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

**Лекция № 3.**

План лекции.

1. Требования к стальным канатам.
2. Пропускная способность ПКД .
3. Определение действующих сил на ПКД.

***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 усилие, 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.

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», грузолюдского 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 несуще-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* *Sk*,**



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



*S* - наибольшее натяжение каната;

*k* - 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 каждого конкретной конструкции выбранного каната. В случае отсутствия такого стандарта поправочный коэффициент для круглопрядных канатов должен приниматься 0,83.

Таблица 1.

Минимальный коэффициент запаса прочности канатов

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| N  п/п | Тип дороги и назначение каната | Коэффициент запаса прочности, *k* |
| 1. Подвесная одноканатная или двухканатная с кольцевым движением закрепленного на несуще-тяговом (тяговом) канате и отцепляемого на станциях подвижного состава | | |
| 1.1 | Несущий | 3,0 |
| 1.2 | Несуще-тяговый | 4,5 |
| 1.3 | Тяговый | 5,0 |
| 1.4 | Натяжной | 5,5 |
| 2. Подвесная одноканатная с кольцевым или маятниковым движением постоянно закрепленного на несуще-тяговом канате подвижного состава | | |
| *2.1* | Несуще-тяговый | 4,5 |
| *2.2* | 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 | | |
| 3.1 | Тяговый канат | 4,0 |
| 3.2 | 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, 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.

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 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 несуще-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 несуще-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 υ (м/с);

- часовая пропускная способность П (чел/ч);

- наибольшее тяговое (окружное) усилие ***W***max(Н) на приводном шкиве;

- необходимая усилие ***Рну*** (Н) в натяжном устройственесуще-тягового каната;

- диаметр ***d***к (мм);

- разрывное усилие ***Fразр*** (Н) несуще-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 несуще-тяговом канате подвижным составом номинальная скорость не должна превышать значений приведенных в таблице 1.

Таблица 3.1.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| № п/п |  | Скорость движения подвижного состава, м/с | | |
|  | Тип дороги | на дорогах, предназначенных для лыжников (с лыжами на ногах) | | на дорогах общего назначения  (для |
|  |  | со станционным конвейером | без станционного конвейера | пешеходов) |
| 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 |
|  | четырехместных 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-, четырех- 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 несуще-тягового 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 *П* (чел/ч) пассажирской канатной дороги в одном направ­лении рассчитывается согласно формул

***П = 3600 i /τ,*** или ***П = 3600 i υ/λ,***

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

Таблица 3.2

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| № |  | Интервал, с | | |
| п/п |  | между креслами | | между |
|  | Тип дороги | на дорогах для пешеходов | на дорогах для лыжников | кабинами |
| 1 | С непрерывным движением: |  |  |  |
|  | одноместных кресел | 5,0 | 4,0 |  |
|  | двухместных кресел | 8,0 | 6,0 |  |
|  | трехместных кресел | 8,0 | 6,0 |  |
|  | четырехместных 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 конструктивными особенностями их соединения |  |  |
| 4 | С пульсирующим движением групп:  - двухместных кабин;  - трехместных кабин;  - четырехместных кабин;  - шестиместных кабин |  |  | Расстояние между креслами в группе опреде-ляется конструк-тивными особенностями их соединения |

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

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 усилие 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;

- 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 усилия;

- более полно используется прочность несуще-тягового каната;

|  |  |
| --- | --- |
| *ВП*  1  С  П  2 | *ВП-Н*  4  П  С  3 |
| НП  П  С | НП-Н  П  С |

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;

- 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 ***15Fпс***  (***Fпс*** - 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

***Smin ≥ 15Fпс*** (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

***Sсб(еµα-1)/( Sнб- Sсб) ≥ K*** (3.5)

- при тормозном режиме работы привода

***Sнб (еµα-1)/( Sсб- Sнб) ≥ K*** (3.6)

где, ***Sнб*** - натяжение набегающей ветви каната на приводном шкиве, Н;

***Sсб*** - 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, *К* = 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 ***µ*** = 0,22.

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

***W0 =Wп +Wс  ,*** или

***W0 = Sнб - Sсб ,***(3.7)

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

***Wс -*** сопротивление движению несуще-тягового каната стороны спуска, Н.

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

***Рну = Sсбн + Sнбн ,***(3.8)

где, - ***Sнбн*** - натяжение набегающей ветви каната на натяжном (приводном или обводном шкивах в зависимости от места расположения привода и натяжного учтройства) шкиве, Н;

***Sсбн*** - 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 несуще-тягового каната на желоб обода шкива не превышает значения, допу­скаемого материалом футеровки [22]. Принято [0], что давление воспринимается площадкой шириной b=2/3 dk, где dk – диаметр несуще-тягового каната

***p = Sнб/(Rшb)*** или после подстановки ***p = 3Sнб/(Dш dk)*,** (3.9)

в этих выражениях ***Rш***и***Dш***– соответственно радиус и диаметр шкива.

