**Канатный транспорт (канатные дороги и лифты).**

**Лекция № 4.**

План лекции.

1. Маятниковые ППКД.
2. Двухканатные ППКД.

***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 несуще-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. Несуще-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 пропускную способность, а по условиям натяжения несуще-тягового 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 (а = 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 Тырныаузе, Тби­лиси, Боржоми, Кутаиси и других городах. Так, пассажирские маят­никовые канатные дороги в г. Тырныаузе, 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 чаше 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 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: П = nr.

При определении фактической пропускной способности необходимо учитывать неравномерность работы дороги в разное время года (коэффициент K1), в течение суток (К2) а также возможное недоиспользование вместимости вагонов (К3). Коэффициенты К1, К2, К3 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: K1 = 0,73; К2 = 0,65; К3 = 0,45, а общий коэффициент среднегодовой загрузки курортных канатных дорог К = К1К2К3 = 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 t1 поездки, времени t2, необходимого на посадку и высадку пассажиров, и времени /3> затрачиваемого на обмен сигналами о готовности к пуску,

r = 3600/(t1 + t2 + t3).

Длительность поездки в одном направлении для принятых ско­рости вагонов υ, ускорения *а* и замедления j определяется по фор­муле

t1 = υ/*а* + L/υ + υ/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 два раза меньше. Время, необходимое на закрывание дверей и обмен сигналами о готовности вагонов, составляет 5-10 с.

**3.4.2. ОДНОКАНАТНЫЕ ППКД**

**Общее устройство.** Простейшими по конструкции являются одноканатные маятниковые дороги (рис. 3.43, а). Один или два вагона 2 закреплены на несуще-тяговом 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 несуще-тяговый 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 несуще-тягового 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 *Р* от вагона с пассажирами, выбирают минимальное натяжение каната со стороны противовеса, которое является горизонтальной составляющей натяжения в низ­шей точке: Тmin ≈ H0 = (10 ÷ 20)P.

Натяжение несуще-тягового каната *Т* и его горизонтальная со­ставляющая *Н* изменяются по пролетам, как показано на рис. 3.43, б.

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

Tk  = Tmin ± q

где q – сила тяжести единицы длины несущее-тягового каната; hj – разность высот одного пролета; ΔTj – сопротивление поддерживающих роликов на опорах и нижней станции.

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

Vk = qlk/(2cosβk) + Px/lk – Hk tg βk.

Горизонтальная составляющая натяжение каната в k-м пролете



Провес гесуще-тягового каната под вагоном в западом пролете lh на расстоянии *х* от опоры



при  



Рис. Схема маятниковой одноканатной ППКД

Углы наклона хорд участков пролета *х* и (lk - x):





Угол подхода каната к вагону со стороны противовеса



Натяжение каната у вагона со стороны противовеса



где hx – 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:



Это натяжение изменяется как при перемещении вагона в пролете, так и при переходе через опору, и для любого рассматриваемого положения его можно наитии с учетом увеличения или уменьшения разности высот (±qh) и потерь от трения на роликовых батареях и направляющих шкивах 

Угол подхода каната с вагоном к наивысшей точке профиля



Наибольшее расчетное натяжение на канате Tmax = Tнб 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 Кр ≥ 5, и, следовательно,

Тразр = ТmaxKp.

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 = Tнб – Tсб.

Ход обводного блока натяжного устройства несуще-тягового каната ΔLш зависит от изменений длины его на линии в зависимости от положения вагонов на трассе ΔLр, удлинении: упругого ΔLE, температурного ΔLT и остаточного ΔLo.

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 наинизшем положении; второе - вагоны занимают на трассе положение, соответствующие наибольшему ходу натяжного устройства. Для однопутевой дороги второе состояние соответствует положению загруженного вагона посредине наибольшего пролета; для двухпутевой дороги из возможных комбинаций необходимо найти такое взаимное расположение вагонов, при котором канат занимает наинизшее положение, а натяжное устройство наивысшее. Обозначив параметры ветвей пролета, в которых находятся вагоны, соответ­ственно lr, hr, βr и ls, hs, βs и принимая во внимание, что код натяж­ного шкива в 2 раза меньше удлинения каната, находим



где m - число пролетов; 2m — число ветвей пролетов; υ - 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.

**3.4.3. ДВУХКАНАТНЫЕ ППКД**

**Общее устройство**

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 обоих 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 раздельно 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



Рис. 3.44. Схемы маятниковых двухканатных ППКД

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 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 Кх ≥ 4,5 и противолежащие им КТ ≥ 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.