

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

УДК 621.86

СПОСОБЫ УВЕЛИЧЕНИЯ ТЯГОВОЙ СПОСОБНОСТИ КАНАТОВЕДУЩЕГО ШКИВА

В.Ю. Анцев, П.В. Витчук, А.В. Федоров

Рассмотрены способы увеличения тяговой способности канатоведущего шкива. Обоснована целесообразность способа увеличения тяговой способности канатоведущего шкива на основе его футеровки полиуретаном. Обозначены задачи, решение которых позволит реализовать данный способ.

Ключевые слова: канатоведущий шкив, лифт, отклоняющий блок, полиуретан, привод с двойным обхватом, ручей, тяговая способность, футеровка.

На большинстве пассажирских лифтов и некоторых грузовых и грузопассажирских подъемников с противовесами в качестве подъемного механизма применяют лебедки с канатоведущим шкивом (КВШ). Канатоведущий шкив служит для передачи тягового усилия с лебедки на канаты лифта. В отличие от лебедок с тяговым барабаном, канаты в лебедках с канатоведущим шкивом не прикрепляются жестко к тяговому органу, а укладываются с натяжением в ручьи различного профиля поперечного сечения, расположенные на ободке шкива так, что при вращении шкив перемещает канат за счет силы трения. По сравнению с лебедками с тяговым барабаном лебедки с канатоведущим шкивом имеют ряд существенных преимуществ: меньшие габариты; их конструкция и размер не зависят от высоты подъема, а также от расположения наверху или внизу; исключается возможность удара кабины лифта о перекрытие шахты в случае неисправного концевого выключателя, так как при достижении кабиной верхнего положения противовес встанет на упор или буфер, канат ослабнет, что вызовет его проскальзывание на канатоведущем шкиве. В то же время, по сравнению с лебедками с тяговым барабаном, при применении лебедок с канатоведущим шкивом наблюдается более интенсивный износ тяговых канатов и ручьев, а также существует вероятность чрезмерного скольже-

ния или заклинивания тяговых канатов [1]. Несмотря на указанные недостатки, лебедки с канатоведущим шкивом применяются на большинстве находящихся в эксплуатации лифтов. Помимо лифтов, лебедки (подъемные машины) с канатоведущим шкивом успешно применяются и в других типах подъемников, например, шахтных (подъемные машины типа ЦШ – с цилиндрическим шкивом). Применительно к шахтным подъемникам вместо термина «канатоведущий шкив» принято использовать термины «многоканатный шкив трения» или просто «шкив трения» [2].

Для обеспечения достаточного расстояния между осями кабины и противовеса лифта может использоваться отводной блок. Канатоведущий шкив и отводной блок обычно располагаются над лифтом в машинном помещении (рис. 1). В ряде случаев, когда необходимо обеспечить достаточный угол обхвата наряду с необходимым расстоянием между кабиной и противовесом, отводной блок может располагаться под полом машинного помещения.