Наибольшее допустимое давление, рассчитанное по этой формуле ***p=3,7МПа*** [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 несуще-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 β < ω’ (β*** ***< 4о)*** и сторона подъема и спуска загружена на 100%***.*** В этом случаесопротивление движению груженой стороны спуска будет больше нуля, то есть ***Wсг > 0*** и  ***Sсб = Smin ,***а ***Sнб= Smах .***

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

- сторона спуска груженая согласно выражению

***Wсг= qгр l (ω’cosβ - sinβ);***

- сопротивлением на натяжном шкиве пренебрегаем, то есть для предварительных расчетов ***Sнбн= Sсбн;***

- сторона подъема груженая согласно выражению

***Wсг= qгр l (ω’cosβ + sinβ).***

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

|  |
| --- |
| ***Sнбн= Sсб + Wсг***  ***Sнбн= Sсбн***  (3.10).  ***Sнб = Sсбн + Wпг*** |

|  |  |
| --- | --- |
| ВП  1  Sсб  П  2  Sнбн  Sнбо  НУ  Sсбн  3  4  L  Wп  Wc  Sнб | ВП-Н  Sсбо  Sнб  Sсб  3  2  4  Wп  Wc  1  НУ  L |

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

П - привод; НУ- натяжное устройство; ***Sнб*** и***Sсб -*** натяжение каната в точках набегания и сбегания на приводе; ***Sнбн*** и***Sсбн -*** натяжение каната в точках набегания и сбегания на натяжном шкиве; ***Sнбо*** и***Sсбо -*** натяжение каната в точках набегания и сбегания на обводном шкиве;***Wп*** и ***Wс –*** сопротивление движению стороны подъема и стороны спуска.

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

|  |
| --- |
| ***Sнбн= Sсб + Wсг***  ***Sнбн= Sсбн*** (3.11)  ***Sнб = Sсбн + Wпг***  ***Sсб(еµα-1)/( Sнб- Sсб) ≥ K*** |

Подставив значение для данного случая ***W0 = Wсг + Wпг*** и решая систему уравнений 3.11 получим

|  |
| --- |
| ***Sсб= К W0 / (еµα- 1)***  ***Sнбн= К W0 / (еµα- 1)+ Wсг*** (3.12)  ***Sнб = W0 (К + еµα- 1)/ (еµα- 1).*** |

Если величина ***Sсб*** не удовлетворяет условию 3.4 то есть ***Sсб*** ***<******15Fпс*** , тогда в системе уравнений 3.11 заменим последнее уравнение на выражение ***Sсб=15Fпс*** , тогда

|  |
| --- |
| ***Sнбн= Sсб + Wсг***  ***Sнбн= Sсбн***  (3.13).  ***Sнб = Sсбн + Wпг***  ***Sсб=15Fпс*** |

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

|  |
| --- |
| ***Sсб=15Fпс***  ***Sнбн= 15Fпс + Wсг***  ***Sнб = 15Fпс + W0 .*** |

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 ***Sсб*** = ***Smin .*** 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 β >ω’ (β*** ***>4о)*** тогда ***Wсп< 0*** и сторона подъема загружена на 100% , а сторона спуска порожняя то***, Sнбн = Smin*** и ***Sнб= Smах.*** Сопротивление движению порожней стороны спуска примет вид

***Wсп= q0 l (ω’cos β - sin β).***

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

Если величина ***Sнбн*** не удовлетворяет условию 3.4, то есть ***Sнбн*** ***<*** ***15Fпс*** , тогда система уравнений для определения натяжений в точках контура для второго случая запишем в следующем виде

|  |
| --- |
| ***Sнбн= Sсб + Wсп***  ***Sнбн= Sсбн =15Fпс*** (3.14)  ***Sнб = Sсбн + Wпг*** |

4'

3

4

2

1

2', 3'

1'

Wпг

Sнб

Sнбн

Wсг

Sсб

L

L



Рис. 3.3. График натяжений каната ПКД для схемы расположения привода ВП (первый случай) при условии ***tg β < ω’, Wсг > 0, Wпг > 0,***  ***Sсб = Smin ,*** ***Sнб= Smах .***

Величина сил, действующих на канат для второго случая примет вид

|  |
| --- |
| ***Sсб=15Fпс - Wсп***  ***Sнбн= Sсбн =15Fпс*** (3.15)  ***Sнб = 15Fпс + Wпг .*** |

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

***Третий случай.*** Возможен тормозной режим если ***tg β >ω’ (β*** ***>4о)*** и сторона подъема порожняя, а сторона спуска загружена на 100% , при этом  ***Wсг < 0, Sнбн = Smin*** и ***Sсб= Smах.***

Сопротивление движению порожней стороны подъема примет вид

***Wпп= q0 l (ω’cos β + sin β).***

При тормозном реже величина тормозной силы будет больше нуля

Тормозную силу определим из выражения

|  |
| --- |
| ***W***т = ***–*** (***Wсг + Wпп)*** или  ***W*т*= Sсб - Sнб*** (3.16) |

4

2

3

1

4'

2', 3'

1'

