициент запаса прочности, k_s
1. Подвесная одноканатная или двухканатная с кольцевым движением закрепленного на несущем-тяговом (тяговом) канате и отцепляемого на станциях подвижного состава		
- 1	Несущий	3,0
- 2	Несущем-тяговый	4,5
- 3	Тяговый	5,0
- 4	Натяжной	5,5

Канатный транспорт (канатные дороги и лифты)

2. Подвесная одноканатная с кольцевым или маятниковым движением постоянно закрепленного на несуще-тяговом канате подвижного состава		
1	Несуще-тяговый	4,5
2	Натяжной	5,5
3. Буксировочная для лыжников с постоянно закрепленными на тяговом канате буксировочными устройствами или с закрепленными на тяговом канате и отцепляемыми на станциях буксировочными устройствами		
1	Тяговый канат	4,0
2	Натяжной канат	4,5

При определении натяжения несуще-тягового и тягового канатов необходимо учитывать массу противовеса (при наличии гидравлического натяжного устройства - развиваемое им усилие), составляющие массы каната и нагруженного подвижного состава, сопротивление в натяжных устройствах, опорных роликах и шкивах на станциях. Силы инерции не учитываются.

Минимальное натяжение несуще-тягового каната должно быть не менее 15 .

Предпочтительно применять в качестве несуще-тяговых, тяговых и натяжных канатов к ним - круглопрядные канаты двойной свивки с линейным касанием проволок с органическим сердечником. Рекомендуется применять стальные оцинкованные канаты двойной свивки.

Канаты буксировочных канатных дорог (БКД) могут быть стальными, из полимерного материала либо комбинированных материалов. Канаты буксировочных устройств должны обладать разрывным усилием не менее 4000 Н - при одноместном и 8000 Н - при двухместном буксировочных устройствах.

Повышенные требования к канатам, характеризующимся большими нагрузками и скоростями, а также компактностью, определяют преимущественное использование прядевых канатов двойной свивки с линейным касанием проволок. Такая конструкция обеспечивает высокую износостойкость и сопротивляемость деформированию.

Применение канатов типа ЛК предпочтительнее, чем канатов типа ТК. Во-первых, несмотря на некоторое относительное увеличение нагрузки,

Канатный транспорт (канатные дороги и лифты)

воспринимаемой внутренними проволоками, достигаются ликвидация местного смятия в точках контакта, уменьшение давлений и внутреннего трения. Такие канаты лучше работают на изгиб. Кроме того, за счет более плотной укладки проволок увеличивается металлическое сечение, а следовательно, и прочность каната. В канатах типа ТК из-за различных шагов свивки в разных слоях увеличивается точечный контакт проволок, в результате чего их местное смятие отрицательно сказывается на изгибно-усталостных свойствах каната.

В канатных дорогах, как правило, применяют канаты с органическим сердечником, который служит радиальной опорой для прядей, не позволяющей им соприкоснуться одна с другой. Распространенное мнение о том, что сердечник должен выполнять функции резерва для смазки, неверно, так как смазка постепенно выдавливается, приводя к уменьшению его массы и, следовательно, к потере опоры для прядей. Органические сердечники из натуральной пеньки или сизаля постепенно уступают место сердечникам из синтетического волокна, которые более износостойки, лучше противостоят воздействию влаги и имеют более стабильную массу.

Канаты с металлическим сердечником применяют при больших поперечных нагрузках, высоких натяжениях (более 0,25 от разрывного усилия), для работы при высоких температурах и при необходимости уменьшить вытяжку каната.

Нераскручивающихся канаты по сравнению с раскручивающихся более полно удовлетворяют условиям эксплуатации ПКД, так как имеют следующие преимущества:

- большую гибкость, вследствие чего можно использовать шкивы меньшего диаметра;
- отсутствие стремления каната нарушать свою прямолинейность и создавать петли;
- малую изменяемость шага свивки при эксплуатации;
- более равномерное распределение растягивающих напряжений по прядям и проволокам;
- большую сопротивляемость усталостным напряжениям и изгибающим усилиям;
- меньшее число обрывов проволок за одинаковый срок службы;
- возможность большего числа перегибов на шкивах при эксплуатации;
- меньшую вибрацию при эксплуатации.

При выборе рода свивки каната необходимо учитывать, что канаты крестовой свивки по сравнению с канатами односторонней свивки характеризуются большими сопротивлением вращению под нагрузкой, стабильностью в работе, сопротивляемостью раздавливанию и поперечной деформации на шкивах малого диаметра.

Основным недостатком канатов крестовой свивки являются высокое давление между проволоками и соответственно большие контактные напряжения, особенно при перегибе каната на блоках.

В канатах односторонней свивки длина открытой поверхности проволок приблизительно в 2,5 раза больше, по сравнению с канатами крестовой свивки, что уменьшает износ каната и желобов шкивов. Гибкость канатов односторонней

Канатный транспорт (канатные дороги и лифты)

свивки на 25 % выше гибкости канатов крестовой, что увеличивает их срок службы.

Долговечность канатов во многом зависит от качества проволоки, которая должна обладать оптимальной прочностью при высоких пластических свойствах, иметь высокую стойкость против истирания и расплющивания. По мере увеличения временного сопротивления проволоки ее износостойкость и сопротивляемость раздавливанию возрастают, а гибкость и стойкость против повторных перегибов уменьшаются. Проволока с временным сопротивлением 1670—1860 МПа имеет наиболее оптимальное сочетание этих свойств.

Тяговые и несущие-тяговые канаты. Условия работы этих канатов характеризуются не только значительным числом перегибов на шкивах, блоках и роликах, но и сильным сжатием их в зажимах сцепных приборов и истиранием. Поэтому тяговые канаты должны иметь, возможно, более гладкую наружную поверхность и достаточно толстые наружные проволоки.

В качестве тяговых и несущие-тяговых используются шестипрядные канаты двойной свивки с органическим сердечником и линейным касанием проволок. Предпочтительно применение оцинкованных нераскручивающихся канатов, при котором упрощается ведение монтажных работ и увеличивается допустимое число перегибов каната на шкивах и блоках.

2. Пропускная способность ПКД

Перед началом профилирования (расстановке опор) канатной дороги и перед тем, как приступают поверочному расчету устанавливают ряд ее параметров, которые относят к основным это:

- длина l (м) трассы по горизонтали и суммарный перепад высот конечных точек h (м);
- схема размещения приводного и натяжного устройств («тяговая схема»);
- скорость движения u (м/с);
- часовая пропускная способность P (чел/ч);
- наибольшее тяговое (окружное) усилие W_{\max} (Н) на приводном шкиве;
- необходимая усилие P_{ny} (Н) в натяжном устройстве несущие-тягового каната;
- диаметр d_k (мм);
- разрывное усилие $F_{разр}$ (Н) несущие-тягового каната в целом

Одним из основных характеристик от которой зависит пропускная способность ППКД является номинальная скорость подвижного состава (каната) на которую рассчитывается канатная дорога. Номинальную скорость движения каната выбирают из условия безопасной посадки и высадки пассажиров в зависимости от типа подвижного состава и контингента пассажиров.

Согласно требований Правил [22] на одноканатных ППКД с кольцевым движением постоянно закрепленным на несущие-тяговом канате подвижным составом номинальная скорость не должна превышать значений приведенных в таблице 1.

Канатный транспорт (канатные дороги и лифты)

Таблица 3.1.

№ п/п	Тип дороги	Скорость движения подвижного состава, м/с		
		на дорогах, предназначенных для лыжников (с лыжами на ногах)		на дорогах общего назначения (для пешеходов)
		со станционным конвейером	без станционного конвейера	
1	2	3	4	5
1	С непрерывным движением: одноместных кресел	-	2,5	2,0

Продолжение таблицы 3.1.

1	2	3	4	5
	двухместных кресел	3,0* ²	2,5	2,0
	трехместных кресел	2,8* ²	2,2	1,0(1,6)* ¹
	четырёхместных кресел	2,8	2,2	1,0(1,6)* ¹
2	С непрерывным движением одноместных и двухместных кабин			1,6
3	С пульсирующим движе- нием групп двух-, трех-, четырёх- или шести- местных кресел или кабин		4,0* ³ (на линии)	4,0* ³ (на линии)

*¹ При перевозке не более 2 человек и только на крайних сиденьях.

*² При скорости конвейера 1 м/с.

*³ Посадка и высадка пассажиров на станциях при остановленном подвижном составе или скорости 0,2-0,5м/с.

На одно- и двухканатных ППКД с кольцевым движением оцепляемого на станциях от несущего каната подвижного состава номинальная скорость согласно требований Правил [22] не должна превышать значений:

на одноканатных дорогах с креслами - 5 м/с;

на одноканатных дорогах с кабинами - 6 м/с;

на двухканатных дорогах с кабинами - 7 м/с.

Часовая пропускная способность P (чел/ч) пассажирской канатной дороги в одном направлении рассчитывается согласно формул

$$P = 3600 i / \tau, \text{ или } P = 3600 i u / \lambda,$$

где i - вместимость кресла или кабины, чел;

τ - интервал движения во времени, с;

λ - расстояние между креслами или кабинами, м.

Минимальный допустимый интервал времени между двумя следующими друг за другом креслами (кабинами) определяется условиями безопасной посадки и

Канатный транспорт (канатные дороги и лифты)

высадки пассажиров и регламентирован требованиями Правил [22]. Для одноканатных ППКД с кольцевым движением постоянно закрепленным на несущем канате подвижным составом минимальный интервал времени между креслами (кабинами) составом не должна быть менее значений приведенных в таблице 3.2.

Таблица 3.2

№ п/п	Тип дороги	Интервал, с		
		между креслами		между кабинами
		на дорогах для пешеходов	на дорогах для лыжников	
1	С непрерывным движением:			
	одноместных кресел	5,0	4,0	
	двухместных кресел	8,0	6,0	
	трехместных кресел	8,0	6,0	
	четырёхместных кресел	10,0	8,0	
2	С непрерывным движением двухместных кабин			10
3	С пульсирующим движением групп: - двухместных кресел; - трехместных кресел; - четырехместных кресел	Расстояние между креслами в группе определяется конструктивным и особенностями их соединения		
4	С пульсирующим движением групп: - двухместных кабин; - трехместных кабин; - четырехместных кабин; - шестиместных кабин			Расстояние между креслами в группе определяется конструктивными особенностями их соединения

Для одноканатных ППКД с кольцевым движением сцепляемого на станциях от несущего каната подвижного состава минимальный интервал времени между креслами (кабинами) должен быть больше значений указанных в таблице 3.3.

Канатный транспорт (канатные дороги и лифты)

Таблица 3.3.

№ п/п	Тип подвижного состава	Интервал, с
1	2	3
1	Трехместное кресло	6
2	Четырехместное кресло	7
3	Шестиместное кресло	8
4	Восьмиместное кресло	10

Продолжение таблицы 3.3.

1	2	3
5	Четырехместная кабина	8
6	Шестиместная кабина	10
7	Восьмиместная кабина	12
8	Двенадцатиместная кабина	16
9	Двадцатичетырехместная кабина	20

3. Определение действующих сил на ПКД.

На величину действующих сил в канате и в других узлах канатной дороги, на разных участках трассы и следовательно на максимальное натяжение каната существенно влияет место расположения привода и натяжного устройства ППКД. При рациональном расположении привода и натяжного устройства возможно уменьшить максимальное натяжение каната и снизить энергетические затраты на транспортирование.

Во многих случаях место расположения привода и натяжного устройства определяются условиями подвода электроэнергии, расположением гостиниц, наличием автомобильных дорог, возможностью сосредоточить приводы нескольких ПКД в одном месте и другими соображениями. Если эти и другие условия не влияют на расположение привода и натяжного устройства, то целесообразно привод располагать, после участка с наибольшим сопротивлением, а натяжное устройство в зоне минимального натяжения каната, при этом желательно использовать обводные шкивы, поворотные участки.

Привод, установленный в зоне высокого натяжения каната, обеспечивает передачу большого тягового усилия, что нередко дает возможность избежать дополнительного увеличения натяжения каната. Натяжное устройство, расположенное в месте наименьшего натяжения каната, воспринимает меньшие усилия и как следствие имеет облегченную конструкцию, состоящую из узлов меньших размеров и массы.

Существующие и проектируемые одноканатные ППКД имеют следующие схемы расположения привода и натяжного устройства (рис 3.1):

- схема ВП, привод размещен на верхней, а натяжное устройство на нижней станции;
- схема ВП-Н, привод совмещен с натяжным устройством и расположен на верхней станции;
- схема НП, привод размещен на нижней, а натяжное устройство на верхней станции;

Канатный транспорт (канатные дороги и лифты)

- схема НП-Н, привод совмещен с натяжным устройством и расположен на нижней станции.

Выбор схемы производится на основании технико-экономического анализа с учетом места расположения дороги, объектов социального назначения, условий эксплуатации. Схема ВП более предпочтительна по следующим причинам:

- привод может передавать большее тяговое усилие;
- более полно используется прочность несущего каната;

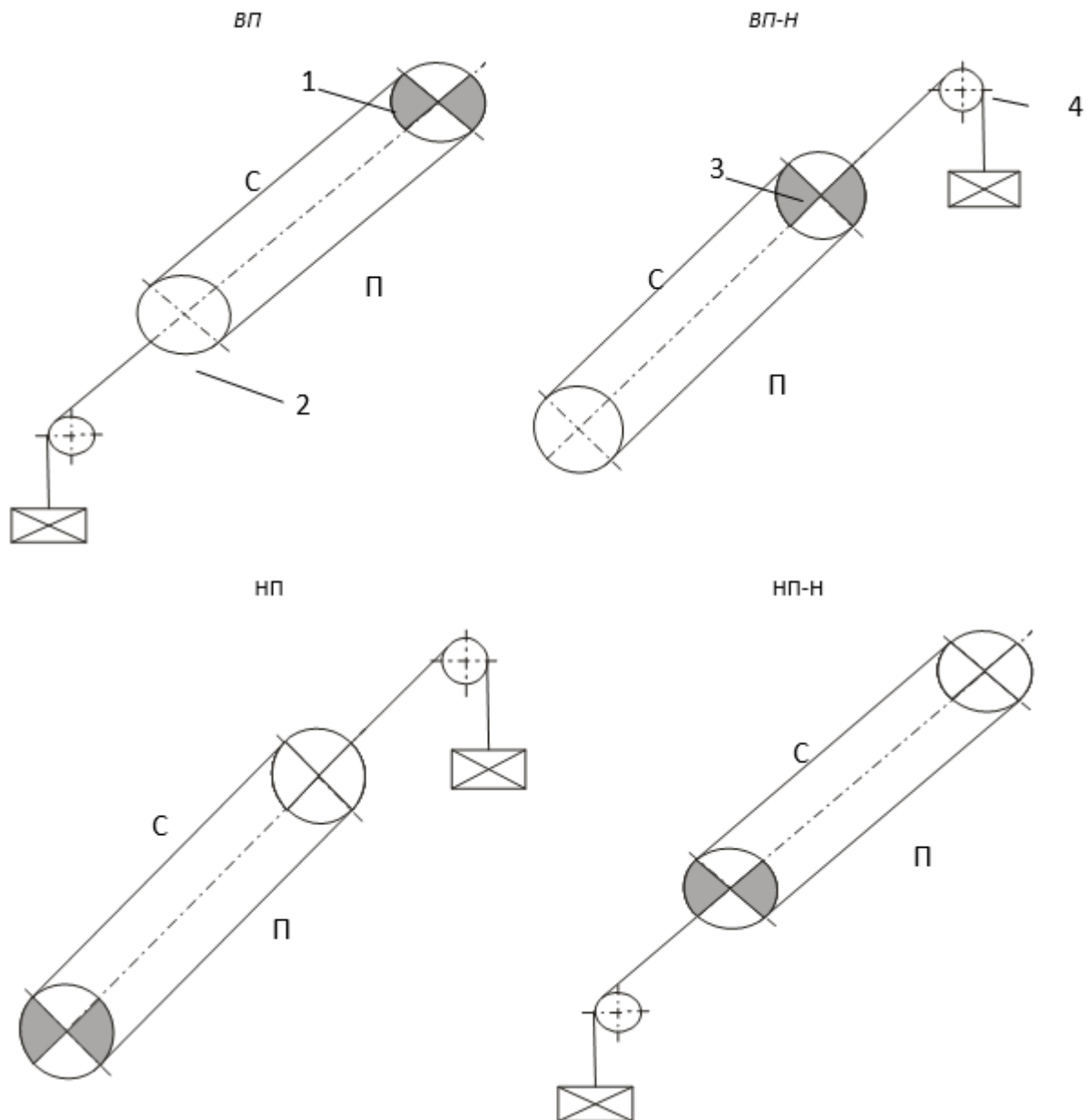


Рис. 3.1. Схемы расположения привода и натяжного устройства

1- привод; 2- обводной шкив; 3- привод-натяжка; 4- натяжное устройство;
 П – сторона подъема; С – сторона спуска.

- возможна более высокая пропускная способность по сравнению с другими схемами при канатах с одинаковым разрывным усилием
- усилие в натяжном устройстве имеет меньшую величину при одинаковой с другими схемами мощности привода;
- снижение потерь энергии на трение на натяжном шкиве;

Канатный транспорт (канатные дороги и лифты)

- меньшая масса натяжной каретки и несущих конструкций натяжного устройства. Верхнее расположение привода может быть обусловлено необходимостью рационального сосредоточения приводов нескольких дорог в одном месте. Выбор других схем предпочтителен, если это позволяет избежать увеличения затрат на обеспечение энергоснабжения верхней станции, необходимость строительства жилья для персонала на верхней станции, сооружения подъездных автомобильных дорог.

При определении сил действующих на канат ПКД необходимо обеспечить выполнение двух следующих требований Правил [22], связанных с безопасностью и надежностью работы ПКД:

1. Минимальное натяжение несуще-тягового каната для ограничения его изгибных напряжений на роликовых балансирах должно быть не менее $15F_{nc}$ (F_{nc} - вес одного груженого кресла или кабины). При определении натяжения несуще-тягового каната необходимо учитывать массу противовеса или усилие, развиваемое гидравлическим натяжным устройством (при его наличии), составляющие массы каната и нагруженного подвижного состава, сопротивление в натяжных устройствах, опорных роликах и шкивах на станциях. Силы инерции не учитываются. Тогда

$$S_{min} \geq 15F_{nc} \quad (3.4)$$

2. Коэффициент запаса надежности сцепления тягового и несуще-тягового канатов с приводным шкивом должен быть не менее 1,25 при наиболее неблагоприятных условиях загрузки дороги (с учетом сил инерции при пуске и торможении) и определяется по формулам:

- при тяговом режиме работы привода

$$S_{cb}(e^{\mu\alpha}-1)/(S_{nb}-S_{cb}) \geq K \quad (3.5)$$

- при тормозном режиме работы привода

$$S_{nb}(e^{\mu\alpha}-1)/(S_{cb}-S_{nb}) \geq K \quad (3.6)$$

где, S_{nb} - натяжение набегающей ветви каната на приводном шкиве, Н;

S_{cb} - натяжение сбегающей ветви каната на приводном шкиве, Н;

μ - коэффициент сцепления каната с футеровкой шкива при наиболее неблагоприятных условиях работы (смазанный минеральным маслом канат, мокрая футеровка);

α - угол обхвата шкива канатом, рад;

K – коэффициент, запаса надежности сцепления, $K = 1,25$.

Коэффициент сцепления каната с футеровкой шкива в зависимости от материала футеровки и условий работы ПКД колеблется от 0,2 - прорезиненная лента до 0,32 – поливинилхлорид. Для предварительных расчетов с учетом требования Правил [22] возможно принять $\mu = 0,22$.

Максимальное окружное усилие на приводе равно сумме всех сопротивлений движению каната на ППКД

$$W_0 = W_n + W_c, \quad \text{или}$$

$$W_0 = S_{nb} - S_{cb}, \quad (3.7)$$

где W_n - сопротивление движению несуще-тягового каната стороны подъема, Н;

W_c - сопротивление движению несуще-тягового каната стороны спуска, Н.

