

УДК 621.876:531.3

ПРОСКАЛЬЗЫВАНИЕ КАНАТА ПТМ

©Писарцов А. С.

Українська інженерно-педагогічна академія

Інформація про автора:

Писарцов Олександр Сергійович: ORCID 0000-0003-4661-5441; alex.pisartsov@gmail.com; старший викладач кафедри машинобудування та транспорту; Українська інженерно-педагогічна академія; вул. Університетська 16, м. Харків, 61003, Україна.

Проведен анализ литературных источников по изучению проскальзывания возникающего в контактных парах канат-шкив.

В связи с тем, что одна из причин уменьшения долговечности работы каната является растяжение, а как следствие, возникающее проскальзывание на ведущем и ведомом шкивах, данная тема является актуальной и необходимой. Сначала были рассмотрены основные причины интенсивного изнашивания и повреждения канатов. Далее рассмотрены виды скольжения, на примере модели ползучести каната в соответствии с Hymans/Hellborn, для контактных пар канат-ведущий шкив и канат-ведомый шкив. Также разобраны предпосылки и причины возникновения проскальзывания, а так же рассмотрено явление видимого скольжения и зажима каната в шкивах.

Построена диаграмма различных типов проскальзывания для канатного шкива с клиновидной канавкой, согласно Molkow.

В заключении рассмотрена тяговая способность и тяговый коэффициент Эйлера, и их влияние на отсутствие проскальзывания.

Ключевые слова: Проскальзывание; канат-шкив; ползучесть; тяговая способность; коэффициент Эйлера.

Писарцов О. С. «Прослизання канату в ПТМ».

Проведено аналіз літературних джерел по вивченню прослизання, що виникає в контактних парах канат-шків.

У зв'язку з тим, що одна з причин зменшення довговічності роботи канату є розтягнення, а як наслідок, виникає прослизання на ведучому і відомому шківках, дана тема є актуальною і необхідною. Спочатку були розглянуті основні причини інтенсивного зношування і пошкодження канатів. Далі розглянуті види ковзання, на прикладі моделі повзучості канату відповідно до Hymans/Hellborn, для контактних пар канат-ведучий шків і канат-відомий шків. Також розібрані передумови і причини виникнення проковзування, а так само розглянуто явище видимого ковзання і затиску канату в шківках.

Побудована діаграма різних типів прослизання для канатного шкива з клиноподібної канавкою, згідно Molkow.

У висновку розглянута тягова здатність і тяговий коефіцієнт Ейлера, і їх вплив на відсутність прослизання.

Ключові слова: прослизання; канат-шків; повзучість; тягова здатність; коефіцієнт Ейлера.

Pysartsov O. «Slippage of rope in PTM».

An analysis of literature sources on the study of the slippage of cable-pulley in contact pairs is carried out.

Due to the fact that one of the reasons for decreasing the durability of the rope is tension, and as a consequence, the resulting slippage on the leading and driven pulleys, this topic is urgent and necessary. First, the main causes of intensive wear and damage to ropes were considered. The following types of slip are considered, using the example of the rope creep model in accordance with Hymans/Hellborn, for contact pairs the rope-leading pulley and the rope-driven pulley. Also, the prerequisites and reasons for the occurrence of slippage are disassembled, as well as the phenomenon of visible slip and clamping of the rope in pulleys.

A diagram of various types of slip is constructed for a cable pulley with a wedge-shaped groove, according to Molkow.

In conclusion, the traction and traction factors of Euler and their effect on the lack of slip are considered.

Key words: slippage; rope-pulley; creep; pulling ability; Euler's coefficient.

1. Введение

При работе ПТМ помимо разрушений происходит постоянное изменение геометрических размеров и свойств рабочих поверхностей деталей, вследствие чего уменьшается долговечность. Стальные канаты широко применяются в подъемно-транспортных машинах в качестве грузовых, стреловых, вантовых, тяговых, несущих и чалочных. При достижении предельного состояния канаты выбраковываются и заменяются. В связи с этим, повышение долговечности работы канатов, является одной из актуальных задач.

2. Анализ литературных данных

Стальные канаты ПТМ являются сложными по структуре и ответственными по своему назначению конструкциями, работающими в достаточно тяжелых условиях. Так как разрушение каната может быть сопряжено не только с экономическими потерями, но и с человеческими жертвами, то требования, которые предъявляются к надежности функционирования канатов грузоподъемных машин и механизмов в процессе эксплуатации, являются весьма жесткими. В связи с этим, повышением долговечности и надежности работы канатов занимались многие ученые, такие как В. Вернле, П. Грабнер, Ф. Хайманс, Б. С. Ковальский, В. Н. Иванов и др.