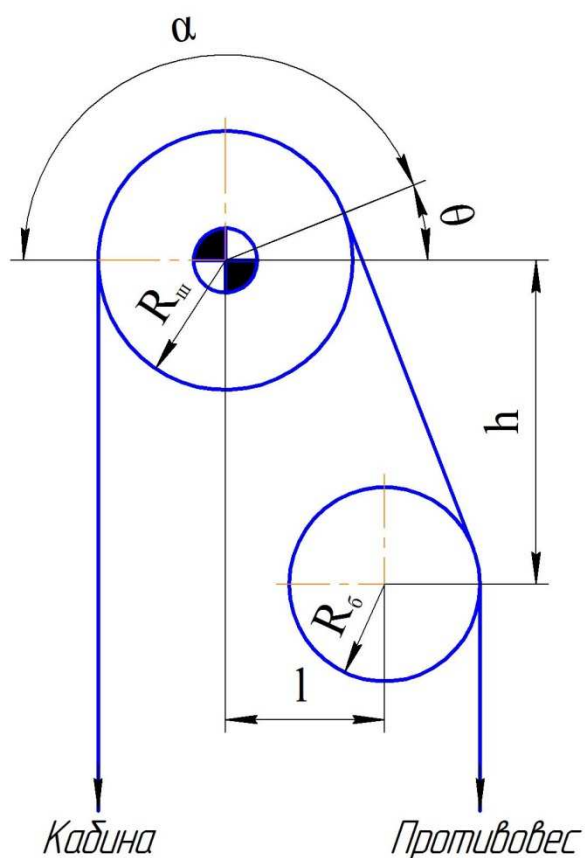


Рис. 1. Геометрия расположения КВШ и отводного блока:
 α – угол обхвата канатом КВШ; θ – потеря угла обхвата канатом КВШ из-за применения отводного блока; $R_{КВШ}$, $R_{ОБ}$ – радиус КВШ и отводного блока соответственно; l и h – расстояние между осями КВШ и отводного блока по горизонтали и вертикали соответственно

Основным критерием работоспособности канатоведущего шкива является величина его тяговой способности, которая зависит от приведенного коэффициента трения между рабочими поверхностями тягового каната и ручьями канатоведущего шкива, а также от угла обхвата его тяговым канатом. Приведенный коэффициент трения, в свою очередь, зависит от материалов, из которых изготовлены тяговые канаты и канатоведущий шкив, профиля поперечного сечения ручьев, а также степени их изношенности.

Сила трения между тяговым канатом и ручьем канатоведущего шкива тем больше, чем сильнее канат прижат к поверхности ручья, поэтому канатоведущие шкивы применяются только при наличии противовеса на втором конце перекинутых через него тяговых канатов. Масса противовеса выбирается из условия полного уравнивания кабины и части полезного груза или грузоподъемности (обычно 40-60 %).

Величина тяговой способности канатоведущего шкива аналитически оценивается коэффициентом тяговой способности $k_{ТС}$. Во избежание скольжения каната по шкиву необходимо соблюдение условия формулы (неравенства) Эйлера, которая имеет вид:

$$\frac{T_1}{T_2} C \leq e^{f\alpha} = k_{ТС}, \quad (1)$$

где T_1 и T_2 – большая и меньшая сила натяжения тяговых канатов соответственно, кН; f – приведенное значение коэффициента трения между тяговым канатом и поверхностью ручья; C – коэффициент динамичности.

Термины «большая сила натяжения тяговых канатов» и «меньшая сила натяжения тяговых канатов» заимствованы из источника [3] и отличаются от принятых в отечественной литературе [2, 4] «натяжение набегающей ветви» и «натяжение сбегаящей ветви». На наш взгляд, такая терминология видится более рациональной, так как отражает действительную величину натяжения тяговых канатов, а не направление движения кабины и противовеса. Тогда сила трения между рабочими поверхностями тяговых канатов и ручьев канатоведущего шкива вдоль дуги обхвата тяговым канатом канатоведущего шкива должна превышать наибольшую из разностей между натяжениями канатов со стороны кабины и противовеса (рис. 2) для различных положений кабины и противовеса, направления их движения, заполненности кабины и способа уравнивания тяговых канатов и подвесных кабелей (например, полностью груженная кабина без уравнивания движется вниз из положения, близкого к нижнему) [5].

Несложный анализ зависимости (1) показывает следующие способы увеличения коэффициента тяговой способности:

1. Использование уравнивающих (в [3] – компенсирующих) элементов (цепей, канатов, кабелей) для увеличения статического натяжения движущихся вниз тяговых канатов.

2. Увеличение угла обхвата тяговым канатом канатоведущего шкива.

3. Увеличение приведенного значения коэффициента трения между тяговым канатом и поверхностью ручья.

Первый способ хорошо зарекомендовал себя на практике и используется в большом числе лифтов. В то же время, существенного прироста тяговой способности, особенно в лифтах с малой высотой подъема, этот способ не позволяет достичь, так как исключает из разницы между большей и меньшей силами натяжения тяговых канатов лишь составляющую от неуравновешенной массы тяговых канатов и подвесных кабелей.