Канатный транспорт (канатные дороги и лифты)

Усилие в натяжном устройстве выразим через натяжение на натяжном (приводном или обводном) шкиве, при этом сопротивлением перемещению натяжной каретки при предварительном расчете можно пренебречь, тогда

$$P_{ну} = S_{сбн} + S_{нбн}, \quad (3.8)$$

где, $S_{нбн}$ - натяжение набегающей ветви каната на натяжном (приводном или обводном шкивах в зависимости от места расположения привода и натяжного устройства) шкиве, Н;

$S_{сбн}$ - натяжение сбегающей ветви каната на натяжном (приводном или обводном) шкиве, Н;

Кроме этих требований необходимо учитывать, то что долговечность футеровки приводного и обводного шкивов может быть обеспечена только при условии, что давление несущего-тягового каната на желоб обода шкива не превышает значения, допускаемого материалом футеровки [22]. Принято [0], что давление воспринимается площадкой шириной $b=2/3 d_k$, где d_k – диаметр несущего-тягового каната

$$p = S_{нб}/(R_{ш}b) \text{ или после подстановки } p = 3S_{нб}/(D_{ш} d_k), \quad (3.9)$$

в этих выражениях $R_{ш}$ и $D_{ш}$ – соответственно радиус и диаметр шкива.

Наибольшее допустимое давление, рассчитанное по этой формуле $p=3,7\text{МПа}$ [0]. Используя зависимости выражающие указанные условия, можно расчетным путем найти значения сил действующих на канат, и следовательно определить основные параметры ПКД, рациональные в смысле максимизации ее пропускной способности при ограничениях, накладываемых прочностью канатов и характеристиками механического оборудования.

Рассмотрим вывод соответствующих расчетных зависимостей для определения сил действующих в характерных точка контура несущего-тягового каната, в том числе максимального усилия, сил действующих в натяжном устройстве и мощности привода с учетом ограничений согласно выражений 3.4 и 3.5.

Схемы расположения привода и натяжного устройства, режим загрузки подвижного состава существенно влияют на величину действующих сил. Поэтому определим действующие силы для всех схем расположения привода и натяжного устройства и возможных случаев нагружения ПКД. При предварительных расчетах возможно не учитывать потери на шкивах, так как их величина незначительна по сравнению с сопротивлением движению каната между станциями.

Кроме этого можно пренебречь вращающимися массами роликов на линейных опорах, так как их величина при пролетах более 20 м не превышает 1...2% от массы подвижного состава и каната.

Более подробно рассмотрим порядок расчета сил действующих на канат для схемы ВП (рис. 3.2), при этом возможны три случая нагружения:

Первый случай. Наиболее тяжелый двигательный (силовой) режим ПКД при условии если $tg \beta < \omega'$ ($\beta < 4^\circ$) и сторона подъема и спуска загружена на 100%. В этом случае сопротивление движению грузовой стороны спуска будет больше нуля, то есть $W_{сг} > 0$ и $S_{сб} = S_{min}$, а $S_{нб} = S_{max}$.

Разобьем контур каната ПКД на участки с характерными сопротивлениями, начиная с точки сбега каната с привода и определим эти сопротивления (рис 3.3):

Канатный транспорт (канатные дороги и лифты)

- сторона спуска грузеная согласно выражению

$$W_{сз} = q_{зр} l (\omega' \cos\beta - \sin\beta);$$

- сопротивлением на натяжном шкиве пренебрегаем, то есть для предварительных расчетов $S_{нбн} = S_{сбн}$;

- сторона подъема грузеная согласно выражению

$$W_{сз} = q_{зр} l (\omega' \cos\beta + \sin\beta).$$

С учетом того, что натяжение в последующей точке контура каната ПКД равно натяжению в предыдущей точке в сумме с сопротивлением движению каната между этими точками, составим систему уравнений для определения усилий в характерны точках контура каната

$$\begin{aligned} S_{нбн} &= S_{сб} + W_{сз} \\ S_{нбн} &= S_{сбн} \\ S_{нб} &= S_{сбн} + W_{пз} \end{aligned} \quad (3.10).$$

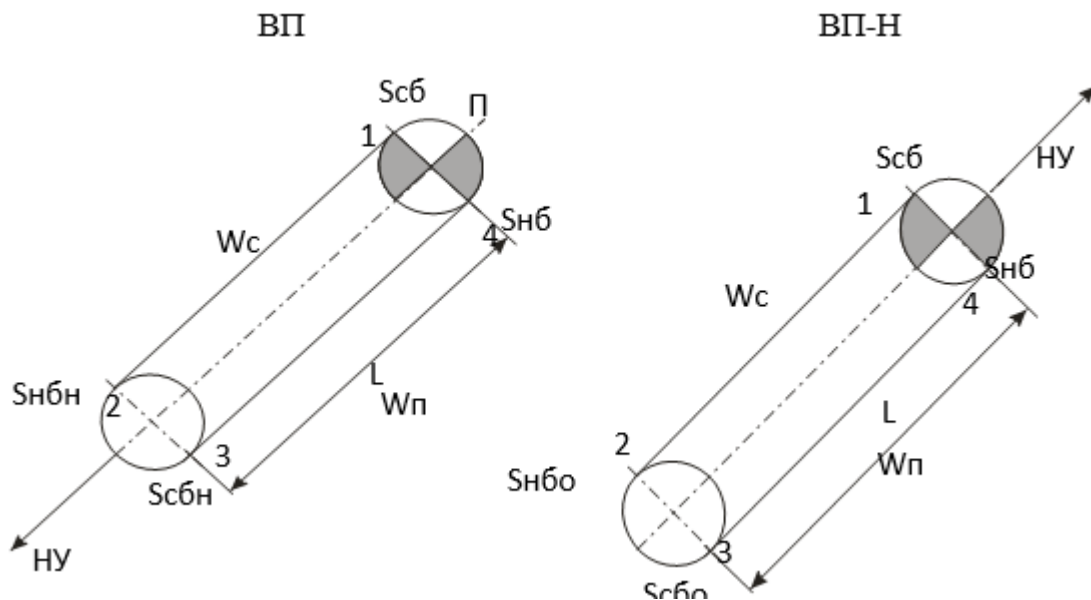


Рис 3.2. Схема ПКД с верхним расположением привода ВП и ВП-Н:

П - привод; НУ- натяжное устройство; $S_{нб}$ и $S_{сб}$ - натяжение каната в точках набегания и сбегания на приводе; $S_{нбн}$ и $S_{сбн}$ - натяжение каната в точках набегания и сбегания на натяжном шкиве; $S_{нбо}$ и $S_{сбо}$ - натяжение каната в точках набегания и сбегания на обводном шкиве; $W_{п}$ и $W_{с}$ – сопротивление движению стороны подъема и стороны спуска.

С учетом условия 3.5 обеспечения запаса сцепления каната на приводном шкиве система уравнений примет вид

$$\begin{aligned} S_{нбн} &= S_{сб} + W_{сз} \\ S_{нбн} &= S_{сбн} \\ S_{нб} &= S_{сбн} + W_{пз} \\ S_{сб} (e^{\mu\alpha} - 1) / (S_{нб} - S_{сб}) &\geq K \end{aligned} \quad (3.11)$$

Канатный транспорт (канатные дороги и лифты)

Подставив значение для данного случая $W_0 = W_{сз} + W_{пз}$ и решая систему уравнений 3.11 получим

$$\begin{aligned} S_{сб} &= K W_0 / (e^{\mu\alpha} - 1) \\ S_{нбн} &= K W_0 / (e^{\mu\alpha} - 1) + W_{сз} \\ S_{нб} &= W_0 (K + e^{\mu\alpha} - 1) / (e^{\mu\alpha} - 1). \end{aligned} \quad (3.12)$$

Если величина $S_{сб}$ не удовлетворяет условию 3.4 то есть $S_{сб} < 15F_{пс}$, тогда в системе уравнений 3.11 заменим последнее уравнение на выражение $S_{сб} = 15F_{пс}$, тогда

$$\begin{aligned} S_{нбн} &= S_{сб} + W_{сз} \\ S_{нбн} &= S_{сбн} \\ S_{нб} &= S_{сбн} + W_{пз} \\ S_{сб} &= 15F_{пс} \end{aligned} \quad (3.13).$$

Решая систему уравнений 3.13 получим окончательно для данного случая величину сил, необходимых для дальнейших расчетов

$$\begin{aligned} S_{сб} &= 15F_{пс} \\ S_{нбн} &= 15F_{пс} + W_{сз} \\ S_{нб} &= 15F_{пс} + W_0. \end{aligned}$$

Построим график натяжений каната в точках контура (рис 3.3.). Построение необходимо начинать с точки 1 (рис 3.2) сбегания каната с привода, в которой натяжение $S_{сб} = S_{min}$. По горизонтальной оси отложим в масштабе длины участков ПКД. По вертикальной оси отложим в масштабе натяжения в точках контура каната. На графике углы наклона линий 1'-2' и 3'- 4' характеризуют величины удельных сопротивлений на этих участках.

Второй случай. При двигательном (силовом) режиме если $tg \beta > \omega'$ ($\beta > 4^\circ$) тогда $W_{сп} < 0$ и сторона подъема загружена на 100%, а сторона спуска порожняя то, $S_{нбн} = S_{min}$ и $S_{нб} = S_{max}$. Сопротивление движению порожней стороны спуска примет вид

$$W_{сп} = q_0 l (\omega' \cos \beta - \sin \beta).$$

Система уравнений 3.11. и результаты расчет 3.12 будут иметь такой же вид (выражения 3.9) как для первого случая.

Если величина $S_{нбн}$ не удовлетворяет условию 3.4, то есть $S_{нбн} < 15F_{пс}$, тогда система уравнений для определения натяжений в точках контура для второго случая запишем в следующем виде

$$\begin{aligned} S_{нбн} &= S_{сб} + W_{сп} \\ S_{нбн} &= S_{сбн} = 15F_{пс} \\ S_{нб} &= S_{сбн} + W_{пз} \end{aligned} \quad (3.14)$$

Канатный транспорт (канатные дороги и лифты)

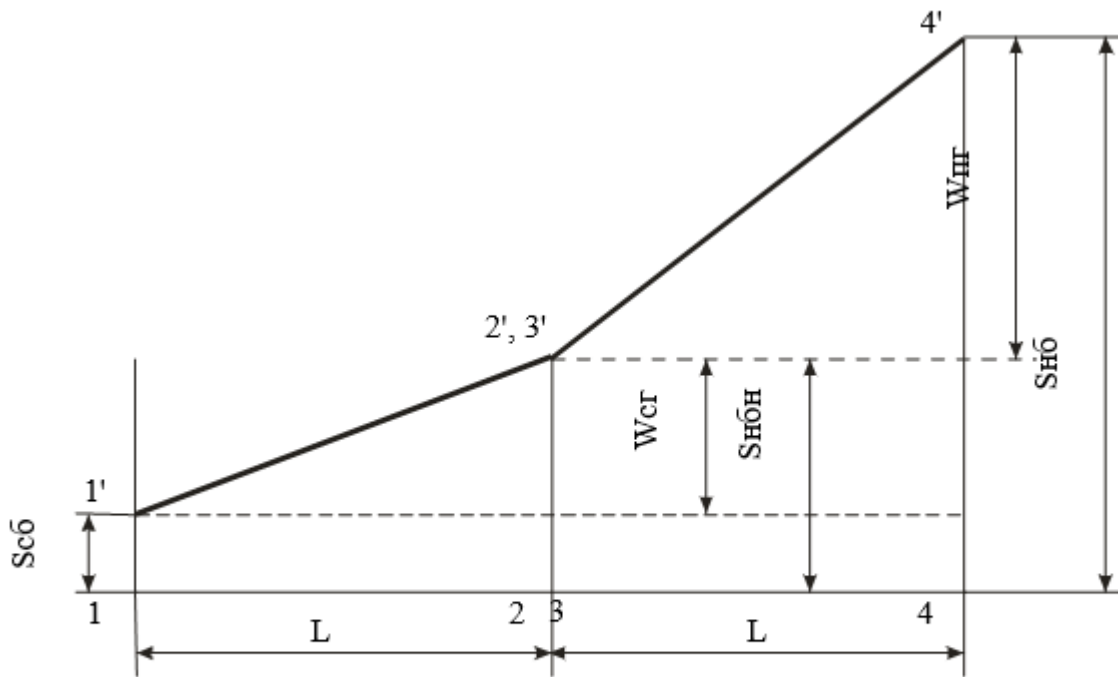


Рис. 3.3. График натяжений каната ПКД для схемы расположения привода ВП (первый случай) при условии $tg \beta < \omega'$, $W_{сг} > 0$, $W_{пг} > 0$, $S_{сб} = S_{min}$, $S_{нб} = S_{max}$.

Величина сил, действующих на канат для второго случая примет вид

$$\begin{aligned} S_{сб} &= 15F_{пс} - W_{сп} \\ S_{нбн} &= S_{сбн} = 15F_{пс} \\ S_{нб} &= 15F_{пс} + W_{пг} . \end{aligned} \quad (3.15)$$

По аналогии с первым случаем построим график натяжений каната в характерных точках контура (рис. 3.4).

Третий случай. Возможен тормозной режим если $tg \beta > \omega'$ ($\beta > 4^\circ$) и сторона подъема порожняя, а сторона спуска загружена на 100% , при этом $W_{сг} < 0$, $S_{нбн} = S_{min}$ и $S_{сб} = S_{max}$.

Соппротивление движению порожней стороны подъема примет вид

$$W_{пп} = q_0 l (\omega' \cos \beta + \sin \beta).$$

При тормозном реже величина тормозной силы будет больше нуля

Тормозную силу определим из выражения

$$\begin{aligned} W_T &= - (W_{сг} + W_{пп}) \text{ или} \\ W_T &= S_{сб} - S_{нб} \end{aligned} \quad (3.16)$$

Подставим в формулу 3.16 соответствующие значения $W_{сг}$ и $W_{пп}$, получим выражение для расчета тормозного силы на приводном (тормозном) шкиве

$$W_T = q_{пас} l \sin \beta - (q_{пас} + 2 q_0) l \omega' \cos \beta. \quad (3.17)$$

Система уравнений для определения действующих на канат сил в тормозном режиме с учетом отсутствия проскальзывания на тормозном (приводном) шкиве (3.6)

$$\begin{aligned} S_{нбн} &= S_{сб} + W_{сг} \\ S_{сбн} &= S_{нбн} \end{aligned}$$

Канатный транспорт (канатные дороги и лифты)

$$S_{нб} = S_{сбн} + W_{пп} \quad (3.18)$$

$$S_{нб} \geq K W_T / (e^{\mu\alpha} - 1)$$

Решив систему уравнений получим

$$S_{сб} = W_T (K + e^{\mu\alpha} - 1) / (e^{\mu\alpha} - 1)$$

$$S_{нб} = K W_T / (e^{\mu\alpha} - 1)$$

$$S_{сбн} = K W_T / (e^{\mu\alpha} - 1) - W_{пп}.$$

Если минимальное натяжение не удовлетворяет условию $S_{min} \geq 15F_{пс}$, тогда система уравнений 3.18 примет вид

$$S_{нбн} = S_{сб} + W_{сз}$$

$$S_{нбн} = S_{сбн} = 15F_{пс} \quad (3.19)$$

$$S_{нб} = S_{сбн} + W_{пп}$$

Из этой системы уравнений определим следующие величины

$$S_{сб} = 15F_{пс} - W_{сз}$$

$$S_{нб} = 15F_{пс} + W_{пп}$$

$$S_{нбн} = 15F_{пс}.$$

Построим диаграмму натяжения каната для третьего случая (рис. 3.5) схемы расположения привода ВП по аналогии с первым и вторым случаем.

Анализируя построенные графики для схемы ВП сделаем следующие выводы:

1. Мощности привода и усилия в натяжном устройстве необходимо рассчитывать по величинам натяжений каната полученным в результате расчета для первого или второго случая, в зависимости от величины угла наклона трассы.
2. Тормозной момент для выбора тормозов определяется из расчета натяжений каната для третьего случая.

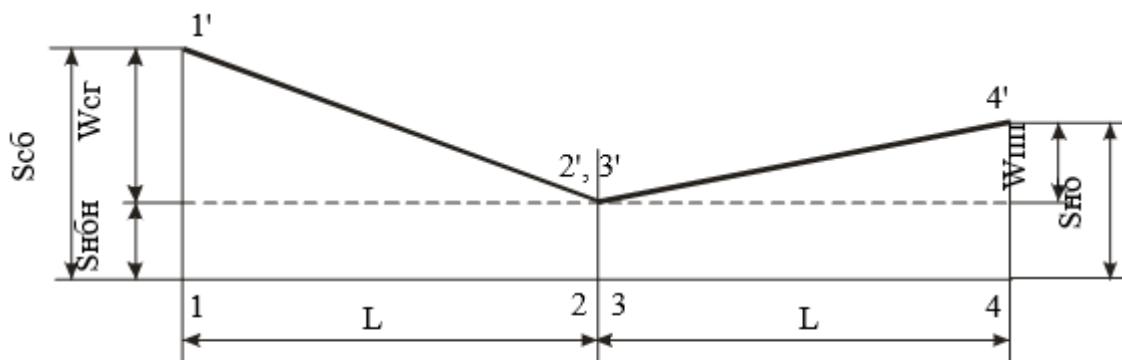


Рис 3.5. График натяжений каната ПКД для схемы расположения привода ВП (третий случай, тормозной режим) при условии $tg \beta > \omega'$, $W_{сз} < 0$, $W_{пп} > 0$, $S_{нбн} = S_{min}$, $S_{сб} = S_{max}$.

Величины натяжений каната для схемы ВП-Н такие же, как для схемы ВП. Результаты расчета сведены в таблицу 3.4. Для этой схемы для первого случая нагружения значительно возрастет усилие в натяжном устройстве.

Канатный транспорт (канатные дороги и лифты)

Рассмотрим возможные варианты загрузки ППКД для схем расположения привода НП, НП-Н (рис. 3.6) и полученные зависимости сведем в таблицу 3.4. На основании зависимостей представленных в таблице 3.4 для схем расположения привода НП, НП-Н построим графики натяжения каната для трех случаев нагружения (Рис. 3.7, Рис 3.8, Рис 3.9).

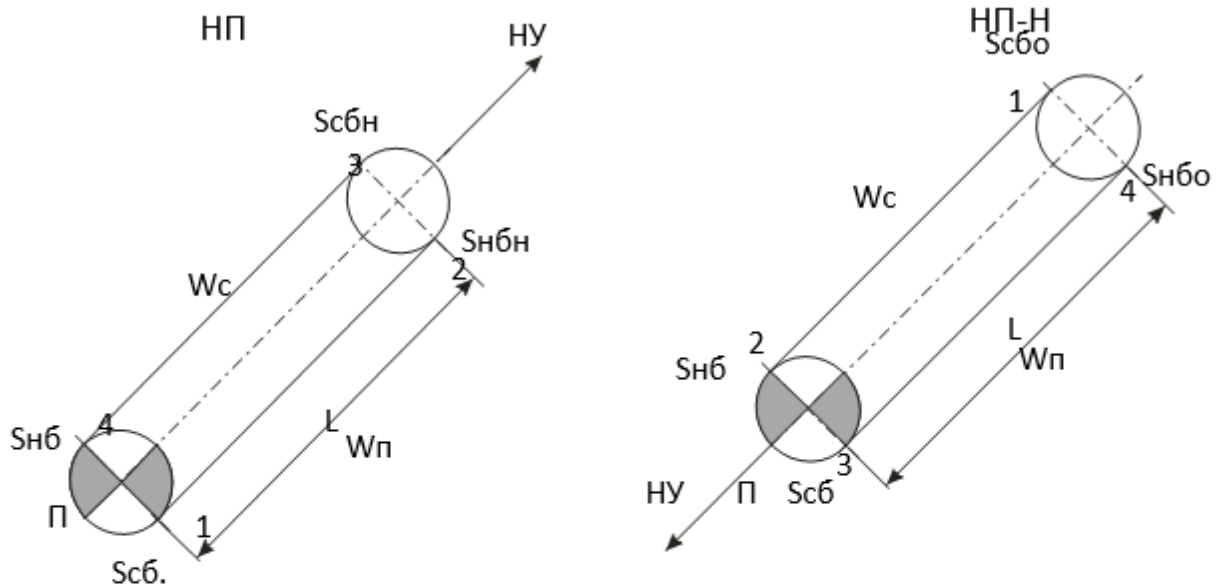


Рис 3.6. Схем с нижнем расположением привода НП, НП-Н:

П- привод; НУ- натяжное устройство; $S_{нб}$ и $S_{сб}$ - натяжение каната в точках набегания и сбегания на приводе; $S_{нбн}$ и $S_{сбн}$ - натяжение каната в точках набегания и сбегания на натяжном шкиве; $S_{нбо}$ и $S_{сбо}$ - натяжение каната в точках набегания и сбегания на обводном шкиве; W_n и W_c – сопротивление движению стороны подъема и стороны спуска.