Многочисленные исследования, связанные с влиянием проскальзывания на долговечность канатов занимались F. Hymans, A. V. Hellborn, M. Molkow, В. Н. Федосеев, Г. К. Гончаров, Н. Г. Павлов и др.

3. Цель и задачи исследования

Целью данной работы является изучение причин проскальзывания в контактной паре канат-шкив, рассмотреть виды скольжения, на примере модели ползучести каната, разобрать

Піднімально-транспортні машини

предпосылки и причины возникновения проскальзывания, рассмотрим явление видимого скольжения и зажима каната в шкивах, понятия тяговая способность и тяговый коэффициент Эйлера, и их влияние на проскальзывания.

4. Основные причины изнашивания и повреждения канатов

Основными причинами интенсивного изнашивания и повреждения канатов являются: неправильный выбор конструкции каната, типа и направления свивки; соотношения диаметра каната и диаметров барабана, канатоведущего шкива и направляющих блоков; отсутствие или нерегулярное смазывание канатов, загрязнение канатной смазки; наличие абразивных частиц на поверхности трения канатов; проскальзывание каната на блоке при его огибании, заедание каната в ручьях блока и при затрудненном вращении блока; неудовлетворительное состояние ручья блока, огибаемого канатом; неупорядоченная навивка каната на барабане; коррозия отдельных проволок каната; повышение нагрузки на канат.

5. Скольжение в контактной паре канат-шкив

В зависимости от степени использования максимально возможной управляющей способности относительная тяга между канавкой шкива и канатом подвески происходит в системе канат-шкив. В данной системе происходят различные относительные движения и формы скольжения. Тип проскальзывания – это растягивающее скольжение, которое также называется ползучестью стального каната.

На рис.1 показана идеализированная модель ползучести каната в соответствии с Nymans / Hellborn [1]. Предполагается, что относительное перемещение между канатом и канатоведущим шкивом происходит только в четко определенной зоне ползучести.

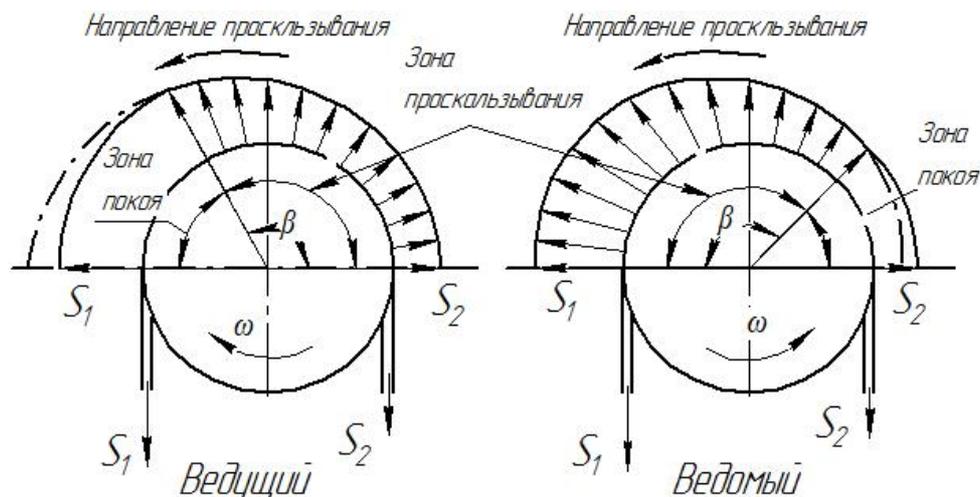


Рис. 1 – Модель ползучести каната в соответствии с Nymans/Hellborn [1]

Предпосылкой для возникновения проскальзывания - растяжения являются различные усилия по вытягиванию каната по обеим сторонам тягового шкива. В зависимости от соответствующего тягового усилия, части каната на противоположных сторонах тягового шкива растягиваются в разной степени. Чтобы компенсировать эту разницу, при прокатке по

Піднімально-транспортні машини

тяговому шкиву, в області зони скольження происходит тангенціальное скользящее движение каната. Независимо от направления вращения, канат всегда скользит в направлении большей силы S_1 . G. Atrops [2] удалось доказать экспериментальным путем кривую силы во время перегрузки тяговых шкивов, что фактическая кривая силы каната соответствует модели J. Eytelwein с зонами ползучести и покоя, насколько это возможно. Ученый отметил, что при использовании неупругих рифленых материалов в деревянных или алюминиевых приводных шкивах, которые он использовал, возникающие силы в канате не изменяются в зоне относительного покоя, но резко меняются в зоне ползучести. Напряжение растяжения нарастает между секциями каната, которое компенсируется рывками скольжения, как только превышает предел статического трения.