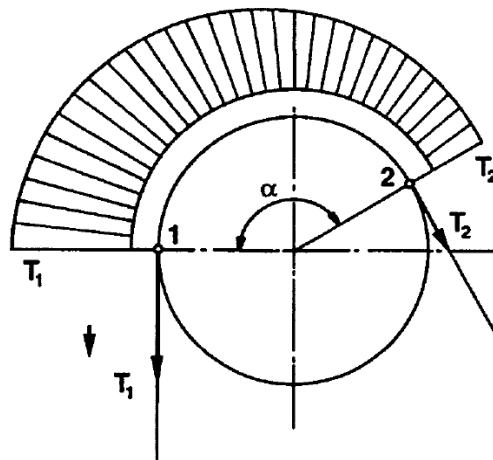


Рис. 2. Изменение силы натяжения канатов

Второй способ может быть реализован следующими конструктивными решениями: установка отклоняющего блока, увеличение диаметра канатоведущего шкива (в случае использования отводного блока, когда $\alpha < 180^\circ$), применение схемы привода с двойным обхватом (рис. 3).

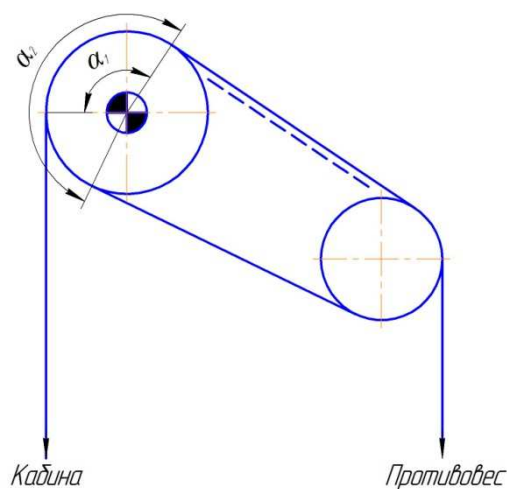


Рис. 3. Схема привода с двойным обхватом

Установка отклоняющего блока в лифтах практически не применяется, так как в этом случае уменьшается расстояние между осями кабины и противовеса и для устранения этого недостатка требуется применение дополнительного отклоняющего блока, что приводит к повышенному износу тяговых канатов ввиду увеличения числа их перегибов [6]. Установка отклоняющего блока применяется, в основном, в шахтных подъемных машинах, где возможно уменьшение расстояния между ветвями тяговых канатов [2].

Увеличение диаметра канатопроводящего шкива не только приводит к увеличению коэффициента тяговой способности, но и к значительному увеличению срока службы тяговых канатов ввиду увеличения радиуса огибания [3, 6] и уменьшения величины контактного давления [7 - 9] между рабочими поверхностями тяговых канатов и ручьев канатопроводящего шкива. Так, из практики эксплуатации лифтов известно, что срок службы тяговых канатов и канатопроводящих шкивов составляет 4...6 лет при диаметре канатопроводящего шкива 525 мм и 15...25 лет при диаметре 770 мм. Однако такое решение является неэффективным с экономической стороны, так как ведет к увеличению металлоемкости и габаритов лебедки, а также увеличению маховых моментов на валу редуктора, что ухудшает качество движения лифта и значительно увеличивает расход электроэнергии в переходных режимах.

Для увеличения тяговой способности может применяться схема с двойным обхватом [3, 4]. В этом случае канаты лифта проходят от кабины через тяговый шкив, вниз, огибая контршкив, обратно к тяговому шкиву и к противовесу. Такая схема привода является достаточно громоздкой, влечет за собой значительное увеличение износа тяговых канатов ввиду увеличения числа их перегибов, а также повышение шумовых показателей. Все это негативно сказывается как на техническом обслуживании лифта, так и на комфортности перемещения в нем. Схема с двойным обхватом применяется преимущественно в высокоскоростных лифтах и подразумевает использование ручьев полукруглого профиля поперечного сечения, так как при большой скорости и высоте подъема удельный вклад числа перегибов в интенсивность изнашивания тяговых канатов становится меньше, чем удельный вклад от величины контактного давления между рабочими поверхностями тягового каната и ручья канатопроводящего шкива.

Следует также отметить, что несмотря на значительное число исследований (например, приведенных в монографии [6]), посвященных взаимосвязи числа перегибов стальных канатов на блоках и их долговечности, эта взаимосвязь, к сожалению, практически не нашла отражения в учебниках и нормативной документации по лифтам. Отдельные упоминания присутствуют в европейском стандарте EN 81-1, в котором при определении коэффициента запаса по разрывной прочности (разрушающей на-

грузки) тяговых канатов используется показатель «эквивалентное число блоков».