Выполнив анализ диаграмм натяжения каната для возможных схем расположения привода, с учетом рассмотренных случаев нагружения и используя полученные зависимости, выбираем рациональный вариант расположения привода и натяжного устройства с точки зрения минимального усилия в натяжном устройстве ($P_{ну}$) и мощности привода (N).

Для принятой реальной схемы расположения привода и натяжного устройства по величине наибольшего натяжения S_{max} производится выбор несуще-тягового каната. При выборе канат, с учетом требований Правил [22], должен быть проверен расчетом на прочность при растяжении по формуле

$$F_0 \geq S_{нб} k_{зп},$$

где F_0 - разрывное усилие каната в целом, принимаемое по сертификату или свидетельству об испытании;

$k_{зп}$ - минимальный коэффициент запаса прочности для несуще–тягового каната $k_{зп} = 4,5$ [22].

Канатный транспорт (канатные дороги и лифты)

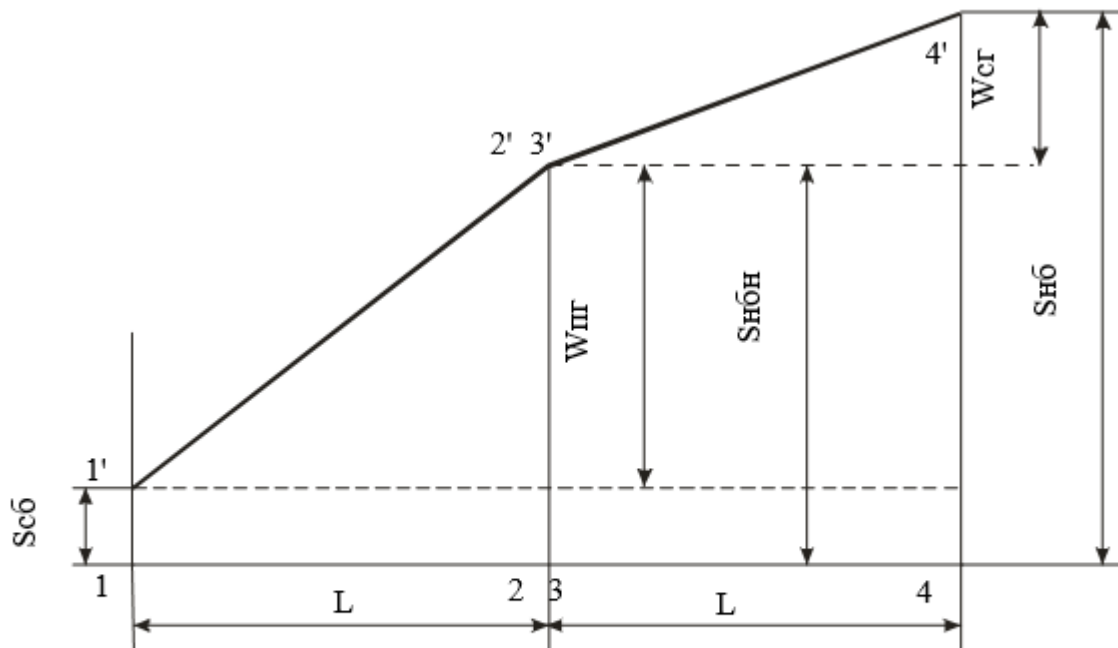


Рис.3.7. График натяжений каната ПКД для схемы расположения привода НП и НП-Н (первый случай) при условии $tg \beta < \omega'$, $W_{сг} > 0$, $W_{пг} > 0$, $S_{сб} = S_{min}$, $S_{нб} = S_{max}$.

Канатный транспорт (канатные дороги и лифты)

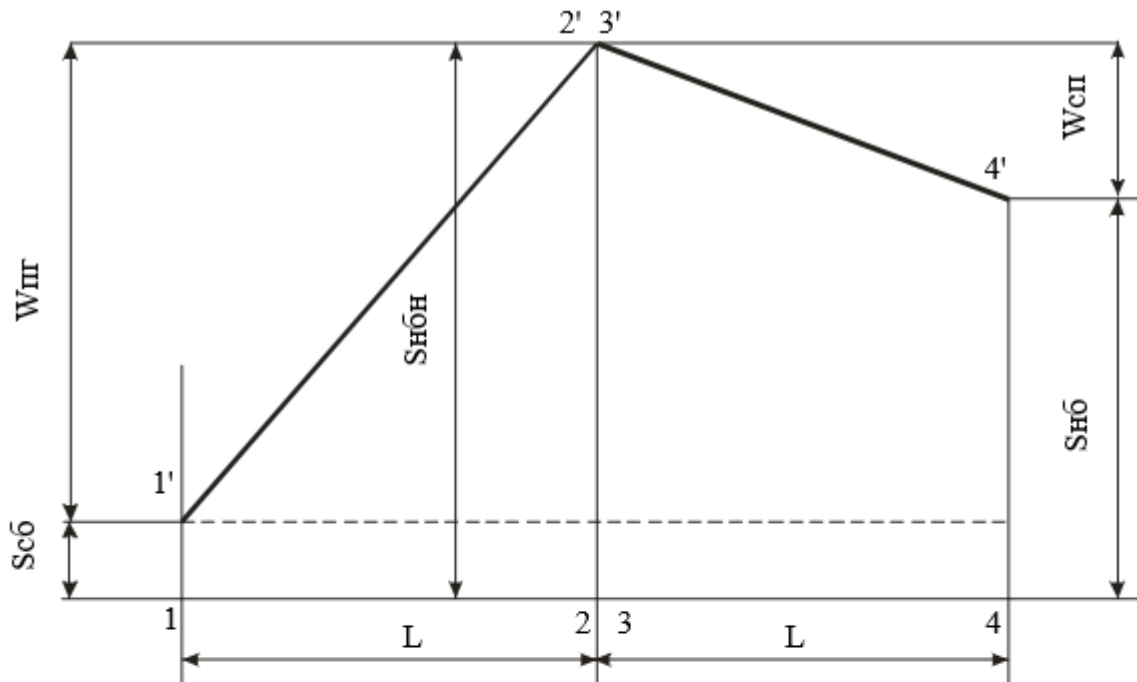


Рис. 3.8. График натяжений каната ПКД для схемы расположения привода НП при условии (второй случай) $tg \beta > \omega'$ $W_{сн} < 0$, $W_{нз} > 0$, $S_{сб} = S_{мин}$, $S_{нбн} = S_{max}$

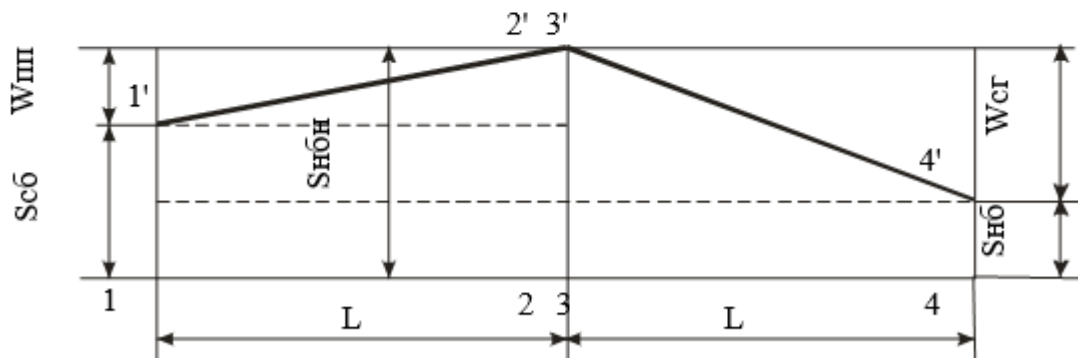


Рис 3.9. График натяжений каната ПКД для схемы расположения привода НП (третий случай, тормозной режим) при условии $tg \beta > \omega'$ $W_{сз} < 0$, $W_{нп} > 0$, $S_{нб} = S_{мин}$, $S_{нбн} = S_{max}$

Если в сертификате предприятия-изготовителя (свидетельстве об испытании) указано суммарное разрывное усилия всех проволок, то разрывное усилие каната в целом может быть определено путем умножения суммарного разрывного усилия всех проволок на поправочный коэффициент.

Поправочный коэффициент должен приниматься по стандарту для каждой конкретной конструкции выбранного каната. В случае отсутствия такого стандарта поправочный коэффициент для круглопрядных канатов двойной свивки принимается равным 0,83 [22].

По формуле 3.6 $p = 3S_{нб}/(D_{ш} d_k)$ определяем давление несущего-тягового каната на желоб обода шкива оно не должно превосходит допускаемого материалом футеровки значения [22].

Канатный транспорт (канатные дороги и лифты)

Усилие в натяжном устройстве получим, подставив в выражение 3.8 значение $S_{нбн}$ для конкретной схемы расположения натяжного устройства

$$P_{ну} \geq 2 S_{нбн}.$$

По величине усилия в натяжном устройстве $P_{ну}$ выполняется расчет гидроцилиндров гидравлического натяжного устройства или выбор массы контргруза.

Потребную мощность электродвигателя при работе ППКД в двигательном (силовом) режиме для наиболее неблагоприятных условий расчетных случаев загрузки определим по известной формуле

$$N = k_n W_0 u / \eta,$$

где k_n – допускаемый коэффициент перегрузки электродвигателя при пуске или остановке, определяется по каталогу электродвигателей;

u - скорость движения несущего-тягового каната;

η - коэффициент полезного действия привода для ППКД с двигательным (силовым) режимом $\eta = 0,85$, для ППКД с тормозным режимом $\eta = 1,0$.

Тормозной момент аварийного тормоза

$$M_{ат} = W_T D_{ат} / 2,$$

где $D_{ат}$ – средний диаметр расположения колодок аварийного тормоза на приводном шкиве, м.

Тормозной момент рабочего тормоза

$$M_{рт} = W_T D_{рт} \eta / 2U,$$

где $D_{рт}$ – диаметр тормозного шкива колодочного рабочего тормоза или средний диаметр расположения колодок рабочего дискового тормоза, м;

U - передаточное отношение привода ППКД.

Прочностные и усталостные расчеты узлов и деталей ППКД производится с учетом требований Правил [22], согласно которых запас прочности (отношение временного сопротивления материала к напряжению от максимальных статических нагрузок) всех несущих элементов механического оборудования ППКД должен быть не менее пяти. Детали, воспринимающие динамические нагрузки, должны быть дополнительно проверены на усталостную прочность.

Лекция № 5.

1. МАЯТНИКОВЫЕ ППКД

Маятниковые ППКД имеют один или два вагона, совершающие возвратно-поступательное движение между конечными станциями. Маятниковые дороги выполняют одноканатными с вагонами, постоянно прикрепленными к несущему-тяговому канату и передвигающимися вместе с ним, или двух канатными, вагоны которых передвигаются по неподвижным одному или двум несущим канатам с помощью одного, двух, реже трех тяговых канатов.

Одноканатные маятниковые дороги снабжают четырех- или шестиместными (реже восьмиместными) вагонами. Несущий-тяговый канат вместе с прикрепленными к нему вагонами движется со скоростью, не превышающей 6,3 м/с. Малая вместимость вагонов и невысокая скорость движения ограничивают

Канатный транспорт (канатные дороги и лифты)

пропускную способность, а по условиям натяжения несущего каната пролеты нельзя выполнять большими, поэтому одноканатные маятниковые дороги применяют весьма редко.

Маятниковые двухканатные дороги как средство пассажирского транспорта используют преимущественно в трудно проходимой или сильно пересеченной местности, не доступной для других видов транспорта или требующий больших капитальных затрат на строительство искусственных сооружений для прокладки, например, шоссейной или железной дороги. С помощью канатной дороги можно по кратчайшему расстоянию соединить два конечных пункта, преодолевая большую разность высот, пересекая глубокие ущелья, водные пространства или другие препятствия. Применение в качестве несущих канатов высокой прочности ($\sigma = 2000$ МПа) позволяет значительно увеличить пролеты. Максимальные параметры двухканатных маятниковых дорог: пролет - 3000 м; абсолютная высота над уровнем моря 4760 м; длина дороги, состоящей из четырех участков, 12,5 км; общий перепад высот 3186 м.

В СССР маятниковые дороги как средство пассажирского транспорта получили развитие в послевоенные годы. Первая такая дорога была построена в г. Чиатура Груз. СССР в 1947 г. Построены новые канатные дороги в г. Чиатура, в дальнейшем в Тырнаузе, Тбилиси, Боржоми, Кутаиси и других городах. Так, пассажирские маятниковые канатные дороги в г. Тырнаузе, соединяющие рабочий поселок с рудником, имеют протяженность около 2000 м и преодолевают разность высот 700 м, время поездки на канатной дороге составляет всего около 6 мин. Автомобильная дорога, соединяющая эти же конечные пункты, проложена на крутых горных склонах с предельными уклонами и имеет протяженность 20 км, а поездка длится около 1 ч.

Все чаще строят канатные дороги в курортных местах для транспортирования отдыхающих от санатория к морю. В СССР первой такой дорогой была маятниковая канатная дорога для санатория «Черноморье» в г. Ялте, затем там же были построены канатные дороги в санатории «Горный» и в курортном городке «Донбасс». В горных районах сооружают канатные дороги для обслуживания горнолыжников и туристов. Для этой цели применяют маятниковые канатные дороги; как основные транспортные магистрали и дополняющие их более простые одноканатные кресельные и буксировочные дороги. Маятниковые пассажирские канатные дороги, сооруженные на склонах горы Эльбрус, проходят по сложной горной трассе, преодолевают разность высот 1098 м и на отметке 3462 м над уровнем моря достигают вечных ледников, обеспечивая горнолыжникам круглогодичное катание.

До 1981 года в Советском Союзе построено и эксплуатируется 48 маятниковых ППКД. Общая длина всех дорог равна 38,4 км; общая пропускная способность составляет 9650 чел./ч.

Пропускная способность маятниковых дорог характеризуется количеством пассажиров, перевозимых в час, и зависит от протяженности дороги, ее скорости и вместимости вагонов. Для преодоления больших расстояний требуются дороги большой протяженности. Однако по условиям безопасности на пассажирских канатных дорогах не допускается сращивание несущего каната, и поэтому максимальная длина его лимитируется возможностью изготовления и

Канатный транспорт (канатные дороги и лифты)

транспортирования каната в одном куске. Скорость маятниковых дорог согласно Правилам устройства и безопасной эксплуатации принимается в свободном пролете до 12,5 м/с, при проходе через опоры до 8 м/с. Определяющим фактором является вместимость вагонов, поэтому для достижения высокой пропускной способности на маятниковых канатных дорогах требуется применять вагоны большой вместимости.

Теоретически возможная максимальная пропускная способность определяется как произведение вместимости вагонов n на количестве рейсов r в 1 ч: $P = nr$.

При определении фактической пропускной способности необходимо учитывать неравномерность работы дороги в разное время года (коэффициент K_1), в течение суток (K_2) а также возможное недоиспользование вместимости вагонов (K_3). Коэффициенты K_1 , K_2 , K_3 зависят от назначения канатной дороги, метеорологических условий, остановок на ремонт и т. д. Канатные дороги, предназначенные для транспортирования рабочих от жилого поселка на предприятие, равномерно загружены в течение года, но неравномерно в течение суток. Также неравномерно загружены дороги, работающие в системе городского транспорта. Так, например, среднесуточная загрузка канатной дороги в г. Чиатура составляет около 50 % наибольшей пропускной способности. Дороги, обслуживающие курорты и санатории, работают с большой загрузкой в курортный сезон и мало загружены в остальное время года. По данным их эксплуатации среднегодовые коэффициенты составляют: $K_1 = 0,73$; $K_2 = 0,65$; $K_3 = 0,45$, а общий коэффициент среднегодовой загрузки курортных канатных дорог $K = K_1K_2K_3 = 0,21$.

Дороги, предназначенные для перевозки летом туристов, а зимой горнолыжников, используются 6-9 мес. в году по 9 ч в день зимой и 12 ч летом. Средняя загрузка их равна 25-30 %. На некоторых канатных дорогах средняя загрузка снижается до 10 %. Простои, вызванные проведением ремонтных работ, по данным эксплуатации канатной дороги Чиатура-Перевиси, составляют 4-6 %, на канатной дороге Черноморье в Крыму - 2 %.

Число рейсов в час, которое может быть выполнено на дороге, зависит от длительности t_1 поездки, времени t_2 , необходимого на посадку и высадку пассажиров, и времени t_3 затрачиваемого на обмен сигналами о готовности к пуску,

$$r = 3600/(t_1 + t_2 + t_3).$$

Длительность поездки в одном направлении для принятых скорости вагонов u , ускорения a и замедления j определяется по формуле

$$t_1 = u/a + L/u + u/j,$$

где L - путь, который вагон проходит с номинальной скоростью.

Затраты времени на посадку и высадку пассажиров зависят от вместимости вагона, числа дверей и их ширины. Под данным эксплуатации, затраты времени как на посадку, так и высадку составляют 1-3 с. на пассажира. Учитывая, что на большинстве дорог во время наибольшей загрузки поток пассажиров бывает односторонним, можно принимать только время посадки или высадки, так как при высадке пассажиров на одной станции одновременно на другой происходит посадка. Следовательно, на посадку и высадку пассажиров времени требуется в

Канатный транспорт (канатные дороги и лифты)

два раза меньше. Время, необходимое на закрывание дверей и обмен сигналами о готовности вагонов, составляет 5-10 с.

2. ОДНОКАНАТНЫЕ ППКД

Общее устройство. Простейшими по конструкции являются одноканатные маятниковые дороги (рис. 3.43, а). Один или два вагона 2 закреплены на несущем канате 4, который приводится в движение приводом 1, расположенным на одной из станций (предпочтительно на верхней); на другой станции размещено натяжное устройство 5. Если требуется по условиям местности, на линии устанавливают опоры 6; на головках опор имеются роликовые батареи 3, на которые опирается несущий канат и через которые он при движении дороги проходит вместе с подвешенными на нем вагонами. Такие канатные дороги сооружают как средство переправы через реки и глубокие ущелья.

Одноканатные маятниковые подвесные дороги просты и дешевы, однако из-за малой вместимости вагонов они имеют небольшую пропускную способность и поэтому значительного распространения не получили. Несколько таких дорог построено в районе г. Чиатура.

Расчет несущего каната. Рассмотрим основной характерный случай с расположением привода на верхней станции и натяжного устройства на нижней (см. рис. 3.43, а). Расчетные формулы находим из рассмотрения условий равновесия вагона, подвешенного на канате в пролете между опорами (рис. 3.43, б).

Зная сосредоточенную нагрузку P от вагона с пассажирами, выбирают минимальное натяжение каната со стороны противовеса, которое является горизонтальной составляющей натяжения в низшей точке: $T_{\min} \approx H_0 = (10 \div 20)P$.

Натяжение несущего каната T и его горизонтальная составляющая H изменяются по пролетам, как показано на рис. 3.43, б.

Натяжение несущего каната на нижней опоре в k -м пролете, в котором находится вагон,

$$T_k = T_{\min} \pm q \sum_{j=1}^k h_j \pm \sum_{j=1}^k \Delta T_j,$$

где q – сила тяжести единицы длины несущего каната; h_j – разность высот одного пролета; ΔT_j – сопротивление поддерживающих роликов на опорах и нижней станции.