Проскальзывание также вызывается различными силами каната S_1 и S_2 . Согласно результатам испытаний M. Molkow [3] в 1982 году, это происходит главным образом в профилях канавок, таких как клин, но также может быть обнаружено в круглых канавках. Из-за разницы в силе, канат втягивается в канавку на разных глубинах, а так же разница в радиусе действия Δr возникает во время загрузки и разгрузки каната.

Поскольку канат на тяговом шкиве имеет постоянную скорость, эти различные радиусы должны быть компенсированы проскальзыванием каната.

В ведущем шкиве стальной канат с большей тягой S_1 при загрузке втягивается глубоко в канавку и удерживается там прижимной силой. Даже если в зоне ползучести тяговое усилие снова непрерывно уменьшается, поперечное сечение каната сохраняет свой радиус действия и изменяет свое положение при разгрузке. Когда шкив приводится в движение, канат работает с меньшим усилием S_2 шкива и соответствующим большим радиусом шкива. На всем расстоянии окружности поперечное сечение каната остается в том же положении. Только в зоне с увеличенной силой растяжения он движется глубже.

Во время последовательного подъема и опускания груза с использованием пары трения канат-шкив разные радиусы ошибочно создают впечатление, что канат проскользнул по шкиву. Данное явление называется видимым скольжением.

Дополнительный эффект зажима приводит к увеличению тягового усилия ведущего шкива по сравнению с ведомым шкивом. Это также может было подтверждено H. Donandt в экспериментах. Однако этот эффект не имеет никакого значения для практического проектирования приводов канатов, потому что это всегда самый худший случай, который необходимо учитывать. Это также показывает, что расчет движущей силы по J. Eytelwein с постоянными коэффициентами трения позволяет только идеализировать вид процессов в системе тяги.

Проскальзывание – это процесс при котором канат на тяговом шкиве скользит по всему контуру. Теоретически проскальзывание происходит только, когда требуемое тяговое усилие больше доступной тяговой силы. Необходимая зона ползучести распространяется по всей дуге шкива, зона покоя отсутствует и, в результате, канат скользит по всей длине. Однако исследования M. Molkow показывают, что предел перехода к скольжению не может быть определен однозначно на основе расчета тяги. В отличие от идеализированного предположения о четко определенном пределе, скольжение начинается с отношения силы каната, которое меньше, чем определено в соответствии с расчетом движущей силы.

Піднімально-транспортні машини

На рис. 2 показаны различные типы проскальзывания для канатного шкива с клиновидной канавкой, согласно М. Molkow.

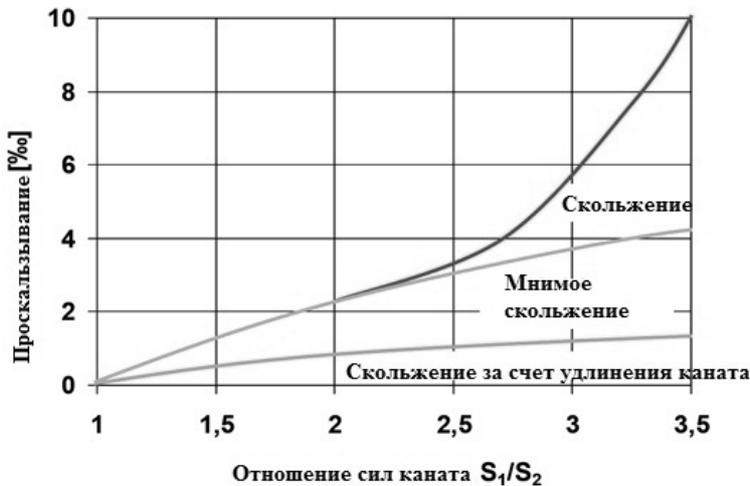


Рис. 2 – Типы проскальзывания согласно М. Molkow

Упомянутые типы проскальзывания обычно не встречаются индивидуально, они объединяются в общую форму. Специальной формой проскальзывания является так называемое принудительное скольжение. Оно встречается в шкивах с несколькими канавками, когда канавки имеют разный диаметр из-за неточностей изготовления или различного износа.

6. Тяговая способность

Тяговая способность – это усилие S , определяемое для любых схем нагружения ПТМ

$$S = S_{\max} - S_{\min}$$

Леонард Эйлер, исследуя корабельную задачу «Какое предельное усилие S_{\max} на одном конце каната, навитого вокруг деревянной сваи, может удерживать усилие S_{\min} на другом конце каната без проскальзывания каната по свае», установил зависимость, впоследствии названную в его честь – *коэффициентом Эйлера*:

$$e^{\mu\beta} = \frac{S_{\max}}{S_{\min}}$$

где e – основание натуральных логарифмов;

μ – коэффициент трения каната о сваю;

β – угол обхвата сваи канатом.