Третий способ увеличения тяговой способности заключается в увеличении приведенного значения коэффициента трения между тяговым канатом и поверхностью ручья на основе выбора соответствующих геометрических параметров профиля поперечного профиля ручья канатопроводящего шкива и/или применении материалов с высоким коэффициентом трения (например, упругая футеровка полимерными материалами).

В настоящее время на практике получили применение канатопроводящие шкивы с четырьмя профилями поперечного сечения ручьев (канавок): клиновидной (V-образной) с углом $35^{\circ} \dots 40^{\circ}$, полукруглой (U-образной), полукруглой с подрезом с углом подреза $90^{\circ} \dots 105^{\circ}$ и клиновидной с подрезом. При этом при выборе того или иного профиля ручья канатопроводящего шкива требуется одновременное обеспечение тяговой способности, достаточной для передачи требуемого тягового усилия, и как можно более низкое контактное давление между рабочими поверхностями тягового каната и ручья канатопроводящего шкива.

Решение данной задачи представляет собой определенную сложность, так как при повышении приведенного значения коэффициента трения (то есть повышении тяговой способности) увеличивается величина контактного давления и, как следствие износ тяговых канатов и ручья, и наоборот. Например, ручей полукруглого профиля поперечного сечения по сравнению с ручьем клиновидного профиля поперечного сечения обеспечивает значительно больший срок службы тяговых канатов и самого ручья из-за меньшего контактного давления, меньший уровень шума, но его применимость ограничена значительно более низкой тяговой способностью. Кроме того, аналитическое определение приведенного значения коэффициента трения и величины контактного давления базируется на эмпирических и полуэмпирических зависимостях, полученных для канатопроводящих шкивов, изготовленных из чугуна, и тяговых канатов крестовой свивки [3, 4, 10].

В работе [4] дополнительно приводятся корректировки указанных зависимостей для случаев применения канатопроводящих шкивов, изготовленных из стали и тяговых канатов односторонней свивки. Таким образом, фактическое значение коэффициента тяговой способности возможно определять лишь методом натуральных испытаний. При проведении предварительных расчетов целесообразно использовать методику многовариантных расчетов, например [11], основанную на зависимостях, приведенных в [3, 4, 10].

Канатопроводящие шкивы обычно отливают из различных марок чугуна (от модифицированного до серого) или стали с твердостью на поверхности ручья шкива HB=220-230. Наибольшее распространение получили

чугуны СЧ-30 ГОСТ 1412-85 и ВЧ-60 ГОСТ 7293-85. Также могут использоваться серые чугуны марок СЧ-28-48 ГОСТ 1412-85 или стальное литье марки 55Л-П ГОСТ 977-88 [4].

Для увеличения тяговой способности канатоведущего шкива его ручки могут футероваться неметаллическими вкладышами. Это позволяет получить требуемую тяговую способность даже при использовании ручьев полукруглого профиля поперечного сечения и небольших габаритах канатоведущего шкива.

Футеровка ручьев канатоведущих шкивов фрикционными материалами широко применяется в шахтных подъемных машинах. При этом могут использоваться дуб, прессмасса и полихлорвиниловый пластикат [2]. Статический коэффициент тяговой способности (в [2] – коэффициент безопасности против скольжения) для этих материалов составляет от 1,3 до 1,5. Стоит отметить, что канатоведущие шкивы шахтных подъемных машин проверяются по условию нескольжения каната при статических нагрузках, так как величины ускорения и замедления в шахтных подъемниках не лимитируются и определяются при кинематических расчетах при пуске и торможении.

Канатоведущие шкивы, футерованные фрикционными материалами (полиуретан), были разработаны фирмами Кюерре (Германия) и Otis (США) (рис. 4), а также рядом ученых, но не получили распространения в силу определенных причин [3].