Вертикальная составляющая натяжения на нижней опоре со стороны k -го пролета при положении вагона на расстоянии x от верхней опоры:

$$V_k = ql_k / (2 \cos \beta_k) + Px / l_k - H_k \operatorname{tg} \beta_k.$$

Горизонтальная составляющая натяжения каната в k -м пролете

$$H_k = T_k \cos \beta_k \sqrt{1 - \frac{[ql_k^2 + 2Px \beta_k]^2}{4T_k^2 l_k^2}} + (q \frac{l_k}{2} + P \frac{x}{l_k} \cos \beta_k) \sin \beta_k.$$

Провес несущего каната под вагоном в k -м пролете f_k на расстоянии x от опоры

$$f_k = \frac{l_k - x}{l_k H_k} x (P + \frac{ql_k}{2 \cos \beta_k}),$$

Канатный транспорт (канатные дороги и лифты)

при $x = \frac{l_k}{2} \quad f_{l/2} = \frac{l_k}{4H_k} \left(P + \frac{ql_k}{2 \cos \beta_k} \right).$

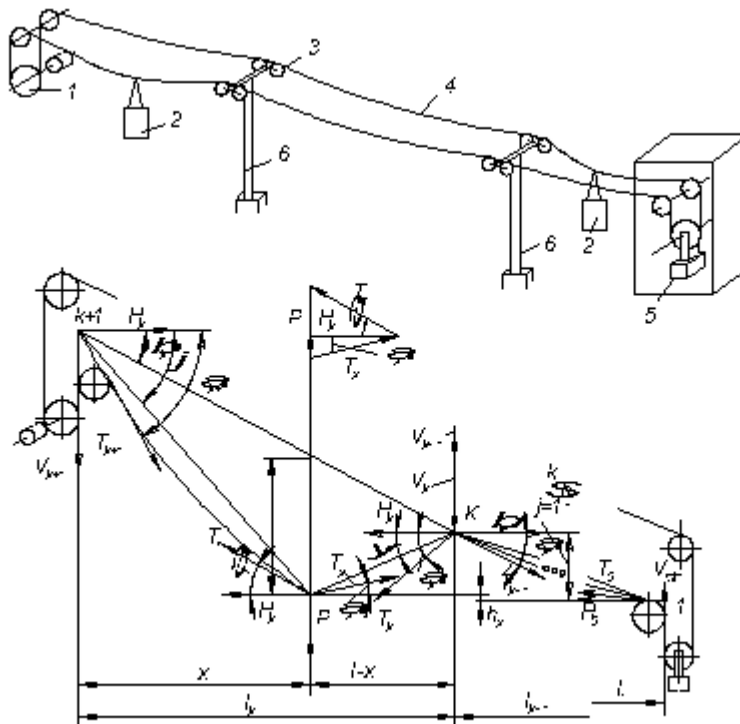


Рис.
ППКД
Углы
участков
x):

Схема
маятниковой
одноканатной
наклона
хорд
пролета x и (l_k -

$$\psi = \arctg\left(\frac{f_x}{l-x} - \operatorname{tg} \beta_k\right) = \arctg\left[\frac{x}{l_k H_k} \left(P + \frac{ql_k}{2 \cos \beta_k}\right) - \operatorname{tg} \beta_k\right];$$

$$\psi = \arctg\left(\frac{f_x}{x} + \operatorname{tg} \beta_k\right) = \arctg\left[\frac{l-x}{l_k H_k} \left(P + \frac{ql_k}{2 \cos \beta_k}\right) + \operatorname{tg} \beta_k\right].$$

Угол подхода каната к вагону со стороны противовеса

$$\alpha_x = \arctg\left(\frac{q(l_{k-x})}{2H_x \cos \psi_x}\right) \pm \operatorname{tg} \psi_x.$$

Натяжение каната у вагона со стороны противовеса

$$T_x = T_{\min} \pm qh_x \pm \sum_{j=1}^{k+1} \Delta T_j,$$

где h_x – разность высоты расположения опоры и точки закрепления на вагоне со стороны противовеса.

Натяжение каната в месте закрепления его на вагоне со стороны привода определяем из условий равновесия вагона на канате:

$$T_r = \sqrt{T_x^2 + P^2 - 2T_x P \sin \alpha_x}.$$

Это натяжение изменяется как при перемещении вагона в пролете, так и при переходе через опору, и для любого рассматриваемого положения его можно найти с учетом увеличения или уменьшения разности высот ($\pm qh$) и потерь от

трения на роликовых батареях и направляющих шкивах $\left(\pm \sum_{j=1}^{k+1} \Delta T_j\right).$

Угол подхода каната с вагоном к наивысшей точке профиля

Канатный транспорт (канатные дороги и лифты)

$$\alpha_{k+1} = \arctg\left(\frac{ql_k}{2H_k \cos \beta_k} + \frac{P}{H_k} + \operatorname{tg} \beta_k\right).$$

Наибольшее расчетное натяжение на канате $T_{\max} = T_{\text{нб}}$ будет на приводе при положении вагона на максимальном подъеме у опоры или у верхней станции с учетом сопротивлений впереди расположенных роликовых батарей и направляющих блоков. По максимальному натяжению подбирают несуще-тяговый канат, запас прочности которого по Правилам должен быть $K_p \geq 5$, и, следовательно,

$$T_{\text{разр}} = T_{\max} K_p.$$

Натяжение сбегающей ветви находят по тем же формулам, но все сопротивления вычитают. Окружное усилие на приводном шкиве определяют как разность натяжений набегающей и сбегающей ветви:

$$U = T_{\text{нб}} - T_{\text{сб}}.$$

Ход обводного блока натяжного устройства несуще-тягового каната $\Delta L_{\text{ш}}$ зависит от изменений длины его на линии в зависимости от положения вагонов на трассе ΔL_p , удлинении: упругого ΔL_E , температурного ΔL_T и остаточного ΔL_o .

Рассмотрим два состояния загрузки дороги: первое - порожние вагоны находятся в исходном положении на станциях, натяжение каната на линии, максимально возможное для этого случая; канат занимает на трассе верхнее положение, а натяжное устройство находится в наиниžшем положении; второе - вагоны занимают на трассе положение, соответствующие наибольшему ходу натяжного устройства. Для однопутевой дороги второе состояние соответствует положению загруженного вагона посередине наибольшего пролета; для двухпутевой дороги из возможных комбинаций необходимо найти такое взаимное расположение вагонов, при котором канат занимает наиниžшее положение, а натяжное устройство наивысшее. Обозначив параметры ветвей пролета, в которых находятся вагоны, соответственно l_r, h_r, β_r и l_s, h_s, β_s и принимая во внимание, что код натяжного шкива в 2 раза меньше удлинения каната, находим

$$\begin{aligned} \Delta L_{\text{ш}} = \Delta L_p - \Delta L_E + \Delta L_T + \Delta L_o = & \frac{1}{2} \left(\frac{x_r}{\cos \varphi_r} + \frac{l_r - x_r}{\cos \psi_r} - \frac{l_r}{\cos \beta_r} + \frac{x_s}{\cos \varphi_s} + \frac{l_s - x_s}{\cos \psi_s} - \frac{l_s}{\cos \beta_s} \right) + \\ & + \frac{q^2}{48} \left[\frac{x_r^3 \cos \varphi_r + (l_r - x_r)^3 \cos \psi_r}{H^2_{2r}} + \frac{x_s^3 \cos \varphi_s + (l_s - x_s)^3 \cos \psi_s}{H^2_{2s}} + \sum_{j=1}^{r-1} \frac{l^3_j \cos \beta_j}{H^2_{2j}} + \sum_{j=r+1}^{s-1} \frac{l^3_j \cos \beta_j}{H^2_{2j}} + \right. \\ & \left. + \sum_{j=s+1}^{2m} \frac{l^3_j \cos \beta_j}{H^2_{2j}} - \sum_{j=1}^{2m} \frac{l^3_j \cos \beta_j}{H^2_{1j}} \right] - \frac{1}{2E_T F_T} \sum_{j=1}^{2m} (H_{1j} - H_{2j}) \frac{l_j}{\cos^2 \beta_j} + [\varepsilon(t_1 - t_2) + \nu] \sum_{j=1}^m \frac{l_j}{\cos \beta_j}, \end{aligned} \quad (3.18)$$

где m - число пролетов; $2m$ — число ветвей пролетов; ν - 0,0008 - коэффициент остаточного удлинения каната двойной свивки с волокнистым сердечником; t - температура; индексы 1 и 2 указывают, что параметры соответствуют первому и второму состоянию загрузки дороги.

3. ДВУХКАНАТНЫЕ ППКД

Общее устройство

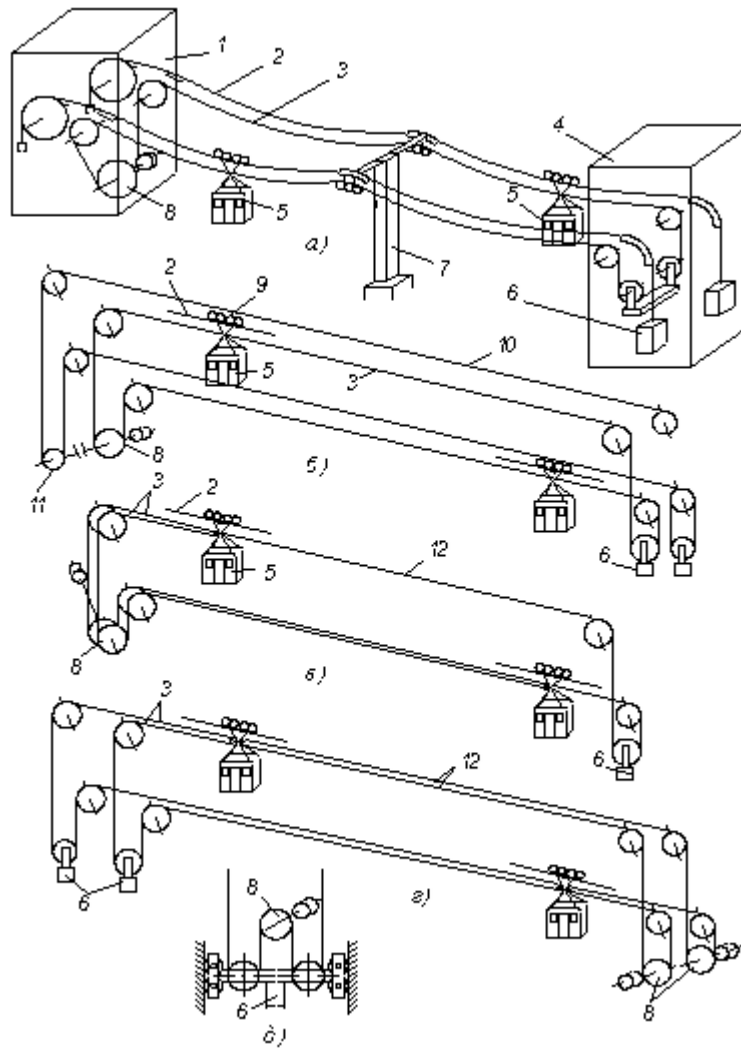
Канатный транспорт (канатные дороги и лифты)

Двухканатные маятниковые дороги (рис. 3.44, а) имеют систему канатов, состоящую из несущих канатов 2 и тяговых канатов 3, с помощью которых перемещаются вагоны 5. Станции 1 и 4 соединены несущими канатами, которые на одной из них закреплены, а на другой натянуты противовесами или на обеих станциях закреплены без противовесов. Если требуется, то несущие канаты на трассе поддерживаются опорами 7. Два вагона (иногда один) совершают между станциями маятниковое движение с помощью тяговых канатов, приводимых в движение приводом 8. Необходимое первоначальное натяжение тягового каната создается натяжным грузом 6. Привод и натяжное устройство могут располагаться отдельно на разных станциях или вместе на одной из станций.

Существуют различные системы маятниковых дорог. На рис. 3.44, б изображена схема маятниковой канатной дороги с одним тяговым канатом. Тележки оборудованы ловителями 9, которые при обрыве тягового каната захватывают несущий канат 2. Дороги этого типа при сложном профиле снабжают бесконечным вспомогательным канатом 10, который может приводиться в действие самостоятельным приводом 11 и при нормальной работе дороги поднят над несущим канатом. В случае обрыва тягового каната срабатывают ловители, которые захватывают несущий канат, и вагоны не могут передвигаться. В этом случае вспомогательный тяговый канат опускают до уровня несущего каната, и с помощью спасательных вагонов пассажиры эвакуируются на станции. Затем пустые вагоны прикрепляются к вспомогательному канату, освобождаются тормозные устройства, и вагоны доставляются на станции.

Маятниковые канатные дороги с тяговым канатом и ловителями на вагонах получили наибольшее

Канатный транспорт (канатные дороги и лифты)



распространение в СССР, за рубежом. Причем во всех случаях, когда в аварийной ситуации может быть осуществлена эвакуация пассажиров из вагонов па землю, систему вспомогательного каната и спасательных вагонов не устанавливают.

Выполняют маятниковые канатные дороги с двумя, а иногда и с тремя тяговыми канатами. Такое решение бывает целесообразным, когда один канат получается большого диаметра. Кроме того, в случае обрыва одного из тяговых канатов, другой (один или два) при увеличении натяжения должен удерживать вагоны. При наличии двух (или трех) тяговых канатов ловители на вагонах, как правило, не устанавливают, поскольку обрыв одновременно двух канатов исключается, однако в зарубежной практике имеются примеры, когда при наличии двух канатов вагоны также снабжают ловителями.

В СССР маятниковая канатная дорога с двумя тяговыми канатами была построена в г. Чиатура. Схема тяговых канатов представлена на рис. 3.44, в. Два приводных каната 3 присоединены спереди к вагонам 5 и приводятся в движение одним двухжелобчатым канатоведущим шкивом 8, один натяжной канат 12 закреплен сзади к вагонам и натягивается противовесом 6. Ловители на вагонах отсутствуют. Эта канатная дорога успешно эксплуатируется и в настоящее время.

Другая схема - с двумя тяговыми канатами - представлена на рис. 3.44, г. Два параллельных приводных каната 12 прикреплены к задней части вагонов 5 и

Канатный транспорт (канатные дороги и лифты)

приводятся в движение каждый отдельным приводом 8; два натяжных каната 3 прикреплены к передней части вагонов и натягиваются каждый самостоятельным грузом 6. Как предусмотрено Правилами, канаты выбирают с запасом прочности: со стороны натяжных грузов $K_x \geq 4,5$ и противолежащие им $K_t \geq 5,5$, поскольку при обрыве одного из них другим канатом будет восприниматься полное усилие от двух противовесов и составляющих силы тяжести вагонов. В этой аварийной ситуации запас прочности от статистической нагрузки должен быть не менее трехкратного, а при динамической нагрузке не менее двукратного. Таким образом, при обрыве одного из приводных канатов другой должен удержать вагоны и доставить их на станцию. По этой системе уже построены и успешно эксплуатируются две маятниковые пассажирские дороги в Крыму. Опыт эксплуатации подтвердил надежность системы управления электродвигателя при совместной работе двух отдельных приводов и тем самым опроверг необоснованное требование обязательного применения для двух параллельных тяговых канатов дифференциального привода. Положительные результаты эксплуатации дорог позволяют отдать предпочтение описанной системе. При отсутствии ловителей можно применять промежуточные якорные или натяжные станции с проходом вагоном через отклоняющие башмаки, что позволяет увеличить длину дороги. Кроме того, ложе башмаков можно выполнить с глубокой канавкой для несущего каната и, тем самым, повысить устойчивость при воздействии боковых сил на несущий канат, например, ветра.

Известна система «Ребюфель» с тягового-тормозным канатом. Ее применяли на отдельных дорогах, но из-за сложности большого распространения она не получила. Ранее существовавшую систему с неподвижным тормозным канатом в настоящее время не используют. Основным недостатком ее является наличие слабонатянутого тормозного каната, В случае срабатывания ловителя вагоны, масса которых может достигать 10 т и более, продолжают двигаться вместе с тормозным канатом, создавая ударную нагрузку па привод. При этом ускорение, скорость движения и путь торможения вагонов будут весьма значительными.

На отечественных маятниковых канатных дорогах в качестве несущих применяют спиральные канаты закрытой конструкции (ГОСТ 3090—73, ГОСТ 7675—73, ГОСТ 7676—73, ГОСТ 18899—73, ГОСТ 18900-73, ГОСТ 18901—73, ГОСТ 18902—73), а в качестве тяговых - прядевые канаты односторонней свивки с линейным касанием проволок и органическим сердечником (ЛК-Р по ГОСТ 2688—80; ЛК-Л по ГОСТ 3077—80). Тяговые канаты должны быть постоянно натянуты, натяжение их обеспечивается противовесами.

Лекция №6

1. Методы эвакуации пассажиров на канатных дорогах.

На начальном этапе в техническом задании обосновываются технические требования, с учетом профиля трассы и ландшафта местности, к оборудованию и конструкциям, к системе резервирования, позволяющей проведение эвакуации путем доставки пассажиров в подвижном составе на станции при любом

Канатный транспорт (канатные дороги и лифты)

возможном сценарии, связанном с критическим отказом. Технологические требования заключаются в оценке риска при проведении эвакуации, учитывающие структурную схему канатного метро, надежность ее элементов, коэффициент готовности узлов, агрегатов и т.д. К организационным мерам относятся проведение эвакуации пассажиров с минимальной численностью персонала по плану, в течение отведенного для этой операции времени при обеспечении необходимыми безопасными условиями труда для осуществления необходимых действий.

Современные конструкции канатного транспорта локализуют критические отказы резервирующими системами и позволяют проводить эвакуацию путем перемещения подвижного состава на станцию. Важнейшей функцией персонала, прописанной в должностных и производственных инструкциях, является его участие в эвакуации пассажиров с использованием систем резервирования, при которых необходимо обеспечить ему безопасные условия труда.

К технологическим мерам безопасности при эксплуатации канатного транспорта относится разработка плана эвакуации пассажиров, включающего технологические карты выполнения работ по резервированию с учетом трудоемкости и квалификацию персонала, с их последующим обучением и регулярной тренировкой для проверки знаний и привития навыков по устранению критических отказов.

Условие безопасности канатного транспорта при эвакуации в заданный период времени имеет вид:

$$[Q] \geq Q_i, \quad (1)$$

где $[Q]$ – допустимый риск при реализации эвакуации,

Q_i – соответственно, технический, технологический и организационный (индивидуальный) риски.

При оценке технического риска применения канатного транспорта основное значение приобретает определение причинно-следственных связей между случайными и локальными событиями, происходящим с различной частотой возникновения критического отказа и проведения эвакуации.

Для выявления причинно-следственных связей использования систем резервирования при эвакуации, воспользуемся логико-графический методом «дерево событий» – ДС (Event Tree Analysis – ETA).

Учитывая подтвержденные гипотезы о том, что распределение критических отказов элементов, узлов, механизмов и систем ППКД резервирования, в наибольшей степени влияющих на их безопасную эксплуатацию, подчинен экспоненциальному закону, риск может быть определен из выражений:

$$Q(t) = 1 - P(t), \quad P(t) = \exp\left[-\int_0^t \lambda(t) dt\right], \quad \lambda(t) = -P'(t)/P(t), \quad (2.1)$$

где $P(t)$ – вероятность безаварийной работы (функция безопасности); $\lambda(t)$ – интенсивность отказов, выраженная в вероятности, что после работы без проявленных отказов до момента времени t критический отказ произойдет в следующем ограниченном промежутке времени, в результате которого необходимо включить (начнет функционировать) резервирование.

Канатный транспорт (канатные дороги и лифты)

Статистические наблюдения свидетельствуют, что после непродолжительного пробного периода эксплуатации ППКД (обкатки) функция $\lambda(t)$ в течение длительного времени сохраняет стабильность, т.е. $\lambda(t)=const$.

Таким образом, определив для периода нормальной работы ППКД $\lambda(t)=const$, из (2.1) получаем экспоненциальное распределение:

$$P(t) = \exp(-\lambda T), \quad (2.2)$$

При этом $T=1/\lambda$ – математическое ожидание средней наработка до критического отказа. Функцию риска, в зависимости от средней наработки критического отказа T , можно выразить в следующем виде:

$$Q(t) = 1 - \exp(-t/T). \quad (2.3)$$

Вероятность Q проявления любого критического отказа представляет оценку риска эвакуации в период τ по формуле (2.1):

$$Q = 1 - Q(0, \lambda \tau) = 1 - \exp(-\lambda \tau). \quad (2.4)$$

Упомянутый метод (ДС) является ничем иным, как индуктивным логическим методом определения всевозможных потенциальных последствий от текущего события, взятого за исходное. Количество потенциальных конечных событий находится в зависимости от выбора событий, возникающих после исходного события. Метод (ДС) демонстрирует дальнейшие пути проявления критического отказа, его интенсивности, что позволяет, в свою очередь определять риск проведения эвакуации.

Используя накопленный опыт и статистический анализ, полученный по аналогичным сложным техническим системам (в том числе ППКД) возможно приведение ранжирование конструктивных элементов узлов и механизмов, используемых при резервировании по интенсивностям отказов λ_i .