L

L

Sнб

Wпг

Sнбн

Wсп

Sсб



Рис. 3.4. График натяжений каната ПКД для схемы расположения привода ВП при условии (второй случай)  ***tg β >ω’***  ***Wсп< 0, Wпг > 0, Sнбн = Smin ,*** ***Sнб= Smах.***

Подставим в формулу 3.16 соответствующие значения ***Wсг*** и ***Wпп*** , получим выражение для расчета тормозного силы на приводном (тормозном) шкиве

***W***т ***= qпас l sin β – (qпас+ 2 q0) l ω’cos β.*** (3.17)

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

|  |
| --- |
| ***Sнбн = Sсб + Wсг***  ***Sсбн = Sнбн***  ***Sнб= Sсбн + Wпп*** (3.18)  ***Sнб≥ K W***т/***(еµα-1)*** |

Решив систему уравнений получим

|  |
| --- |
| ***Sсб= W***т***(K +еµα-1)***/***(еµα-1)***  ***Sнб= K W***т/***(еµα-1)***  ***Sнбн= K W***т/***(еµα-1) - Wпп .*** |

Если минимальное натяжение не удовлетворяет условию ***Smin ≥15Fпс ,*** тогда системауравнений 3.18 примет вид

|  |
| --- |
| ***Sнбн = Sсб + Wсг***  ***Sнбн = Sсбн =15Fпс*** (3.19)  ***Sнб= Sсбн + Wпп*** |

Из этой системы уравнений определим следующие величины

|  |
| --- |
| ***Sсб=15Fпс- Wсг***  ***Sнб = 15Fпс + Wпп***  ***Sнбн =15Fпс .*** |

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.

1'

L

L

3

2

4

1

4'

2', 3'

Sнб

Wпп

Sсб

Wсг

Sнбн



Рис 3.5. График натяжений каната ПКД для схемы расположения привода ВП (третий случай, тормозной режим) при условии  ***tg β >ω’***  ***Wсг< 0, Wпп > 0, Sнбн = Smin ,*** ***Sсб= Smах.***

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.

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).

|  |  |
| --- | --- |
| НП  Sнбн  Sсбн  Sнб  Sсб.  Wп  Wc  2  3  L  1  4  НУ  П | НП-Н  Sсбо  П  Sнбо  4  3  Sсб  Sнб  2  1  НУ  L  Wп  Wc |

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

П- привод; НУ- натяжное устройство; ***Sнб*** и***Sсб -*** натяжение каната в точках набегания и сбегания на приводе; ***Sнбн*** и***Sсбн -*** натяжение каната в точках набегания и сбегания на натяжном шкиве; ***Sнбо*** и***Sсбо -*** натяжение каната в точках набегания и сбегания на обводном шкиве;***Wп*** и ***Wс –*** 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 ***(Рну)*** и мощности привода ***(N).***

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

***F* *Sнб kзап*,**



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



***kзап*** - минимальный коэффициент запаса прочности для несуще–тягового каната ***kзап*** =4,5 [22].

4'

4

3

2

1

2' 3'

1'

Wсг

Sнбн

Sнб

Wпг

L

Sсб



Рис.3.7. График натяжений каната ПКД для схемы расположения привода НП и НП-Н (первый случай) при условии ***tg β < ω’, Wсг > 0, Wпг > 0,***

L

***Sсб = Smin ,*** ***Sнб= Smах .***

L

4'

2' 3'

1'

2

1

L

4

3

L

Sнб

Wсп

Sнбн

Sсб

Wпг



Рис. 3.8. График натяжений каната ПКД для схемы расположения привода НП при условии (второй случай)  ***tg β >ω’***  ***Wсп< 0, Wпг > 0, Sсб = Smin ,***

***Sнбн= Smах.***

Wпп

2' 3'

Sнбн

Sнб

Wсг

Sсб

4'

1'

L

4

2

1

L

3



Рис 3.9. График натяжений каната ПКД для схемы расположения привода НП (третий случай, тормозной режим) при условии  ***tg β >ω’***  ***Wсг< 0,***

***Wпп > 0, Sнб = Smin ,*** ***Sнбн= Smах.***

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 каждого 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 = 3Sнб/(Dш dk)*** определяем давление несуще-тягового каната на желоб обода шкива оно не должно превосходит допу­скаемого материалом футеровки значения [22]*.*

Усилие в натяжном устройстве получим, подставив в выражение 3.8 значение ***Sнбн*** для конкретной схемы расположения натяжного устройства

***Рну  ≥ 2 Sнбн.***

По величине усилия в натяжном устройстве ***Рну*** 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 = kп W0 υ /***η***,***

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

***υ*** - скорость движения несуще-тягового каната;

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

Тормозной момент аварийного тормоза

**Мат= *W*тDат/2,**

где **Dат** – средний диаметр расположения колодок аварийного тормоза на приводном шкиве, м.

Тормозной момент рабочего тормоза

Мрт= ***W***тDрт η /2U,

где **Dрт** – 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 ПКД должен быть не менее пяти. Детали, воспринимающие динамические нагрузки, должны быть дополнительно проверены на усталостную прочность.