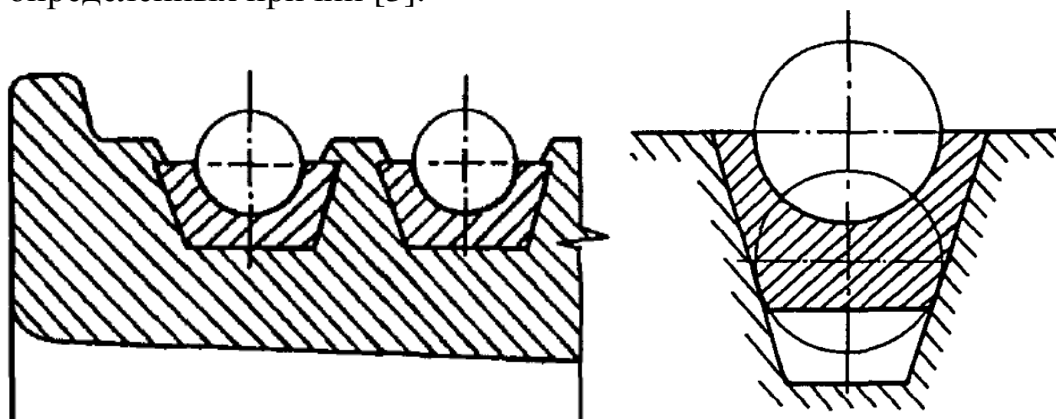


Рис. 4. Конструкции канатоведущих шкивов с полиуретановыми вкладышами: Кюерре (слева) Otis (справа)

Основными такими причинами являются необходимость значительного числа натуральных испытаний для определения фактического значения тяговой способности, возможность выгорания полиуретанов при пожаре, необходимость пересмотра норм браковки тяговых канатов, а также необходимость применения методов неразрушающего контроля при оценке их технического состояния. Другой немаловажной причиной послужил тот факт, что на момент разработки указанных конструкций полиуретан

имел высокую стоимость и его применимость была экономически нецелесообразна.

Необходимость значительного числа натуральных испытаний для определения фактического значения тяговой способности обусловлена невозможностью точного аналитического определения приведенного значения коэффициента трения и величины контактного давления, расчет которых, как отмечалось ранее, базируется на эмпирических и полуэмпирических зависимостях. Применение существующих методов расчета возможно лишь при проведении предварительных расчетов. Например, с использованием методики [11] были получены значения коэффициента тяговой способности в зависимости от коэффициента трения μ и угла обхвата тяговым канатом канатоведущего шкива α для типовых лифтов грузоподъемностью 400 кг и номинальной скоростью 1 м/с (рис. 5). Так как угол обхвата в таких лифтах обычно составляет $110^\circ \dots 120^\circ$, можно видеть, что коэффициент трения должен составить $0,25 \dots 0,275$.