Канатный транспорт (канатные дороги и лифты)

Таблица 17

Интенсивность отказов конструктивных элементов узлов и механизмов, используемых при резервировании КД

№ п/п	Элемент	Интенсивность отказа λ_i
1	2	3
1.	Крепление балансиров	$4,358 \cdot 10^{-6}$
2.	Тормоза:	
a.	Невыполнение тормозом функции нормально замкнутого	$3,5367 \cdot 10^{-5}$
b.	Отказ тормозного шкива	$3,32 \cdot 10^{-7}$
c.	Отказ муфты тормоза	$6,065 \cdot 10^{-6}$
3.	Стальной канат:	
a.	Обрыв в пряди и износ	$3,599 \cdot 10^{-4}$
b.	Сход канатов с концевых блоков	$5,76 \cdot 10^{-5}$
c.	Износ канатов	$3,8552 \cdot 10^{-5}$
d.	Обрыв	$1,45 \cdot 10^{-8}$
e.	Сход канатов с блоков	$2,59806 \cdot 10^{-4}$
f.	Отказ по совокупности дефектов	$4,89 \cdot 10^{-4}$
g.	Обрыв в пряди и износ	$2,889 \cdot 10^{-5}$
h.	Сход канатов с блоков	$1,162 \cdot 10^{-5}$
i.	Обрыв	$1,24 \cdot 10^{-4}$
4.	Предохранительная планка	$1,0895 \cdot 10^{-5}$
5.	Блоки и подшипники блоков:	
a.	Отказ по совокупности дефектов	$1,99 \cdot 10^{-3}$
b.	Отказ по совокупности дефектов	$5,59 \cdot 10^{-4}$
c.	Отказ по совокупности дефектов	$2,73 \cdot 10^{-3}$
6.	Предохранительные устройства	$4,69799 \cdot 10^{-4}$
7.	Траверса подвески:	
a.	Дефект технологический	$1,14 \cdot 10^{-11}$
b.	Отказ по совокупности дефектов	$1,676 \cdot 10^{-6}$
c.	Дефект материала	$1,14 \cdot 10^{-8}$
8.	Крепление осей	$5,988 \cdot 10^{-6}$
9.	Повреждение подвески от соударения	$3,352 \cdot 10^{-6}$
10.	Быстроходная муфта привода	$3 \cdot 10^{-7}$
11.	Крепление вращающихся частей	$6,202 \cdot 10^{-6}$

Канатный транспорт (канатные дороги и лифты)

12.	Проушина		
	a.	Дефект технологический	$1,14 \cdot 10^{-11}$
	b.	Дефект материала	$8,68 \cdot 10^{-8}$
13.	Балансир уравнильный:		
	a.	Дефект материала	$1,14 \cdot 10^{-8}$
	b.	Отказ по совокупности дефектов	$2,794 \cdot 10^{-6}$
14.	Барабан:		
	a.	Отказ по совокупности дефектов	$5,07 \cdot 10^{-6}$
	b.	Опорный подшипник	$6,06 \cdot 10^{-6}$
	c.	Опорный подшипник	$6,641 \cdot 10^{-6}$
	d.	Крышка опорного подшипника	$1,88 \cdot 10^{-5}$
	e.	Кронштейн	$2,53 \cdot 10^{-6}$
	f.	Уплотнение входного вала	$2,53 \cdot 10^{-6}$
	g.	Вал барабана	$1,14 \cdot 10^{-8}$
	h.	Опора барабана	$2 \cdot 10^{-8}$
	i.	Установка барабана	$8,38 \cdot 10^{-7}$
	j.	Смещение барабана по оси	$1,767 \cdot 10^{-6}$
	k.	Муфта барабана	$3 \cdot 10^{-7}$
	l.	Муфта барабана	$6,705 \cdot 10^{-6}$
15.	Оседержатели блоков		$2,514 \cdot 10^{-6}$
16.	Крепление стального каната		
	a.	Отказ по совокупности дефектов	$2 \cdot 10^{-8}$
	b.	Отказ по совокупности дефектов	$1,2 \cdot 10^{-8}$
	c.	Отказ по совокупности дефектов	$1,87 \cdot 10^{-3}$
17.	Упруго-втулочная муфта		
	a.	Отказ по совокупности дефектов	$9,3071 \cdot 10^{-5}$
	b.	Износ резиновых втулок	$1 \cdot 10^{-5}$
	c.	Шпоночное крепление полумуфт на валах	$3,5 \cdot 10^{-5}$
18.	Зубчатая муфта		$9,498 \cdot 10^{-6}$
19.	Оси блоков		$1,14 \cdot 10^{-8}$
20.	Планетарная муфта		$5,944 \cdot 10^{-6}$
21.	Корпус редуктора:		
	a.	Отказ по совокупности дефектов	$6,06 \cdot 10^{-6}$
	b.	Ослабление болтов крепления редуктора	$1 \cdot 10^{-4}$

Канатный транспорт (канатные дороги и лифты)

	c.	Срез болтов крепления крышки	$3,03 \cdot 10^{-6}$
	d.	Дефект материала	$1 \cdot 10^{-9}$
	e.	Дефект технологический	$1,14 \cdot 10^{-11}$
	f.	Дефект электросварки	$3 \cdot 10^{-9}$
22.		Шестерня (колесо) зубчатое	$1,2 \cdot 10^{-7}$
23.		Шпонка вала-шестерни входного вала редуктора	$7,16 \cdot 10^{-6}$
24.		Вал редуктора:	
	a.	Дефект материала	$1,14 \cdot 10^{-8}$
	b.	Дефект технологический	$1,14 \cdot 10^{-11}$
25.		Редуктор типа ВКУ	$8,690 \cdot 10^{-6}$
26.		Редуктор типа ГК	$6,705 \cdot 10^{-6}$
27.		Червячный редуктор	$2,0114 \cdot 10^{-5}$
28.		Открытая зубчатая пара	$1,3409 \cdot 10^{-5}$
29.		Редуктор типа Ц2	$6,705 \cdot 10^{-6}$
30.		Ступень цилиндрического редуктора	$2,235 \cdot 10^{-6}$
31.		Тормоз:	
	a.	Механическая поломка	$6,4365 \cdot 10^{-5}$
	b.	Отказ по совокупности дефектов	$6,065 \cdot 10^{-6}$
	c.	Отказ колодочного тормоза по совокупности дефектов	$8,5484 \cdot 10^{-5}$
	d.	Механическая поломка	$3,37 \cdot 10^{-8}$
	e.	Электрическая часть тормоза	$6,3384 \cdot 10^{-5}$
	f.	Дефект технологический	$1,14 \cdot 10^{-11}$
	g.	Отказ тяжело нагруженной пружины	$1 \cdot 10^{-6}$
	h.	Шпоночное соединение на тормозном шкиве	$3,54 \cdot 10^{-5}$
	i.	Шкив тормозной	$1,01 \cdot 10^{-5}$
	j.	Вал тормозного шкива	$5,07 \cdot 10^{-6}$
	k.	Тормозные колодки	$2,988 \cdot 10^{-6}$
	l.	Тяга тормоза	$2,53 \cdot 10^{-6}$
	m.	Основание тормоза	$5,07 \cdot 10^{-6}$
	n.	Муфта	$6,065 \cdot 10^{-6}$
	o.	Регулировка тормоза	$3,5367 \cdot 10^{-5}$
	p.	Тормозные накладки	$2,0952 \cdot 10^{-5}$
	q.	Шарниры тормозов	$5,699 \cdot 10^{-6}$

Канатный транспорт (канатные дороги и лифты)

	г.	Гидротолкатель тормоза	$1,7596 \cdot 10^{-5}$
	с.	Гидротолкатель тормоза	$3,03 \cdot 10^{-6}$
	т.	Тяги, рычаги тормоза	$1,509 \cdot 10^{-6}$
32.		Тихоходный вал	$5,59 \cdot 10^{-7}$
33.		Двигатель:	
	а.	Отказ по совокупности дефектов	$3,6876 \cdot 10^{-5}$
	б.	Отказ по совокупности дефектов	$1,28 \cdot 10^{-4}$
	с.	Отказ по совокупности дефектов	$6,944 \cdot 10^{-6}$
	д.	Отказ по совокупности дефектов	$6,2 \cdot 10^{-7}$
34.		Двигатель постоянного тока	$9,36 \cdot 10^{-6}$
35.		Двигатель переменного тока	$5,24 \cdot 10^{-6}$
36.		Концевые выключатели	$1,7704 \cdot 10^{-5}$
37.		Шкивы	$8,38 \cdot 10^{-7}$
38.		Токоъемник	$3,3523 \cdot 10^{-5}$
39.		Гибкий токопровод	$1,31579 \cdot 10^{-4}$
40.		Электропроводка	$1,85235 \cdot 10^{-4}$
41.		Привод кабельного барабана	$5,0790 \cdot 10^{-5}$
42.		Укладка кабеля гибкого токопровода	$1,0158 \cdot 10^{-5}$
43.		Кольцевой токоъемник	$4,0632 \cdot 10^{-5}$
44.		Густая смазка	$2,235 \cdot 10^{-6}$
45.		Крепление фундаментов	$2,7657 \cdot 10^{-5}$
46.		Металлоконструкция	$2,4584 \cdot 10^{-5}$
47.		Ходовые колеса	$9,937 \cdot 10^{-6}$
48.		Буфера	$3,352 \cdot 10^{-6}$
49.		Боковые направляющие ролики	$3,04392 \cdot 10^{-4}$
50.		Падение ролика	$3,044 \cdot 10^{-6}$
51.		Разрушение ловителя (непопадание ролика на площадку)	$9,219 \cdot 10^{-6}$
52.		Буфера пружинные	$3,35 \cdot 10^{-7}$
53.		Подшипники ходовых колес	$4,550 \cdot 10^{-6}$
54.		Пускорегулирующая аппаратура	$9,47033 \cdot 10^{-4}$
55.		Промвал	$5,59 \cdot 10^{-7}$
56.		Упорный подшипник	$4,190 \cdot 10^{-6}$

2. Определение минимальной численности персонала при эвакуации методом «Дерево отказов»

Для анализа критических отказов ППКД (проведения эвакуации и расчета ее вероятности на основе значений вероятности исходных событий) воспользуемся методом «дерево отказов» – ДО.

Метод «дерево отказов» является дедуктивным логическим анализом причин, которые привели к критическому отказу канатной дороги и ее конструктивных элементов. При анализе причин критического отказа ППКД необходимо выявить причинно-следственную связь, которая связывает случайные

Канатный транспорт (канатные дороги и лифты)



локальные события, которые проявляются с определенной частотой, к нестабильному состоянию машины - включению резервирования при проведении спасательной операции. Использование метода ДО позволяет с помощью логико-графического формата продемонстрировать причины и их взаимодействие при различных вариантах произошедших случайных событий. Отследить причинное взаимодействие возможно путем анализа складывающихся опасных ситуаций в работе канатного транспорта в обратном порядке для более точной идентификации причин возникновения различных типов отказа. Построение «дерева отказов» является удобным механизмом структурирования сведений об объекте для дальнейшего углубленного анализа.

Для каждого анализируемого элемента конструкции канатной дороги моделируются случайные события, которые могут стать причинами для отказа системы. Механизм построения ДО предполагает повторение анализа причин возможного отказа для каждого элемента конструкции канатной дороги. Первоначально смоделированное на этапе риск-анализа событие (проведение эвакуации) является конечным, вершинным событием. Построение ДО от выбранного вершинного или главного события в дальнейшем получает различные отдельно моделируемые аварийные события, которые могут привести к конечному событию (проведение эвакуации). Таким образом, ДО разветвляется и является логической бинарной схемой событий.

Для удобства представления выявления и построения связей в структуре ДО применяют блоки (символы событий и логические операторы), они демонстрируют подчинение и взаимодействие моделируемых событий.

Основные логические операторы и взаимосвязанные с ними причинные взаимосвязи представлены в табл. 18.

Логические операторы

№ п/п	Символ оператора	Название оператора	Причинная взаимосвязь
1		«И»	Выходное событие происходит, если все входные события случаются одновременно
2		«ИЛИ»	Выходное событие происходит, если случается любое из входных событий
3		«m из n» (голосования или выборки)	Выходное событие происходит, если случается m из n входных событий
4		«запрет»	Наличие входа вызывает появление выхода тогда, когда происходит условное событие
5		«приоритетное И»	Выходное событие происходит, если все входные события происходят в нужном порядке слева направо
6		«исключающее ИЛИ»	Выходное событие происходит, если случается одно (но не оба!) из входных событий

Логический оператор имеет один или несколько входов, но только один выход. Любая рассматриваемая логическая связь событий может быть представлена с помощью операторов «И» и «ИЛИ». Выделение событий с учётом их характеристик и детализации для принятия решения о их введении в ДО возможно при помощи символов событий.

Основные символы событий и их характеристика представлены в табл. 19.

Предложенные для рассмотрения анализа причин проведения эвакуации метод ДО позволяет выделить возможные поэлементные отказы конструкции с помощью моделирования события и логических операторов.

СИМВОЛЫ СОБЫТИЙ

№ п/п	Символ события	Знак	Причинная взаимосвязь
1		Круг	Исходное событие, обеспеченное достаточными данными
2		Ромб	Событие, недостаточно детально разработанное
3		Прямоугольник	Событие, вводимое логическим элементом
4		Овал	Условное событие, используемое с логическим знаком «запрет»
5		Домик	Событие, которое может случаться и не случаться
6		Треугольник «перенос из»	Символы перехода
		Треугольник «перенос в»	

Из вышесказанного можно сделать вывод, что указанные символы событий и логических операторов дают возможность сформировать причинно-следственные связи между случайными отдельными базовыми событиями в логическом и графическом виде «дерева отказов». Логические операторы позволяют привести последовательность событий к исходным данным (причинам), с выявленными данными по интенсивности отказов. Однако, при построении «дерева отказов» следует на начальном этапе установить приделы выполняемого риск-анализа, иначе «громоздкое дерево отказов» приводит к появлению ошибок. Вероятностный анализ безопасности на подвесных пассажирских канатных дорогах должен быть основан на поиске исходных событий (влияющих на возможность наступления конечных событий в виде эвакуационных действий с использованием системы резервирования) или их сочетаний, то есть оценить с точки зрения весомости исходных событий и их сочетаний построенную логическую и графическую модель критических отказов с использованием метода «дерева отказов».

Для решения поставленной задачи возможно применение метода минимальных сечений в рамках выбранного метода ДО, что позволяет построенному «дереву отказов» не только графически изобразить причинно-следственные связи между случайными событиями, но и продемонстрировать различные пути, приводящие к эвакуации. С целью уменьшения возможности проведения эвакуации необходимо выявить виды критических отказов и затем

Канатный транспорт (канатные дороги и лифты)

применить резервирование для наиболее часто происходящих или наиболее вероятных из них. Применяя принцип сечений доступно очертить связанные именно с данным «деревом отказов» виды критических отказов элементов канатной дороги. В качестве сечения принимаем ряд исходных событий $e_{i_j}, j = 1 \dots n_i$, где n_i принимает значения от 1 до N, где N – количество событий в нашем «дереве отказов»), причем данный ряд будет обладать

следующим свойством: когда исходные события e_{i_j} текущего ряда происходят, то с определенной вероятностью Pr , случается и конечное событие E . При изъятии из сечения любого исходного события, сечение перестает быть критическим сочетанием и рассматривается как минимальное сечение, то есть минимальное критическое сочетание.

В дополнение принципа сечений введем принцип проходных сочетаний. Таковым сочетание является при включении в него ряда исходных событий $e_{i_j}, j = 1 \dots n_i$, где n_i принимает значения от 1 до N, где N – количество событий в нашем «дереве отказов»), причем данный ряд будет обладать

следующим свойством: когда исходное событие e_{i_j} текущего ряда не случается, то «ДО» получает гарантию, что конечное событие E не происходит. При изъятии из проходного сочетание любого исходного события, сечение перестает быть проходным сочетанием и рассматривается как минимальное проходное сочетание. Таким образом, «дерево событий» может как содержать взаимоисключающие события, так и нет, в зависимости от минимальных сечений и минимальных проходных сочетаний

В случае отсутствия в «дереве событий» взаимоисключающих событий алгоритм определения минимальных сечений строится следующим образом:

- 1) Для логических операторов («И», «ИЛИ») присваивается буквенный символ ($\alpha, \beta, \gamma, \dots$);
- 2) Нумеруются исходные события $e_{i_j}, i_j = 1 \dots N$;
- 3) Нумеруются буквенные символы наивысшего логического оператора «дерева отказа», поставить в исходном элементе (векторе-строке) формирующегося вектора-столбца, состоящего из минимальных сечений;
- 4) События, представленные в прямоугольниках изменить на идентичные буквенные символы логических операторов и исходными событиями;
- 5) Поэтапно изменить буквенный символ логического оператора «ИЛИ» на элементы набора, содержащихся на входе в вышеназванный оператор, при этом формируя новый вектор-строку, тем самым добавляя количество сечений.
- 6) Следует изменить символ "И" на набор элементов, стоящих на входе и исходные события e_{i_j} , увеличивая размер сечения;
- 7) Продолжать выполнение пунктов 4-6 алгоритма, до того этапа, когда все буквенные символы операторов не сменятся на исходные события;

Канатный транспорт (канатные дороги и лифты)

8) Устранить суперсочетания, (те сочетания, которые не подходят под определение \min сечение), при этом остальные сочетания будут искомыми \min сечениями.

Общий вид алгоритма для измерения \min проходных сочетаний, при отсутствии несовместимых исходных событий представляет собой:

1. Определенному логическому оператору необходимо присвоить свои буквенные символы ($\alpha, \beta, \gamma, \dots$);

2. Необходимо задать нумерацию исходным событиям (например, $e_{i_j}, i_j = 1 \dots N$);

3. Следует разметить наивысший символ верхнего логического оператора ДО в элементе № 1 (векторе-строке) формирующегося вектора-столбца. Элементами вектора-столбца выступают минимальные сечения;

4. Следует заменить распространенные события в прямоугольниках эквивалентными буквенными символами логических операторов и исходными событиями;

5. Следует изменить символ "ИЛИ" на набор буквенных символов, увеличивая величину проходного сочетания;

6. Следует изменить символ "И" на набор элементов, стоящих на выходе и исходные события e_{i_j} , постоянно формируя новую вектор-строку, увеличивая число проходных сочетаний

7. Продолжать выполнение пунктов 4-6 алгоритма, до того этапа, когда все буквенные символы операторов не сменятся на исходные события;

8. Устранить суперсочетания, (те сочетания, которые не подходят под определение \min проходного значения), при этом остальные сочетания будут искомыми \min проходными значениями.

Можно сделать вывод, что вышеописанный алгоритм предоставляет возможность поиска всех минимальных сечений, если отсутствуют несовместимые исходные события в сформированном ДО. Имея представления о потенциальных характеристиках канатной дороги, возможно проанализировать риск аварии Q ППКД в целом, т.е. вероятность возникновения отказа в целом в момент времени t . Вероятность наступления связанным логическим оператором "И" событий можно определить следующим образом:

$$\begin{aligned} Pr(A) &= Pr(e_1 \cap e_2 \cap \dots e_n) = \\ &= Pr(e_1) \cdot Pr(e_2) \cdot \dots \cdot Pr(e_n) \end{aligned} \quad (3.1)$$

где символ \cap выражает пересечение событий.

Вероятность происхождения события, в которых выход - это события, относящиеся к логическим оператором «ИЛИ» формируется следующим выражением :

Канатный транспорт (канатные дороги и лифты)

$$\begin{aligned} Pr(A) &= Pr(e_1 \cup e_2 \cup \dots \cup e_n) = \\ &= 1 - Pr(\bar{e}_1) \cdot Pr(\bar{e}_2) \cdot \dots \cdot Pr(\bar{e}_n) = \\ &= 1 - [1 - Pr(e_1)] \cdot [1 - Pr(e_2)] \cdot \dots \cdot [1 - Pr(e_n)], \end{aligned} \quad (3.2)$$

где символ \cup означает объединение событий, а событие \bar{e}_i , является дополнением к событию e_i , то есть наличие события \bar{e}_i , подразумевает не появление события e_i . Или, в общем виде, вероятность наступления событий $e_{ij}, j = 1 \dots n_i$, где n_i может принимать значения от 1 до N , связанных логическим оператором «И» равна произведению вероятностей Pr_{ij} , событий $e_{ij}, j = 1 \dots n_i$ определяется по формуле:

$$Pr_{И} = \prod_{j=1}^{n_i} Pr_{ij}, \quad (3.3)$$

а зависимость вероятности $Pr_{ИЛИ}$ наступления событий $e_{ij}, j = 1 \dots n_i$, где n_i может принимать значения от 1 до N , связанных логическим оператором «ИЛИ», от вероятностей Pr_{ij} событий $e_{ij}, j = 1 \dots n_i$ определяется по формуле:

$$Pr_{ИЛИ} = 1 - \prod_{j=1}^{n_i} (1 - Pr_{ij}) \quad (3.4)$$

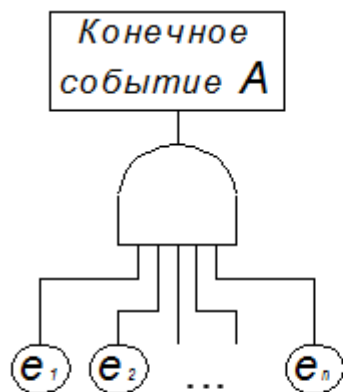


Рис. 14. События связанные логическим оператором «И».