Этот коэффициент Эйлера так же называют «тяговым коэффициентом f » и используют его для определения тяговой способности, выполнив несложные преобразования выражения (3),

$$S = S_{\max} - S_{\min} = S_{\min} \frac{S_{\max} - S_{\min}}{S_{\min}} = S_{\min} \left(\frac{S_{\max}}{S_{\min}} - 1 \right) = S_{\min} (e^{\mu\beta} - 1)$$

Так как для разных схем нагружения тяговая способность разная, то и определять тяговый коэффициент Эйлера надо для каждой схемы нагружения.

При проектировании среди множества значений тягового коэффициента Эйлера наименьшим будет значение при наихудшем варианте нагружения условиях статического испытания, которому соответствует допустимое значение тягового коэффициента Эйлера [4].

Рассмотрим на примере лифта:

$$\left[e^{\mu\beta} \right] = \frac{S_{MAX}}{S_{MIN}}$$

где $S_{MAX} = (1,5...2)Q + G_{каб} + G_{кан}$

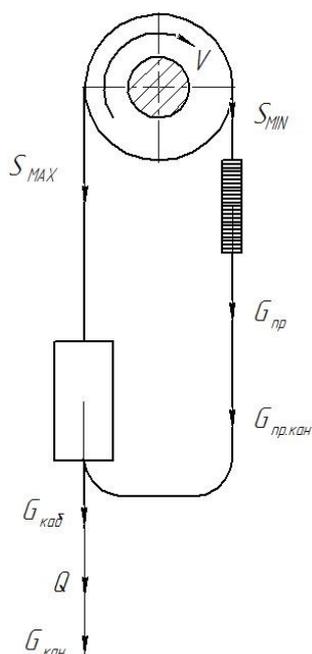


Рис. 3 – Испытательное положение лифта

$$S_{MIN} = G_{пр} + G_{пр.кан}$$

Тогда, чтобы проверить работоспособность лифта при других возможных i -тых схемах нагружения, достаточно будет сравнить их «непредельные» тяговые коэффициенты Эйлера $e_i^{\mu\beta}$ с допустимым $[e_i^{\mu\beta}]$ и проверить выполнение условия

$$e_i^{\mu\beta} \geq [e_i^{\mu\beta}]$$

Данное условие чётко и определённо ограничивает тяговую способность, в результате проскальзывание будет отсутствовать, чем гарантированно обеспечивается работоспособность при любых вариантах нагружения, а также упрощается представление, опытное определение, проверку и регулировку.

Выводы

Стальные канаты широко применяются в подъемно-транспортных машинах в качестве грузовых, стреловых, вантовых, тяговых, несущих и чалочных. Существует множество причин интенсивного изнашивания и повреждения канатов, одной из которых является проскальзывание каната на блоке при его огибании.

Независимо от направления вращения, канат всегда скользит в направлении большей силы. Возникающие силы в канате не изменяются в зоне относительного покоя, но резко меняются в зоне ползучести.

Специальной формой проскальзывания является так называемое принудительное скольжение. Оно встречается в шкивах с несколькими канавками, когда канавки имеют разный диаметр из-за неточностей изготовления или различного износа.

Тяговая способность – это усилие, определяемое для любых схем нагружения ПТМ. Для определения используют коэффициент Эйлера. Среди множества значений тягового коэффициента Эйлера наименьшим будет значение при наихудшем варианте нагружения условиях статического испытания, которому соответствует допустимое значение тягового коэффициента Эйлера.

Список использованных источников:

1. Хайманс Ф. Современный лифт с приводом от шкива / Ф. Хайманс, А. В Хелборн. – Берлин : Springer Verlag, 1927.
2. Атропс Г. Кривая силы и растяжение в петле / G. Atrops тезис, тезис TH Aachen, 1960.
3. Molkow M. Die Treibfähigkeit von gehärteten Treibscheiben mit Keilrillen : diss. / M. Molkow ; Universität Stuttgart. – Stuttgart, 1982.
4. Федосеев В. Н. Безопасная эксплуатация лифтов / В. Н. Федосеев, Г. К. Гончаров. – М. : Стройиздат, 1987. – 256 с.

References

1. Khaymans, F & Khelborn, A 1927, *Sovremenny lift s privodom ot shkiva*, Springer Verlag, Berlin.
2. Atrops, G 1960 *Krivaya sily i rastyazheniye v petle*, TH Aachen.
3. Molkow, M 1982 *Die Treibfähigkeit von gehärteten Treibscheiben mit Keilrillen*, Universität Stuttgart, Stuttgart.
4. Fedoseyev, V & Goncharov, G 1987, *Bezopasnaya ekspluatatsiya liftov*, Stroyizdat, Moskva.

Стаття надійшла до редакції 31 травня 2018 р.