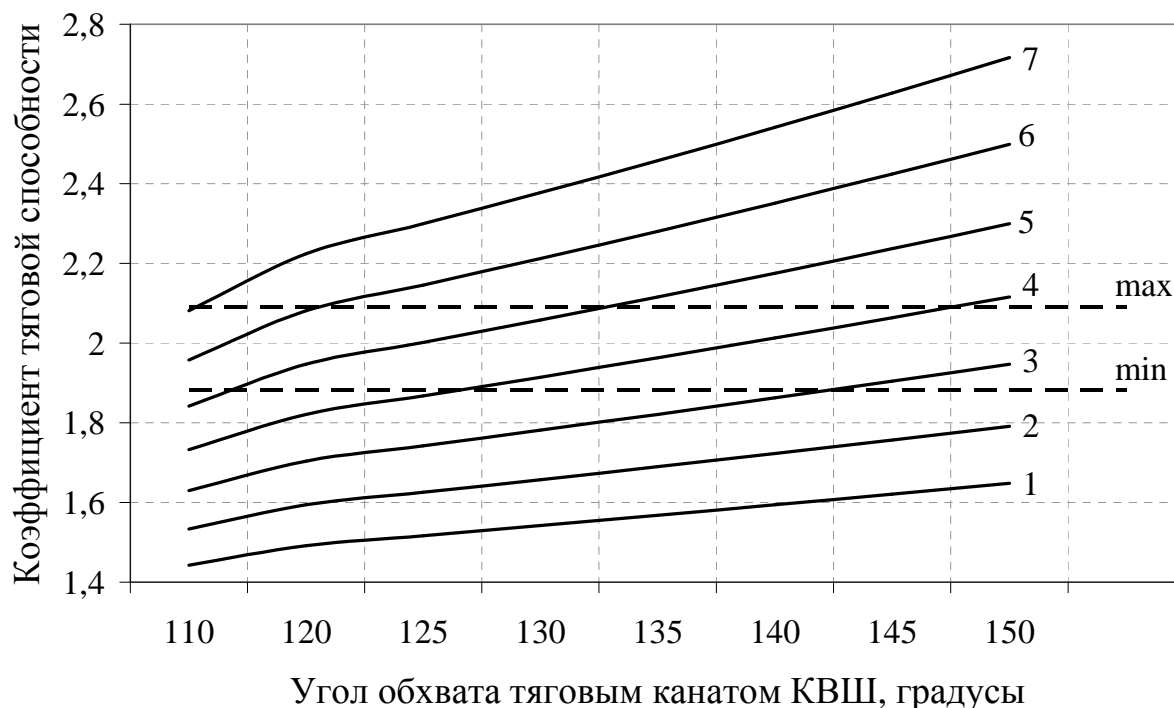


Рис. 5. Зависимость коэффициента тяговой способности от α и μ :
 1 – $\mu = 0,15$; 2 – $\mu = 0,175$; 3 – $\mu = 0,2$; 4 – $\mu = 0,225$;
 5 – $\mu = 0,25$; 6 – $\mu = 0,275$; 7 – $\mu = 0,3$;
 (*min* и *max* – минимальное и максимальное требуемые значения коэффициента тяговой способности)

Необходимость пересмотра норм браковки и применения методов неразрушающего контроля технического состояния тяговых канатов вызвана отсутствием обрывов проволок наружного слоя навивки тяговых ка-

натов при их работе на канатоведущих шкивах, футерованных полиуретановыми вкладышами при наличии обрывов во внутренних (невидимых глазу) слоях [12], так как правилами безопасности определены критерии и нормы браковки тяговых канатов из-за поверхностного и внутреннего абразивного износа, коррозии, количества обрывов наружных и внутренних проволок на длине шага свивки каната. В частности, тяговый канат подлежит замене в случае: уменьшения его диаметра в результате поверхностного износа или коррозии, уменьшения начального диаметра внешних проволок или наличия числа обрыва проволок в наружном слое навивки выше норм. Таким образом, при контроле тяговых канатов лифтов, работающих на канатоведущих шкивах, футерованных полиуретановыми вкладышами, необходимо осуществлять оценку состояния проволок внутренних слоев навивки. Это возможно, например, с использованием рекомендаций, изложенных в РД РОСЭК 012-97 «Канаты стальные. Контроль и нормы браковки».

Таким образом, анализ условий эксплуатации канатоведущих шкивов показывает, что материалы, применяемые для их футеровки должны обладать следующими качествами:

- высоким коэффициентом трения при различных условиях эксплуатации (статические и динамические нагрузки, наличие смазки);
- сопротивляемостью контактному давлению между рабочими поверхностями тягового каната и ручья;
- износостойкостью;
- устойчивостью к воздействию смазки;
- стабильностью физических свойств при различных условиях эксплуатации и окружающей среды;
- сопротивлению старению;
- огнестойкостью и отсутствием (низким количеством) токсичных выделений при разложении (в том числе термическом).

Поэтому наиболее перспективными материалами для футеровки канатоведущего шкива представляются полиуретаны, которые являются химическими соединениями, получаемыми в результате реакции полимеризации, которая инициируется смешиванием двух компонентов, относящихся к разным группам соединений (диизоцианаты и полиспирты). И, поскольку круг возможных исходных химических соединений весьма широк, можно синтезировать эластомеры очень разного состава. Таким образом, соединения с разной стехиометрией могут иметь сходство физико-химических характеристик, но вместе с тем значительные различия по эксплуатационным качествам.

В итоге можно заключить, что наиболее рациональным способом увеличения тяговой способности канатоведущих шкивов является их футеровка фрикционными материалами (полиуретаном). Внедрение подобной конструкции позволит:

- многократно использовать канатоведущий шкив (при износе вкладыша его можно заменить на новый и использовать шкив дальше);
- значительно упростить и сократить сроки процедуры по восстановлению изношенных ручьев;
- уменьшить размеры канатоведущего шкива и, как следствие, привода при сохранении тяговой способности;
- повысить энергоэффективность лебедки; снизить уровень шума и вибраций лебедки.