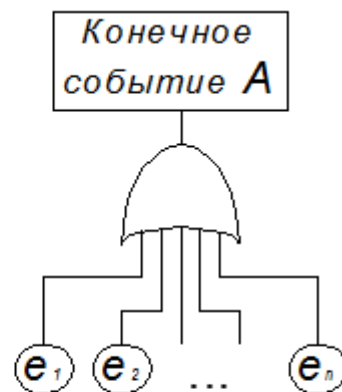


Рис. 15. События связанные логическим оператором «ИЛИ».

Из вышесказанного можно сделать вывод, что используя математическое отражение причинно-следственных связей, с учетом операторов «И», «ИЛИ»

Канатный транспорт (канатные дороги и лифты)

возможно определить вероятность наступления эвакуации (или приведение в действие резервного элемента), продвигаясь от исходных данных к главному, т. е. снизу вверх по структуре «дерево отказов» ППКД.

Рассмотрим «дерево» критических отказов для конкретной пассажирской канатной дороги (Рис.16).

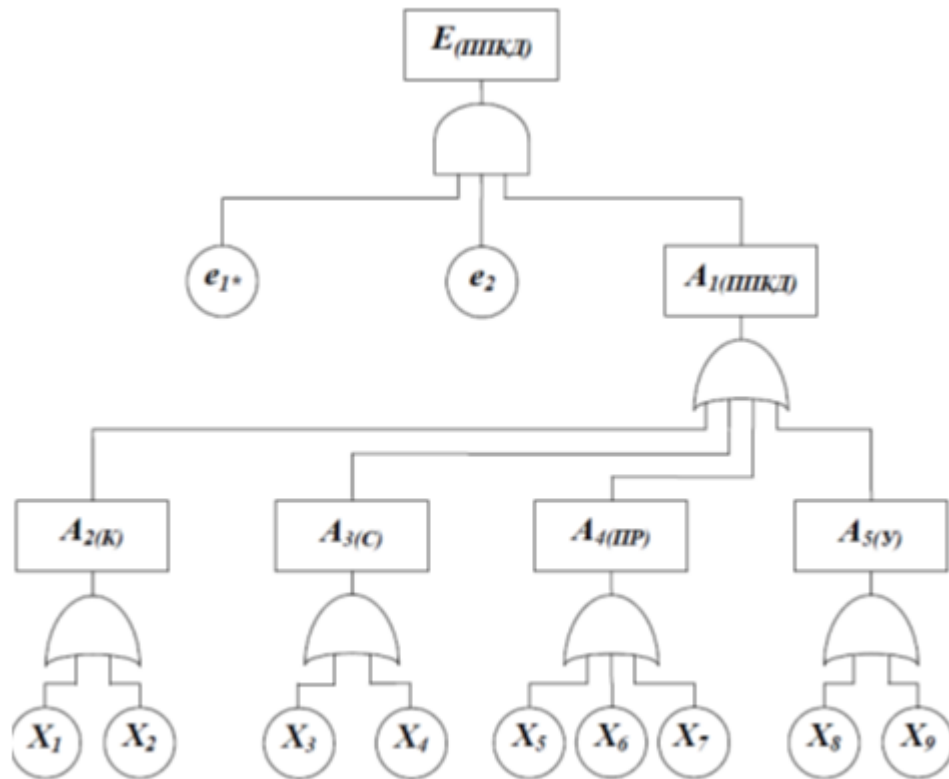


Рис. 16. Дерево событий канатного метро

Следуя теоретическим положениям логико-вероятностного алгоритма, установим опасные события - критические отказы, приводящие к возникновению главного события $E_{(ппкд)}$ – необходимости эвакуации пассажиров с использованием систем резервирования. Событие $E_{(ппкд)}$ является главным и возникает в случае наступления промежуточного события $A_{1(ппкд)}$ – критического отказа ППКД. Одновременно с промежуточными событиями $A_{1(ппкд)}$, должно выполняться исходное событие e_2 – нахождение пассажиров на ППКД, взаимосвязь в структуре «дерева отказов» отражается логическим оператором «И».

Исходное событие e_{1^*} (форс мажорное) рассматривается только при анализе вероятности возникновения главного события $E_{(ппкд)}$ при форс мажорных обстоятельствах (природно-антропогенного характера: сейсмическом воздействии, сходе лавины, ураганном ветре, падении на канат летательного аппарата и т.п.).

В ходе структурного анализа канатного транспорта установлены следующие причинно-следственные взаимосвязи между главным, промежуточными и исходными событиями:

- $A_{2(к)}$: x_1 – перехлеста тягового каната с несущим канатом или x_2 – частичный сход тягового каната;
- $A_{3(с)}$: x_3 – отказа электропитания или x_4 – отказ станционного конвейера на станции;

Канатный транспорт (канатные дороги и лифты)

- $A_{4(ПР)}$: x_5 – отказа приводного механизма или x_6 – отказа подшипникового узла шкива или x_7 – отказа аварийного привода на приводной станции;
- $A_{5(У)}$: x_8 – отказа системы управления канатной дороги или x_9 – отказа тахогенератора на шкиве.

К технологическим мерам безопасности при эксплуатации канатного транспорта относится разработка плана эвакуации пассажиров, включающего технологические карты выполнения работ по резервированию с учетом трудоемкости (T_{gi} , T_{ki}) и квалификацию персонала (g , k), с их последующим обучением и регулярной тренировкой для проверки знаний и привития навыков по устранению критических отказов.

Рассмотрим технологические меры при проведении эвакуации для канатного транспорта второго типа. Особенность процесса эвакуации заключается в устранении различных неисправностей на трассе и на станциях, в том числе используя резервные системы, для восстановления движения подвижного состава в течение отведенного времени силами собственного персонала. Правилами безопасности предусмотрено, что ответственный за исправное состояние и безопасную эксплуатацию канатной дороги должен разработать план спасательной операции (технологические меры) и обеспечить его исполнение. Чтобы уложиться в отрезок времени (4 часа), отведенного для проведения эвакуации, необходимо произвести расчет численности персонала с учетом сложившейся организации труда и действующей системы управления безопасностью на предприятии.

Для расчета оптимальной численности персонала, участвующего в эвакуации, воспользуемся методами, учитывающими структурную схему резервирования, риск критических отказов и коэффициент готовности элементов резервирования. Целевой функцией в поставленной задаче является минимизация численности персонала при выполнении работ по эвакуации в заданный интервал времени.

$$\sum (T_{gi} + T_{ki}) / N \leq 240, \quad (2)$$

где $T_{gi} = t_{yi} \times N_{gi}$ - трудоемкость работ по устранению i – го критического отказа, выполняемого персоналом, связанного с эксплуатацией;

$T_{ki} = t_{yi} \times M_{ki}$ - трудоемкость работ по устранению i – го критического отказа, выполняемого персоналом, связанного с ремонтом и обслуживанием;

t_{yi} – время по устранению i – го критического отказа;

N - общее количество персонала;

240 – максимальное время (мин.), отведенное на эвакуацию.

Количество персонала, связанного с эксплуатацией (N_g), ремонтом и техническим обслуживанием (M_k), зависит от конструкции, типа, количества промежуточных станций канатной дороги и определяется проектировщиками на основании расчетов, отраженных в руководстве по эксплуатации:

$$N = 2 \cdot N_{gi} + R + M_{ki}, \quad (3)$$

где N_{gi} – количество персонала, задействованного в эксплуатации на всех станций;

Канатный транспорт (канатные дороги и лифты)

R – количество лиц, ответственных за содержание ППКД в исправном состоянии и за их безопасную эксплуатацию (определяется штатным расписанием и принятой системой управления безопасностью на предприятии);

Mki - количество персонала, выполняющего ремонт и техническое обслуживание (слесарь-обходчик и электромеханик – определяется расчетом).

При расчете численности персонала для выполнения эвакуации, анализируются технологические карты по устранению критических отказов, определяются маршруты и трудоемкости выполняемых работ (чел. мин.) по утвержденному плану эвакуации, проводятся фотохронометражные наблюдения на существующих объектах, изучаются технические характеристики оборудования и применяемых средств механизации, анализируется организация труда и системы управления безопасностью на предприятии, оцениваются средства индивидуальной защиты персонала.

По результатам анализа технологических карт и уровню требуемой квалификации персонала устанавливаются соотношения трудоемкостей выполняемых операций по эвакуации. Чем выше уровень автоматизации систем дублирования, тем ниже уровни квалификации персонала.

В результате расчета, устанавливается соотношение по численности персонала, возможность проведения эвакуации с минимальной численностью персонала участвующего только в эксплуатации, либо с привлечением слесарей-обходчиков и электромехаников, находящихся посменно на дежурстве.

Лекция №7

1. Общая информация. Конструкция, технические характеристики, типы лифтов.

1. Конструкция, технические характеристики, типы лифтов (подъёмников)

Внутри шахты вдоль вертикальных направляющих движутся кабина и противовес. Кабина и противовес подвешены на стальных проволочных канатах, которые крепятся к кабине посредством подвески. Тяговое усилие на канатах создается при вращении канатоведущего шкива при включенном приводном электродвигателе. Для остановки и удержания кабины и противовеса в неподвижном состоянии при отключенном электродвигателе служит тормоз. В прямке расположены натяжное устройство ограничителя скорости и буфера. Ограничитель скорости кинематически связан канатом с натяжным устройством и с ловителями, башмаки которых предназначены для остановки кабины, свободно движущейся вдоль направляющих, в случае обрыва или ослабления канатов, а также при превышении кабиной (противовесом) заданных величин скорости движения. Ограничитель скорости установлен в машинном помещении и связан с кабиной канатом.

Для управления движением кабины служит кнопочный аппарат, расположенный внутри на стенке кабины. Электрический сигнал от кнопочного аппарата передается по подвесному кабелю и проводам в шахте в машинное

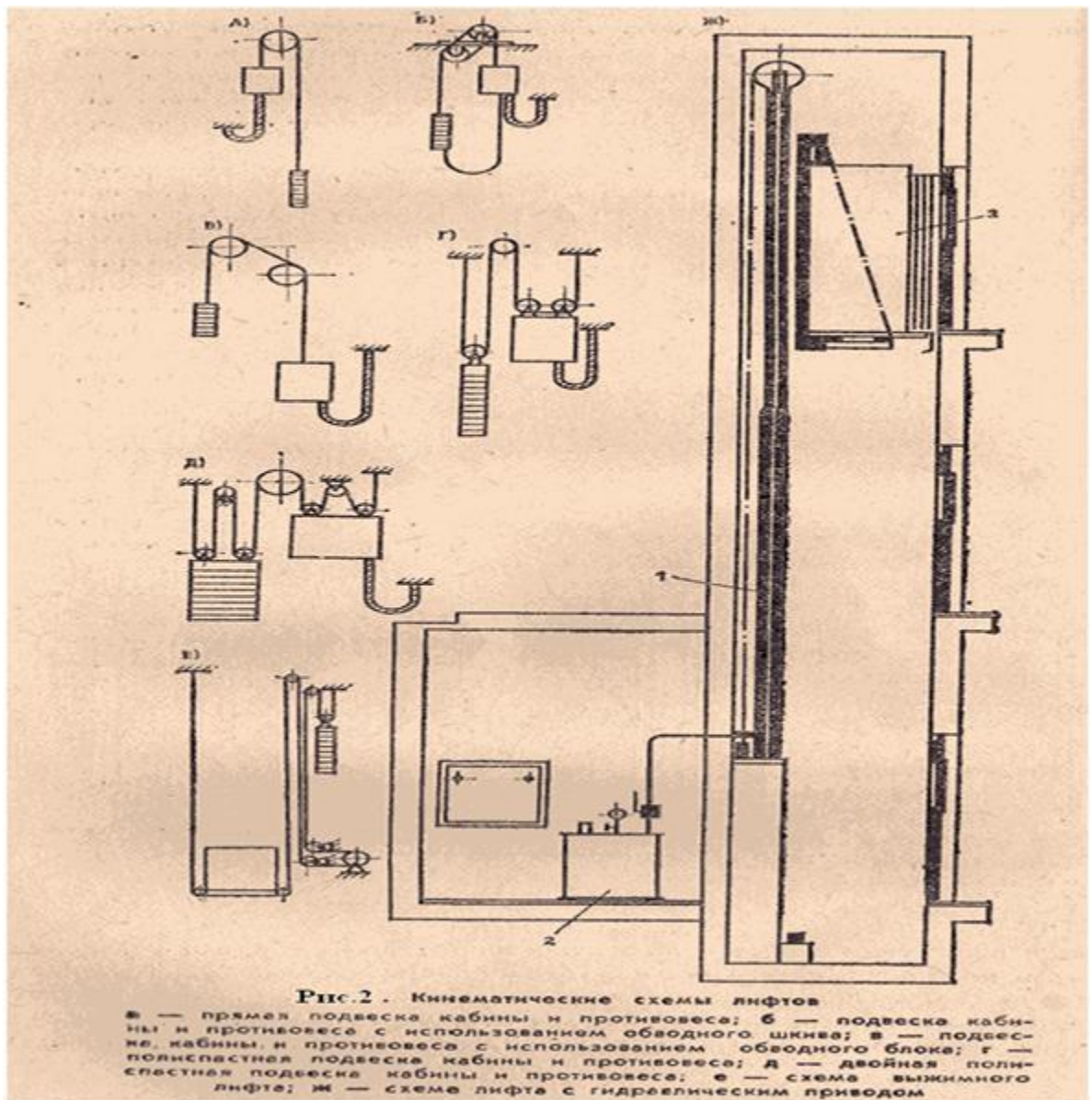
Канатный транспорт (канатные дороги и лифты)

помещение на шкаф управления лифтом. Привод лифта обычно обеспечивает возможность перемещения кабины в двух режимах – на большой и малой скорости. Переключение с большой скорости на малую осуществляется этажным переключателем (датчиком), на который при подходе кабины воздействует отводка (шунт). Движение кабины с малой скоростью продолжается до подхода кабины к датчику точной остановки, закрепленному на стенке шахты. По сигналу датчика точной остановки электродвигатель лебедки и катушка приводного электромагнита тормоза отключаются от сети и кабина затормаживается и удерживается тормозом в неподвижном состоянии. Одновременно подается питание на электродвигатель привода дверей кабины. Двери автоматически открываются совместно с дверями шахты и остаются открытыми после выхода пассажиров из кабины в течение сравнительно малого промежутка времени, задаваемого реле времени в цепи управления лифтом. Затем реле времени замыкает свои контакты и подает питание на электродвигатель привода дверей кабины – двери закрываются. Лифт свободен и готов к работе по вызову, о чем свидетельствуют погасшие сигнальные лампы вызывных аппаратов, установленные на каждом посадочном этаже.

Лебедка лифта может иметь нарезной грузовой барабан или канатоведущий шкив. Барабанные лебедки применяются в настоящее время сравнительно редко, преимущественно в лифтах без противовеса, когда установка противовеса затруднена или невозможна. От канатоведущего шкива тяговое усилие передается канатом за счет действия сил трения между канатом и шкивом. Для увеличения сил трения шкив имеет ручки (т.е. углубления на образующей цилиндрической поверхности), форма которых при данном угле обхвата шкива каната, выбранном материале и конструкции шкива позволяет обеспечивать сцепление каната со шкивом, достаточное для удержания кабины при статических испытаниях, и исключает возможность подъема кабины при неподвижном противовесе или противовеса при неподвижной кабине.

Преимущественное распространение получили лифты с верхним расположением привода. Нижнее расположение привода характерно для выжимных и тротуарных лифтов. Для малых грузовых лифтов возможно расположение привода сбоку шахты. Основные кинематические схемы лифтов приведены на рис. 2.

Канатный транспорт (канатные дороги и лифты)



Габаритные размеры и конструкция лифтов определяется их назначением, расположением кабины и противовеса в плане и размещением дверных проемов в шахте. Преимущественное распространение в лифтах жилых, административных и промышленных зданий получили шахты и кабины с входом с одной стороны на всех этажах. Иногда предусматривают две двери на противоположных стенах или в двух смежных стенах, расположенных под углом.

Лифты подразделяют (ГОСТ 23748–79) по следующим основным признакам:

а) по виду транспортируемых грузов на: пассажирские, предназначенные для подъема и спуска людей, в том числе с предметами домашнего обихода, если общая масса людей и груза не превышает грузоподъемности лифта; больничные – для подъема и спуска больных на больничных транспортных средствах в присутствии сопровождающего персонала; грузовые – для транспортировки грузов в сопровождении проводника или специально выделенных людей без проводника, в том числе грузовые малые для транспортировки грузов без проводника, причем в последнем случае ограничены грузоподъемность, высота и площадь кабины с целью исключения входа человека в кабину при ее разгрузке и загрузке;

Канатный транспорт (канатные дороги и лифты)

б) по виду грузонесущего устройства: на лифты, оборудованные кабиной или платформой;

в) по виду тягового органа, предназначенного для перемещения кабины или платформы: на канатные, цепные, реечные, винтовые и плунжерные;

г) по виду привода на электрические и гидравлические (грузовые);

д) по виду привода дверей на лифты с дверями, открываемыми вручную, полуавтоматически и автоматически;

е) по виду шахты: на лифты, устанавливаемые в глухой шахте, огражденной на всю высоту и со всех сторон сплошными стенами; устанавливаемые в металлотетчатой шахте, огражденной со всех сторон и на всю высоту металлической сеткой; устанавливаемые в комбинированной шахте, часть которой глухая, а часть – металлотетчатая;

ж) по конструкции дверей шахты и кабины на лифты: с распашными дверями (грузовые, больничные и пассажирские для производственных зданий); с горизонтально-раздвижными дверями; с горизонтально-раздвижными дверями, перемещающимся по криволинейным направляющим, с вертикально-раздвижными дверями;

з) по расположению машинного помещения на лифты: с машинным помещением, расположенным над шахтой, под шахтой и сбоку от шахты;

и) по виду системы управления на лифты: с кнопочным внутренним управлением, при котором пуск кабины осуществляется посредством воздействия на кнопки аппарата, находящегося в кабине, а ее остановка на посадочной (загрузочной) площадке происходит автоматически; с кнопочным наружным управлением (грузовые лифты), при котором пуск кабины осуществляется посредством воздействия на кнопки аппарата, установленного вне кабины, а ее остановка на посадочной (загрузочной) площадке происходит автоматически; с простым управлением, обеспечивающим регистрацию только одного приказа или вызова; с собирательным управлением только при движении вниз; с групповым управлением, при котором обеспечивается управление группой лифтов с общей регистрацией вызовов и автоматическим выбором кабин для их выполнения, в том числе только с групповым управлением при движении вниз; с программным управлением одним или группой лифтов, позволяющим установить программу работы лифтов автоматически или вручную.

Основными показателями лифтов (ГОСТ 26334–84) являются грузоподъемность и номинальная скорость движения кабины. Ряд грузоподъемностей лифтов, согласно ГОСТ 26334–84, следующий: 40, 100 (160), 250 (320), 400 (500), 630, 800, 1000, 1200, 1600, 2000, 2500 (3200), 4000 (5000), 6300 кг. Номинальная скорость движения кабины лифта должна составлять: 0,14; 0,2; 0,25; 0,4 (0,5); 0,63 (0,71); 1,0 (1,4); 1,6 (2,0); 2,5 (2,8); 4,0 (5,6); 6,3 м/с. Параметры, указанные в скобках, не являются предпочтительными. Значение фактической скорости движения кабины не должно отличаться от приведенных выше величин более чем на $\pm 15\%$. Средняя величина ускорения (замедления) движения кабины лифта при нормальных режимах эксплуатации должна быть (ГОСТ 12.2.074–82 ССБТ) не более $1,5 \text{ м/с}^2$ – у больничного и 2 м/с^2 – у прочих лифтов. Точность остановки кабины на уровне посадочной (загрузочной) площадки должна быть в пределах ± 20 мм у грузовых лифтов с загрузкой

Канатный транспорт (канатные дороги и лифты)

средствами напольного транспорта, а также у больничных лифтов и ± 50 мм – у прочих лифтов.

Полезная площадь пола кабины в зависимости от ее вместимости (ГОСТ 12.3.075–82 ССБТ) должна соответствовать данным табл. 2.

Таблица 2. Полезная площадь пола кабины в зависимости от ее вместимости

Вместимость кабины, чел.	Полезная площадь пола кабины, м ² , не более	Вместимость кабины, чел.	Полезная площадь пола кабины, м ² , не более	Вместимость кабины, чел.	Полезная площадь пола кабины, м ² , не более
3	0,70	11	2,05	19	3,25
4	0,90	12	2,20	20	3,40
5	1,10	13	2,35	21	3,52
6	1,30	14	2,50	22	3,64
7	1,45	15	2,65	23	3,76
8	1,60	16	2,80	24	3,88
9	1,75	17	2,95	25	4,00
10	1,90	18	3,10		

Допускается увеличивать полезную площадь пола кабины до: 1,17 м² – для вместимости 5 человек; 1,66 м² – для 8 чел., 2,35 м² – для 12 чел., 3,56 м² – для 20 чел. При вместимости более 25 человек наибольшую полезную площадь пола кабины определяют исходя из удельной нагрузки на пол, равной 500 кг/м². Площадь пола кабины определяют исходя из расстояний между стенками купе кабины, причем ту площадь пола, которая перекрывается во время открывания одной из створок распашных дверей, можно в расчет не принимать.

Исходя из полезной площади пола кабины и принципа свободного ее заполнения, а также руководствуясь данными табл. 2, определяют грузоподъемность лифта, принимая массу 1 человека равной 80 кг. Однако, если нормативная полезная площадь пола кабины превышена, то кабина должна быть оборудована ограничителем грузоподъемности и сигнализатором перегрузки. Это условие может не выполняться в лифтах, вместимость которых ограничена до нормы, приведенной в табл. 2, посредством дополнительной запираемой двери. Управление таким лифтом производится только проводником и только с применением специального ключа. Основные параметры лифтов приведены в табл. 3.

Канатный транспорт (канатные дороги и лифты)

Таблица 3. Основные параметры лифтов							
Назначение лифта	Грузоподъемность, кг	Скорость кабины, м/с	Высота подъема, м	Число остановок, не более	Вместимость, чел.	Система управления	
Пассажирский для жилых зданий (ГОСТ 5746-83*)	400	1,0/1,6	60/85	16/25	5	Смешанная собирательная при движении вниз	
		1,0/1,6	60/85	16/25	8		
	630	0,63	70	10	5	Смешанная простая	
		1,0/1,6	40/65	10/16	8		
	Пассажирский для общественных зданий и зданий промышленных предприятий (ГОСТ 5746-83*)	800	1,0	40	10	10	Смешанная собирательная в двух направлениях
			1,6	65	16		
1000		1,0	45	10	12	Смешанная собирательная в двух направлениях	
		1,6	65	16			
1250	2,5	100	25	15	с приоритетным вызовом кабины на любой этаж для транспорт. лежачих больных		
	4,0	150	25				
1600	2,5	100	25	20	с приоритетным вызовом кабины на любой этаж для транспорт. лежачих больных		
	4,0	150	25				
Пассажирский для лечебно-профилактических учреждений (ГОСТ 5746-83*)	1600	1,0	45	16	20	Смешанная собирательная в двух направлениях с приоритетным вызовом кабины на любой этаж для транспорт. лежачих больных	
		1,6	65	16			
Больничные (ГОСТ 5746-83*)	500	0,5	45	14	-	Кнопочная внутренняя с проводником и с сигнальным	

Канатный транспорт (канатные дороги и лифты)

						вызовом кабины с любого этажа
Грузовой (ГОСТ 8823–85)	500 1000 2000 3200	0,5	75	20		Кнопочная внутренняя с проводником или кнопочная наружная с основного этажа
	5000					
Грузовой с монорельсом	1000 2000 3200	0,5	45	12		Кнопочная внутренняя с проводником или кнопочная наружная
Грузовой выжимной	500 1000 2000 3200	0,5	25	6		
	8					
Грузовой тротуарный	500	0,18	6,5	3		Кнопочная наружная с отметками расположения люка
Грузовой малый	400	0,25	45	14		Кнопочная наружная простая: а) с основной погрузочной площадки; б) со всех погрузочных площадок
	100 250	0,4				

В настоящее время успешно эксплуатируются лифты с гидравлическим приводом (см. рис. 2, ж), количество которых в Скандинавских странах и США составляет более 50% общего числа лифтов. Преимущества гидравлического лифта состоят в отсутствии необходимости применения противовеса; в возможности удаления приводной насосной станции 2 на расстояние до 25 м от приводного гидроцилиндра 1, что способствует снижению уровня шума в здании; в высокой точности остановки кабины 3 на этажах и т.п. Основной недостаток таких лифтов заключается в ограниченной (до 25 м) высоте подъема кабины.

Подъемниками называют группу грузоподъемных машин, с помощью которых перемещение грузов и людей с одного уровня на другой производится в специальных грузонесущих устройствах, движущихся по строго определенному пути.

К подъемникам периодического действия относят: строительные подъемники, шахтные подъемники, скиповые, фуникулеры и лифты.

Канатный транспорт (канатные дороги и лифты)

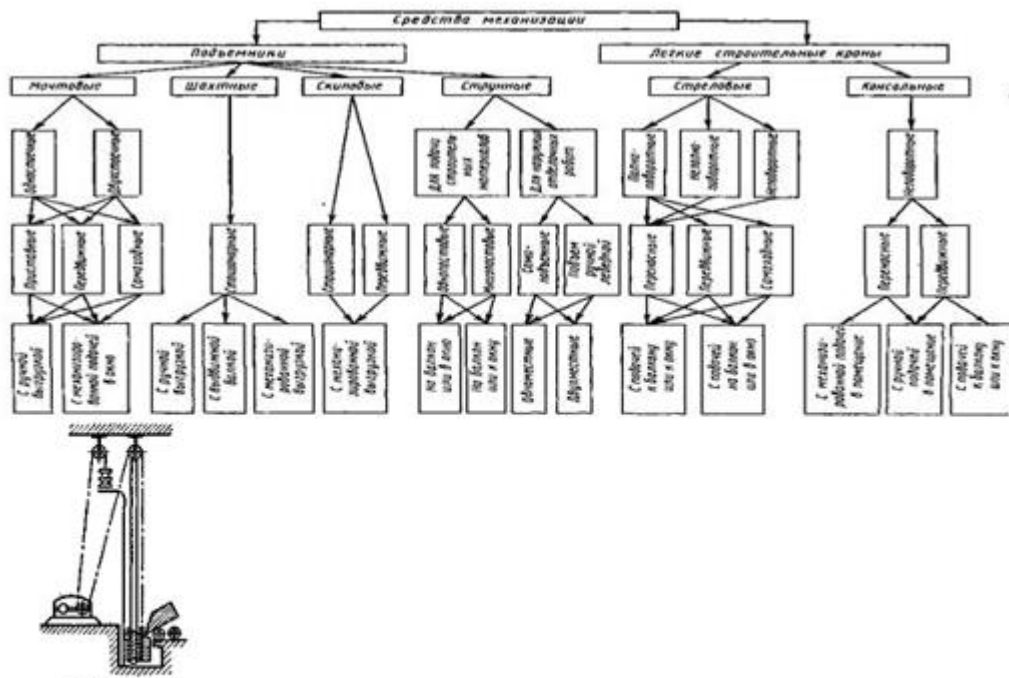


Рисунок 4
Скиповый подъемник с противовесом

Рисунок 3 – Классификация строительных подъемников и легких кранов

Скиповые подъемники предназначены для перемещения массовых сыпучих рудных и нерудных материалов в саморазгружающихся ковшах (скипах) по жестким направляющим. Они выполняются с противовесом и без него. При больших высотах подъема рудных ископаемых эти подъемники используются с двумя скипами, движущимися в противоположных направлениях в качестве шахтных скиповых подъемников.

На рисунке 4 показана схема устройства скипового подъемника с противовесом.

Фуникулеры устанавливают в гористых местностях для пассажирского сообщения между нагорной и низменной частью населенных пунктов или городов. Фуникулеры имеют два вагона, уравновешивающих друг друга. Когда один вагон идет вверх, другой спускается вниз. Перемещение вагонов происходит по рельсам от тяги, передаваемой при помощи канатов, наматывающихся на барабан подъемного механизма, установленного наверху.

Строительные подъемники применяют в основном для перемещения грузов строящегося здания в стадии отделочных работ, когда после монтажа стен и перекрытий здания использование башенных кранов невозможно.

Строительные подъемники вместе с легкими строительными кранами представляют собой комплекс средств механизации в стадии отделочных работ при строительстве зданий.

Направление грузовых потоков, обслуживаемых строительными подъемниками, намечается в основном от мест снаружи здания через оконные или балконные проемы во внутрь здания.

По характеру транспортируемых грузов строительные подъемники различают грузовые и грузопассажирские. Последние предназначены для перемещения

Канатный транспорт (канатные дороги и лифты)

строительных рабочих, сопровождающих грузы, и рабочих, выполняющих строительные работы.

По конструкции различают строительные подъемники: мачтовые, шахтные и струнные. Шахтные подъемники состоят из шахт, внутри которых устанавливают направляющие для перемещения грузонесущих устройств. У мачтовых подъемников сооружаются мачты, несущие на себе направляющие. У струнных подъемников в качестве направляющих используют канаты. Мачты выполняют коробчатыми прямоугольными, треугольными или из двух швеллеров, соединенных планками или угольниками. Шахты обычно бывают прямоугольными из уголков и в необходимых случаях с сетчатым ограждением.

При небольшой высоте (12–16 м) и при необходимом расчете на устойчивость самоходные и передвижные мачтовые краны выполняются свободностоящими. Для больших высот применяют стационарные мачты с креплениями к стенам или проемам здания жесткими конструкциями или растяжками из стального каната, снабженного устройством для регулирования натяжения.

Для самоходных подъемников обеспечивается рельсовая колея. Передвижные снабжаются пневматическими колесами, которые в рабочем режиме убираются и заменяются опорной площадкой или опорными винтовыми домкратами. В качестве грузонесущих устройств служат кабины, платформы, ковши. Подача груза осуществляется в оконный проем на крюке подъемной стрелы, движущейся на мачте в направляющих.

Грузонесущие устройства передвигаются лебедками, на которых вал электродвигателя соединяется с редуктором. Выходной вал редуктора соединен с барабаном, на который наматывается тяговый канат, соединенный своим концом после сгибания верхнего блока мачты с грузонесущим устройством. Тормоз – колодочный электромагнитный на быстроходном валу.

На случай обрыва каната предусматриваются ловители: для грузопассажирских подъемников приводятся в действие от специального ограничителя скорости, а для грузовых – от непосредственной связи с несущими канатами.

Установка лебедок у канатных подъемников предусматривается внизу.

По способу подачи грузов подъемники разделяют на подающие грузы в оконный проем и на подающие грузы на перекрытие здания.

По способу монтажа различают подъемники наращиваемые секциями при монтаже снизу или наращиваемые сверху, а также монтируемые комбинированным способом наращивания и опрокидывания.

Канатный транспорт (канатные дороги и лифты)

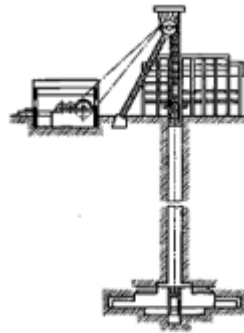


Рисунок 5
Шахтная установка

Шахтные подъемники служат для подъема на поверхность добытых в шахте полезных ископаемых, спуска и подъема людей, оборудования и материалов. Основными подъемниками являются те, которые транспортируют полезные ископаемые, а второстепенными – предназначенные для подъема и спуска людей, грузов и материалов.

Главные шахтные подъемники в качестве грузонесущих сосудов снабжаются скипами, ковшами, бадьями, а вспомогательные – клетями (кабинами). При клетьевом подъеме клеть нагружается вкатываемыми вагонетками. Шахтная установка состоит из:

а) ствола шахты с укрепленными на нем направляющими при вертикальном подъеме или рельсами при наклонном подъеме;

б) околоствольных сооружений, состоящих из загрузочных бункеров и камер для опрокидывания вагонеток и скипов и из приемной площадки для клетьевого подъема и

в) надшахтных сооружений, состоящих из возвышающихся над стволом копра и приемного бункера. При клетьевом подъеме для вкатывания в клеть вагонеток сооружается надшахтное здание с площадками и откаточными путями.

По высоте подъема шахтные подъемники характеризуются малой глубиной – до 300 м, средней – от 300 до 800, большой глубиной – от 800 до 1600 и сверхглубокой – свыше 1600 м.

Подъемные механизмы применяются барабанные и со шкивами трения (канатоведущими шкивами). Максимальная разность статических натяжений канатов от 2,5 до 50 тс (25 до 500 кН).

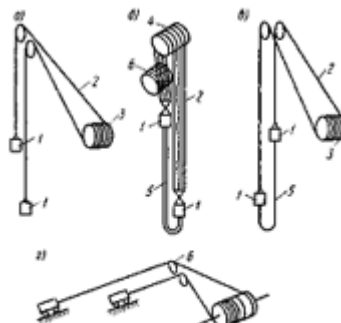


Рисунок 6 – Основные схемы шахтных подъемников:

а – однобарабанная без уравнивающих канатов; б – с канатоведущим шкивом и уравнивающими канатами; в-двухбарабанная с уравнивающими канатами; г – двухбарабанная для наклонных шахт; 1 –

Канатный транспорт (канатные дороги и лифты)

клетки, сосуды; 2 – канаты; 3 – барабаны; 4 – канатоведущим шкив; 5 – уравнивающие канаты; 6 – отклоняющий блок

Диаметры барабанов для малых подъемных машин колеблются от 1,2 до 3,5 м, а длина барабанов – от 0,8 до 3,8 м. Крупные подъемные машины имеют диаметры от 4 до 6 м, барабаны – длиной от 1,8 до 3,4 м.

Подъемные машины с канатоведущими шкивами имеют диаметры шкивов от 2,1 до 5 м, число применяемых канатов – от 4 до 8.

Скорость подъема: для малых барабанных машин – от 3 до 10 м/с, а крупных – от 12 до 16 м/с; с канатоведущими шкивами у редукторных машин – от 11 до 14 м/с, а у безредукторных – от 12 до 16 м/с.

При однобарабанном двухсосудном или двухконцевом подъеме, когда одна клетка наверху, а другая внизу, канат верхней клетки намотан на барабан, в то время как канат нижней клетки разматывается с барабана и находится в шахте, что связано с креплением концов канатов с разных сторон по диаметру. При подъеме нижней клетки и спуске верхней канат нижней клетки будет наматываться на барабан, занимая на нем витки сматывающегося каната верхней клетки. Если вместо одной из клеток закрепить на канате противовес, то такой подъем будет одноконцевым или однососудным с противовесом.



Рисунок 7 – Плоский резинотросовый уравнивающий канат

Уравнивающие канаты (рис. 7) применяют для шахт глубиной более 600 м. Эти канаты рассчитаны на уравнивание веса канатов, спущенных в шахту до грузонесущего органа. Вес этот увеличивает момент на валу двигателя. В качестве уравнивающих канатов применяют на шахтных подъемниках специальные плоские канаты.

Тяговые барабаны шахтных подъемников различают цилиндрические с постоянным радиусом (Ц), двухбарабанные (2Ц), с разрезным барабаном (РЦ) и барабаны с переменным радиусом или бицилиндрические (БЦК). При высоте подъема 400 м и более и невозможности применения уравнивающих канатов применяют барабан с переменным радиусом. При этом канаты на барабан наматываются таким образом, чтобы канат от верхнего грузонесущего органа был намотан со стороны большего радиуса барабана, а канат второго грузонесущего органа, находящегося внизу, – со стороны меньшего радиуса. При таком расположении увеличение момента от веса канатов на стороне клетки, расположенной внизу, компенсируется уменьшением момента на барабане и разность моментов останется положительной.

Барабаны малых подъемных машин выполняют литыми из стального литья. Барабаны крупных машин делают сварными. При этом цилиндрические обода барабанов в радиальном направлении укрепляются ребрами таврового сечения. К ободу барабана в торцевых частях справа и слева за ребрами привариваются лобовины с поверхностями для наложения тормозных колодок.

Подъемная барабанная машина с одним цилиндрическим барабаном Ц может обслужить одноконцевой и двухконцевой подъем как по вертикали, так и в

Канатный транспорт (канатные дороги и лифты)

наклонных шахтах. Установка при этом получается более компактной, чем при двух барабанах. Однако при однобарабанных машинах невозможно обслуживать несколько горизонтов, усложняется смена и навеска канатов и регулировка после их вытяжки.

Для перевода машин с нижнего горизонта, например, на верхний пользуются установками с двумя барабанами 2Ц с большей канатоемкостью, с одним разрезным барабаном РЦ и БЦК.

Во всех этих случаях имеется два барабана или две части одного разрезного барабана. При этом одна часть барабана или один барабан заклинен на валу, а другая часть или другой барабан (переставная часть или переставной барабан) имеет расцепное устройство, которое при перестановке отсоединяется от вала, и может быть заторможена колодками тормоза. Перестановка осуществляется следующим образом: 1) подъемник устанавливают в такое положение, когда сосуд или клеть от переставного барабана или переставной части барабана находятся на уровне нижнего горизонта, а сосуд от заклиненного барабана или заклиненной части барабана – на верхней приемной площадке; 2) сосуд или клеть переставного или части переставного барабана поднимают на высоту нового горизонта. При этом сосуд от заклиненного барабана или заклиненной части барабана опустится на ту же высоту. В этом положении отсоединяют и затормаживают переставной барабан или его переставную часть; 3) заклиненным барабаном или частью барабана поднимают сосуд до уровня приемной площадки и соединяют переставные части с заклиненными.

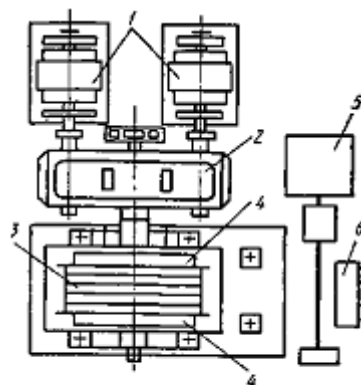


Рисунок 8 – Общий вид подъемной машины ЦШ

Шахтные машины с применением канатоведущих шкивов маркируются буквами ЦШ и цифрами, в которых первая цифра обозначает диаметр канатоведущего шкива в м, а вторая – число применяемых канатов в подвеске – 4, 6 или 8 (ЦШ-5х4; ЦШ-2,25х6; ЦШ-5х6; ЦШ-5х8).

Тормозные устройства шахтных подъемников кроме рабочего торможения на остановках и аварийного торможения при нарушениях нормальной работы участвуют также в управлении подъемной установки. В таких случаях тормоз рассматривается как регулируемый, что является основным признаком, отличающим подъемную машину от лебедки.

Привод тормозов шахтных подъемников пневматический или гидравлический в отличие от традиционного электропривода на лебедках.

Канатный транспорт (канатные дороги и лифты)

Торможение осуществляется на валах барабанов или канатоведущих шкивов с двух противоположных сторон колодками, соединенными между собой системой тяг и рычагов.

При торможениях предусматривается поступательное перемещение колодок вместо углового, имеющего место в других системах торможения. При этом тормозной момент в 1,5–1,7 раза больше при тех же условиях углового перемещения.

Автоматическое дистанционное управление осуществляется с помощью специального аппарата задания и контроля АЗК, контролирующего положение сосуда или клетки и скорость. С помощью этого аппарата осуществляется программное регулирование разгона и замедления. Аппарат АЗК имеет механическое соединение с коренным валом. Пульт управления электрически связан с механической частью.

На рисунке 8 представлен общий вид подъемной машины ЦШ. Редуктор 2 и канатоведущий шкив 3 приводятся в действие двумя асинхронными двигателями 1. Крупные подъемные машины ЦШ-5х4, ЦШ-5х6, ЦШ-5х8 имеют привод по системе Г–М. При отклонении каната применяют отклоняющие шкивы. Тормоза 4 устанавливают с противоположных сторон канатоведущего шкива 3. – Каждая пара тормозных колодок, изготовляемых из износостойчивой пластмассы, имеет свой пружинно-пневматический тормозной привод с грузами. Панель управлений тормозом выделена отдельно. Аппарат АЗК-5 имеет механическую связь с главным валом. Пульт управления 6 имеет электрические связи с подъемной машиной.

Канатоведущий шкив сварной конструкции приваривается к ступице, которая насажена на главный вал горячей посадкой. На рабочем ободе канатоведущего шкива для опорной поверхности под канатами прижимами закрепляются специальные колодки из полихлорвинилового пластика, обеспечивающего высокий коэффициент трения и большую износостойкость.