В то же время можно отметить, что разработка и внедрение канатоведущих шкивов, футерованных фрикционными материалами, является сложной комплексной научно-технической задачей, решение которой должно предусматривать выполнение большого числа взаимосвязанных этапов начиная от разработки непосредственно самой конструкции вплоть до внесения соответствующих изменений в нормы браковки и правила испытаний тяговых канатов.

Список литературы

1. Нелидов С.Б., Манухин И.К. Устройство, техническое обслуживание и ремонт лифтов. М.: Академия, 2004. 336 с.
2. Федорова З.М., Лукин И.Ф., Нестеров А.П. Подъемники. Киев: Высшая школа, 1976. 296 с.
3. Яновски Л. Проектирование механического оборудования лифтов. Третье издание. М.: Издательство АСВ, 2005. 336 с.
4. Лифты. Учебник для вузов / под общей ред. Д.П. Волкова. М.: Издательство АСВ. 1999. 480 с.
5. Анцев В.Ю., Витчук П.В., Плахова Е.А. Взаимосвязь характеристик пассажиропотока здания и износа лифтовых канатоведущих шкивов // Механика и физика процессов на поверхности и в контакте твердых тел, деталей технологического и энергетического оборудования. № 6. Тверь: ТвГТУ, 2013. С. 110-114.
6. Малиновский В.А. Стальные канаты. Одесса: Астрапринт, 2001. 190 с.
7. Витчук П.В., Абрамов Д.Ю. К вопросу о долговечности канатно - блочной системы лифта // Наука и образование: электронное научно - техническое издание. Инженерные науки. #11. URL: technomag.edu.ru/doc/234034.html (дата обращения: 19.04.2013).
8. Анцев В.Ю., Витчук П.В. Расчет параметров канатоведущего шкива лифта в процессе износа // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии, 2012. № 2-6 (292). С. 112-118.
9. Витчук П.В., Анцев В.Ю., Сероштан В.И. Влияние величины диаметров каната и канатоведущего шкива на значение контактного давления в ручье // Известия ТулГУ. Технические науки. № 3. Тула: Изд-во

ТулГУ, 2011. С. 8-10.

10. Нуманс F., Хеллборн A.V. Der neuzeitliche Aufzug mit Treibscheibenantrieb. Julius Springer. Berlin, 1927.

11. Анцев В.Ю., Сероштан В.И., Витчук П.В. Многовариантный подход к определению параметров канатно-блочной системы лифта // Известия ТулГУ. Технические науки. Тула: Изд-во ТулГУ, 2012. № 10. С. 71-79.

12. Feyrer, K. Discard Criteria for Wire Ropes. Elevator Technology II (Proceeding of ELEVCON 88, Karlsruhe, 1988).

Анцев Виталий Юрьевич, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой, anzev@tsu.tula.ru, Россия, Тула, Тульский государственный университет,

Витчук Павел Владимирович, канд. техн. наук, доц., zzzVentor@yandex.ru, Россия, Калуга, Калужский филиал Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана,

Федоров Александр Васильевич, студент, fedorov@nxt.ru, Россия, Калуга, Калужский филиал Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана

THE METHODS FOR INCREASING TRACTION CAPABILITY OF CABLE SHEAVE

V.J. Anzev, P.V. Vitshuk, A.V. Fedorov

Considered ways for increasing the cable sheave's traction capability. Proposed materials for lining and examined their properties as desired. Proved expediency of method to increase the cable sheave traction ability based on its polyurethane lining. Designated tasks that will implement of this method.

Key words: cable sheave, elevator, diverting pulley, polyurethane, double girth drive, groove, traction capability, lining.

Antzev Vitaly Yuryevich, doctor of technical science, professor, manager of department, anzev@tsu.tula.ru, Russia, Tula, Tula State University,

Vitshuk Pavel Vladimirovich, candidate of technical science, docent, zzzVentor@yandex.ru, Russia, Kaluga, Bauman Moscow State Technical University Kaluga Branch,

Fedorov Alexander Vasil'evich, student, fedorov@nxt.ru, Russia, Kaluga, Bauman Moscow State Technical University Kaluga Branch