Такой метод повышения коэффициента трения с применением на поверхности трения специальных материалов называют футеровкой.

Клетьевые подъемники (лифты) предназначены для вертикального перемещения людей и грузов в клетки 2, движущейся в жестких направляющих 1 (рис. 9, а). Подъемную лебедку 3 с направляющим шкивом 4 устанавливают, как правило, над шахтой. Для уменьшения мощности привода предусматривают противовес 5, перемещающийся в направляющих. Кабина и противовес подвешены на нескольких канатах посредством балансиров. Лебедки клетьевых подъемников применяют двух типов – барабанные и с канатоведущими шкивами, где канаты только охватывают шкив и силой трения поднимают груз. Лебедки с канатоведущими шкивами имеют преимущества перед барабанными: большая компактность и надежность вследствие отсутствия перегрузки канатов и привода при возникновении препятствий на пути клетки (заклинивание в направляющих и др.), так как шкив в этом случае будет проскальзывать по канату.

Клетьевые пассажирские подъемники выполняют грузоподъемностью 0,25... 1,25 т со скоростью подъема до 4 м/с. Приводы бывают редукторными и безредукторными. Последние более компактны и применяются на быстроходных подъемниках ($v > 2$ м/с).

Канатный транспорт (канатные дороги и лифты)

В подъемных лебедках применяют червячные редукторы (рис. 9, б), а в последнее время предлагают волновые передачи. Канатоведущие шкивы выполняют чугунами литыми со специальными ручьями.

Наилучшей формой ручья являются канавки с прямолинейным подрезом (рис. 8, в), так как износ ее не влияет на коэффициент сцепления шкива с канатом. При большой высоте подъема применяют подъемники с уравнивающим канатом, соединяющим снизу кабину с противовесом через направляющий шкив (рис. 9, г).

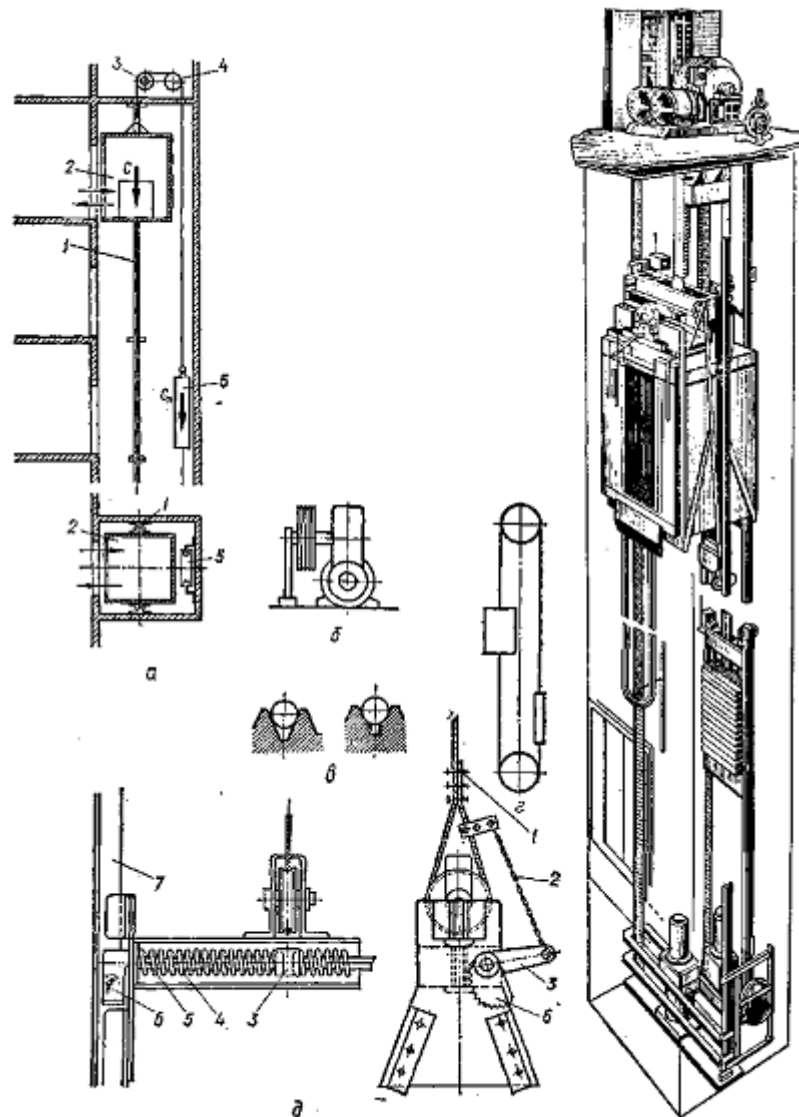


Рисунок 9 – Клетевой подъемник

Согласно правилам Госгортехнадзора лифты в целях безопасности оборудованы ловителями, которые при ослаблении или обрыве канатов, а также при превышении предельной скорости опускания автоматически останавливают клет. По принципу действия они делятся на самозаклинивающиеся, которые обеспечивают мгновенную остановку и применяются для грузовых лифтов, и скользящие – для плавной остановки кабины всех типов лифтов при скорости движения более 0,75 м/с. По конструкции ловители бывают клиновые, эксцентрикковые, роликовые.

Канатный транспорт (канатные дороги и лифты)

На рис. 9, д приведена конструкция эксцентрикового ловителя. При обрыве или ослаблении каната 1 гибкая тяга 2, прикрепленная к рычагу 3, ослабляется и под действием пружины 4 поворачивает валик 5. При этом эксцентриковые прижимы 6 захватывают направляющие 7 и удерживают клеть. Аналогичный принцип действия и других типов ловителей.

Кинематические схемы. Кинематические схемы дают наиболее общее представление о движении кабины при вращении канатоведущих органов и способах уравнивания кабин с грузом при помощи противовеса. Вместе с тем кинематические схемы поясняют принципы устройства лифтов разного назначения.

На схемах условно кабины изображены прямоугольниками, противовесы – узкими заштрихованными прямоугольниками. Тяговые органы (канатоведущие шкивы или барабаны) показаны наиболее крупными окружностями, блоки – окружностями меньшего диаметра. Прямые линии, соединяющие перечисленные элементы, условно представляют необходимый комплект канатов. Один канат допускается только для грузового лифта без проводника и грузового малого лифта при наличии у этих лифтов барабанной лебедки. Блоки предназначаются для удерживания и изменения направления канатов, огибающих блоки. Перемещение же канатов осуществляется вращением канатоведущих органов (канатоведущего шкива трения или барабана).

У канатоведущих шкивов канаты вложены в лунки шкива и при вращении последнего канаты перемещаются силой трения. У барабанов концы канатов закрепляются на барабане и огибают его с разных сторон по диаметру: канаты кабины с одной стороны, а канаты противовеса – с другой. При вращении барабана одни канаты наматываются на барабан, а другие разматываются. Если канаты кабины наматываются, то кабина поднимается, а противовес опускается, так как его канаты разматываются, освобождая на барабане место для наматывания канатов, кабины.

Вращение канатоведущих органов то в одну, то в другую сторону осуществляется реверсивным электродвигателем через редуктор.

При канатоведущем шкиве канаты укладываются в лунки шкива, а их концы с одной стороны диаметра прикрепляются к кабине, а с другой – к противовесу. Натяжение канатов от веса кабины с грузом и веса противовеса создает в лунках канатоведущего шкива нормальное давление и трение при вращении шкива, что в конечном счете приводит к необходимому тяговому усилию.

Противовес в кинематических схемах лифта предназначается для уменьшения окружного усилия на канатоведущем органе. Это усилие равно разности натяжений. Уменьшение окружного усилия ведет к соответствующему уменьшению крутящего момента, а следовательно, и к уменьшению необходимой мощности электродвигателя.

Канатный транспорт (канатные дороги и лифты)

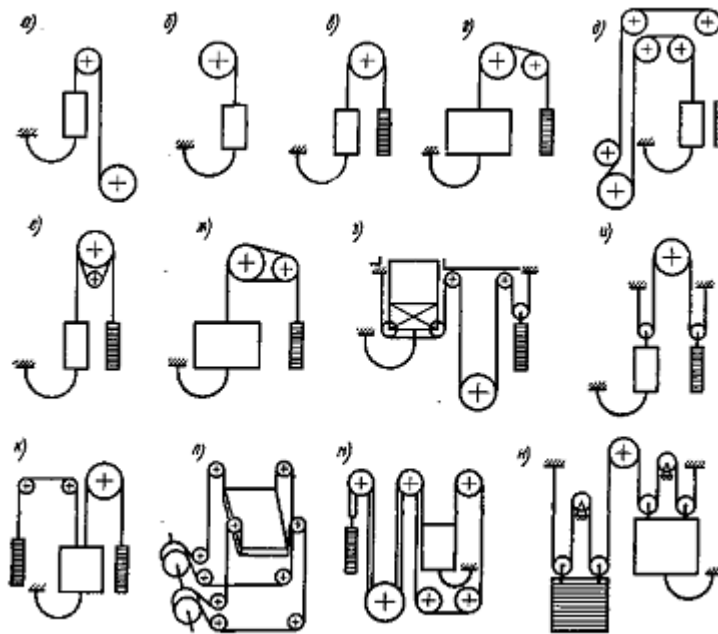


Рисунок 10 – Кинематическая схема лифтов

Для лифтов с канатоведущей шкивами противовес является также необходимым условием обеспечения тягового усилия, поэтому лифт с канатоведущим шкивом, но без противовеса невозможен. У лифтов с барабанными лебедками отсутствие противовеса приводит только к увеличению необходимой мощности электродвигателя.

Возможные кинематические схемы лифтов приводятся на рисунке 10. На рисунке 10, а показано расположение тягового органа без противовеса, что указывает на необходимость применения подъемного механизма с барабаном. Эту схему используют, если невозможно расположить в шахте противовес и при малой грузоподъемности, когда увеличение мощности не имеет существенного значения. На рисунке 10, б имеет место тот же случай, но только с верхним расположением машинного помещения. На рисунке 10, в и 10, г показана кинематическая схема лифтов с верхним расположением машинного помещения с применением противовесов. В случае 10, в диаметр канатоведущего шкива или барабана равен расстоянию между центрами подвесок кабины и противовеса. В случае же 10, г это расстояние значительно больше диаметра тягового органа, вследствие больших размеров кабины. Для направления канатов по центрам подвесок здесь установлен отклоняющий блок. Угол обхвата канатом тягового органа в случае 10, в равен 180° , а в случае 10, г – меньше. На схеме приводится установка с нижним расположением машинного помещения. По сравнению с позициями 10, в и 10, г легко убедиться, что общая длина канатов при нижней установке машинного помещения по сравнению с верхней установкой примерно в три раза больше. Кроме того, при нижней установке машинного помещения необходимо верхнее дополнительное помещение для системы блоков, ухудшается КПД установки, увеличивается износ канатов вследствие увеличенного числа перегибов канатов и удорожается общая стоимость лифта. Следует также иметь в виду, что установка блочного помещения наверху создает по сравнению с верхней установкой машинного помещения давление на перекрытие почти в два раза большее.

Канатный транспорт (канатные дороги и лифты)

Нижнее расположение машинного помещения, однако, обеспечивает лучшие условия для обслуживания, хотя и не удешевляет его, и несколько улучшает условия звукоизоляции.

По ГОСТ нижнее расположение машинного помещения предусматривается для выжимных тротуарных и малых лифтов.

На рисунке 10, е показана кинематическая схема лифта с многообхватным канатоведущим шкивом и контршкивами, а на рисунке 10, ж дан вариант с многообхватным канатоведущим шкивом, когда контршкив используется одновременно в качестве отклоняющего блока.

Контршкивы увеличивают угол обхвата канатом канатоведущего шкива и их применяют для увеличения тяговой способности и предотвращения скольжения (буксования) каната в лунках канатоведущего шкива при больших нагрузках и ускорениях.

На рисунке 10, з дана кинематическая схема выжимного лифта, где подвешивание кабины и противовеса полиспастное, как на рисунке 10, и. Разница только в том, что у выжимного лифта тяговое усилие действует снизу, кабину «выжимают». У лифта же со схемой и тяговое усилие действует сверху, кабину тянут.

Полиспастное подвешивание кабин и противовеса по рисунке, 10, з и 10, и по сравнению с прямым бесполиспастным подвешиванием по рисунке 10, в и 10, г при одной и той же мощности и одном и том же числе оборотов электродвигателя, одинаковом передаточном числе редуктора и одинаковом диаметре канатоведущего шкива увеличивает в два раза грузоподъемность и во столько же раз уменьшает скорость вертикального подъема подвешенных полиспастное кабин и противовеса. Полиспастное подвешивание по 10, и 10, обладает кратностью полиспаста, равной 2.

Все грузовые лифты общего назначения грузоподъемностью начиная с 1000 до 3200 кг включительно имеют такое подвешивание при скорости 0,5 м/с.

При скорости 0,25 м/с и грузоподъемности 5000 кг применяется полиспастное подвешивание с кратностью полиспаста 4, которое показано на рис. 10, н.

На рисунке, 10, л показана кинематическая схема тротуарного лифта. Грузовая платформа приводится в действие двумя барабанами без противовеса при грузоподъемности 500 кг и скорости 0,18 м/с. Расположение барабанной лебедки нижнее.

Кинематическая схема малого грузового лифта магазинного типа приводится на рисунке 10, м. Малые грузовые лифты общего назначения имеют или верхнее расположение машинного помещения, или нижнее при расположении сбоку шахты. Кинематические схемы этих лифтов соответствуют схемам на рисунке 10, в или 10, д).

2. Основные технические требования при проектировании, установке и эксплуатации лифтов (подъемников)

Канатный транспорт (канатные дороги и лифты)

1. Техническая характеристика электрического оборудования, электропроводок и их исполнение должны соответствовать параметрам лифта по напряжению и частоте питающей сети, токовым нагрузкам, надежности, а также условиям его эксплуатации, хранения и транспортирования.

2. Напряжение от источника питания должно подаваться в машинное помещение лифта через вводное устройство с ручным приводом, которым должен оборудоваться каждый лифт.

При размещении двух и более лифтов в общем машинном помещении в этом помещении должен быть осуществлен ввод не менее двух питающих линий.

При отсутствии машинного помещения электроснабжение должно быть подано в помещение, где расположено вводное устройство.

Электрооборудование и электроснабжение лифта должны отвечать требованиям «Правил устройства электроустановок».

Лекция №8

1. Основные технические требования при проектировании, установке и эксплуатации лифтов (подъёмников).

1. Техническая характеристика электрического оборудования, электропроводок и их исполнение должны соответствовать параметрам лифта по напряжению и частоте питающей сети, токовым нагрузкам, надежности, а также условиям его эксплуатации, хранения и транспортирования.

2. Напряжение от источника питания должно подаваться в машинное помещение лифта через вводное устройство с ручным приводом, которым должен оборудоваться каждый лифт.

При размещении двух и более лифтов в общем машинном помещении в этом помещении должен быть осуществлен ввод не менее двух питающих линий.

При отсутствии машинного помещения электроснабжение должно быть подано в помещение, где расположено вводное устройство.

Электрооборудование и электроснабжение лифта должны отвечать требованиям «Правил устройства электроустановок».

3. При размещении электрооборудования в разных помещениях должны быть предусмотрены несамовозвратные выключатели для отключения лифта.

4. Вводное устройство может быть рассчитано как на снятие напряжения с лифта под нагрузкой, так и без нагрузки.

При применении вводного устройства, предназначенного для снятия напряжения без нагрузки или с нагрузкой не более 2 А, должен быть предусмотрен дополнительный выключатель силовой цепи и цепи управления, рассчитанный на коммутацию цепей под нагрузкой.

Допускается дополнительно оборудовать вводное устройство приводом для дистанционного отключения (дистанционное включение вводного устройства не допускается); при этом должны быть выполнены следующие условия:

Канатный транспорт (канатные дороги и лифты)

а) вводное устройство должно быть рассчитано на отключение электрических цепей под нагрузкой;

б) выключатель для дистанционного отключения должен быть несамовозвратным;

в) около каждого выключателя для дистанционного отключения вводного устройства должна быть предусмотрена сигнализация о его положении: «Включено», «Отключено»;

г) должна быть исключена возможность дистанционного отключения при нахождении в кабине людей;

д) доступ посторонних лиц к выключателю дистанционного отключения должен быть исключен.

5. В качестве вводного устройства может быть использован автоматический выключатель, если он оборудован ручным приводом; при этом его включение должно быть возможно только вручную.

6. Вводное устройство должно отключать все питающие фазы и полностью снимать напряжение с электрических цепей, за исключением цепей:

освещения шахты, машинного и блочного помещений; освещения кабины; вентиляции кабины; вызова обслуживающего персонала из кабины; двусторонней переговорной связи из кабины; ремонтной связи.

При этом для отключения указанных цепей должны быть предусмотрены отдельные выключатели, расположенные в машинном помещении, а при его отсутствии - в запираемом шкафу. Выключатель освещения блочного помещения должен быть расположен в блочном помещении.

Цепи освещения кабины и ее вентиляции, вызова обслуживающего персонала из кабины, двусторонней переговорной связи из кабины и ремонтной связи допускается подключать после вводного устройства, если предусмотрены дополнительные специальные выключатели для отключения силовой цепи и цепи управления. При этом вводное устройство не должно быть оборудовано приводом для дистанционного отключения, и в качестве вводного устройства не должен применяться автоматический выключатель.

Цепи вспомогательного освещения кабины, вызова обслуживающего персонала из кабины, двусторонней переговорной связи из кабины и ремонтной связи могут подключаться к другим электрическим сетям здания или сооружения.

7. На одной из посадочных (погрузочных) площадок допускается установка выключателя для дистанционного отключения (включения) силовой цепи и (или) цепей управления при включенном вводном устройстве; при этом должны быть предусмотрены мероприятия, исключающие возможность отключения электрических цепей при нахождении в кабине людей. Доступ посторонних лиц к этому выключателю должен быть исключен.

8. Напряжение силовых электрических цепей должно быть:

не более 660 В _ в машинном помещении;

не более 415 В переменного тока частотой 50 Гц, 440 В переменного тока частотой

60 Гц и 460 В постоянного (выпрямленного) тока - в кабине, шахте и на посадочных (погрузочных) площадках, а также на площадках, где установлено

Канатный транспорт (канатные дороги и лифты)

электрооборудование при отсутствии машинного помещения. Напряжение цепей управления, освещения и сигнализации должно быть не более 254 В.

9. Напряжение цепи переносных ламп должно быть не более 42 В. Применение автотрансформаторов или потенциометров с целью понижения напряжения для этой цели не допускается.

10. Для питания цепей управления, освещения и сигнализации допускается использование фазы и нулевого провода сети с глухозаземленной нейтралью источника тока (включение на фазное напряжение). При использовании фазы и нулевого провода между ними должно быть не более 254 В.

11. При включении на фазное напряжение цепей, имеющих выключатели безопасности, один вывод обмоток электромагнитных аппаратов (контакторов, пускателей, реле и т.п.) в этих цепях должен быть наглухо соединен с нулевым проводом.

12. При питании переменным током от понижающего трансформатора цепей, имеющих выключатели безопасности, один вывод вторичной обмотки трансформатора должен быть заземлен. Один вывод обмотки электромагнитных аппаратов в этих цепях должен быть наглухо присоединен к заземленному выводу трансформатора.

13. При питании от понижающего трансформатора через выпрямительное устройство цепей управления постоянного тока, имеющих выключатели безопасности, один из полюсов этого устройства на стороне выпрямленного напряжения должен быть заземлен. При этом один вывод обмотки электромагнитных аппаратов в цепи управления должен быть наглухо подключен к заземленному полюсу. Вторичную обмотку понижающего трансформатора в этом случае заземлять не допускается.

14. Защитное заземление или зануление должны отвечать требованиям «Правил устройства электроустановок».

15. Установка в заземляющих (зануляющих) проводниках предохранителей, контактов и других размыкающих элементов, в том числе бесконтактных, не допускается.

16. Токоведущие части выключателей с ручным приводом: вводного устройства, выключателей, устанавливаемых в приемке, блочном и машинном помещениях, выключателей дистанционного включения (отключения) электрических цепей должны быть защищены от случайного прикосновения, если напряжение на них может быть более 42 В переменного тока или более 60 В постоянного тока. Положение этих выключателей должно быть обозначено соответствующими символами или надписями: «Вкл.»; «Откл.».