

component of reaction forces.

It has been established that it is advisable to model the impact components of the foot reaction forces using generalized Hermite functions, and to model the rolling phase of the foot with a twisted elastic reinforced cylinder.

A method for calculating reactive force impulses in each phase of the elastic-frictional interaction of the foot with the supporting surface has been developed, and a mechanism for the formation of transverse reaction forces of the foot when walking has been established.

The results of this research are used in the development of mechatronic ankle orthoses. They are aimed at developing methods for assessing and identifying flat feet in the early stages of development with the prospect of constructing rehabilitation maps.

Key words: ankle joint, foot, interaction phases, tangential transverse forces, elastic-helical roll.

УДК 620.199

doi: 10.18720/SPBPU/2/id24-225

В.П. Головин, В.Ю. Шолом, О.Л. Крамер, А.С. Трофимов, А.Н. Абрамов
«Хозрасчетный творческий центр Уфимского авиационного института»,
Г. Уфа, Россия, golovin_vasy@mail.ru

РАСШИРЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРОБЕЖНОЙ МАШИНЫ ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ КАНАТНЫХ СМАЗОК

Аннотация

В работе представлены сравнительные испытания стальных канатов, пропитанных смазочными материалами, на износостойкость по трем различным методам, с использованием пробежной машины, изготовленной по ГОСТ 2387-80. Показано, что разработанные методы испытаний по оценке износостойкости стального каната, позволяют при минимальных затратах оценить влияние смазочного материала на стальной канат, работающий в различных условиях эксплуатации. В результате проделанной работы, разработан новый состав канатной смазки для пропитки стального каната, эксплуатирующегося в морской воде и при отрицательных температурах, позволяющий увеличить износостойкость стального каната, тем самым продлить его срок службы и снизить эксплуатационные затраты в целом.

Ключевые слова: канатная смазка; износостойкость; стальной канат; испытания; пробежная машина.

Введение

Тростниковая веревка, как прототип стального каната, впервые была применена в Древнем Египте при строительстве пирамид. Со времени своего появления, изменение конструкции и материала веревки были направлены на укрепление и увеличение долговечности данного изделия. В период первой промышленной революции усовершенствования были достигнуты во всех областях машиностроения, а в горно – металлургическом промысле, одним из важных событий, стало применение стального каната.

Наиболее известным является факт применения стального каната в качестве

подъемного на шахте «Clausthal» в 1834 году немецким инженером Вильгельмом Августом Юлиусом Альбертом. Это был трехрядный канат односторонней свивки конструкции 3x4 (0+4) из проволок диаметром 3,5 мм. Интересно, что канат был поставлен на шахту только после усталостных испытаний, поэтому Альберта можно считать и первым исследователем стальных канатов.

На тот момент, стальной канат, оказался намного лучше веревок из конопли или металлических цепей, применяемых в горнодобывающей промышленности.

Обладая особыми свойствами и преимуществом перед аналогичными конструкциями, стальной канат находил все большее применение в различных областях промышленности. На данный момент стальной канат применяется во всех отраслях промышленности, транспорте, строительстве и т.д. По мере расширения областей применения стального каната, совершенствовалась и его конструкция, а также возникала необходимость в проверке качества изготовления стального каната, его техническое обслуживание во время эксплуатации и увеличение его срока службы [1-7].

Сегодня, российская промышленность выпускает порядка 40 типов стальных канатов, по различным ГОСТам или ТУ, и по своей конструкции могут сильно отличаться друг от друга. Но не зависимо от конструкции стального каната, основными составляющими элементами являются: проволока, пряди, сердечник и смазка.

Канатная смазка играет огромную роль в составе конструкции стального каната, смазка уменьшает трение между стальным канатом и блоками при передвижении, а также отдельными элементами каната (проволока и пряди), предохраняет от воздействия коррозии и защищает от внешних негативно воздействующих факторов, тем самым увеличивая срок службы стального каната.

Цель работы заключается в сопоставление износостойкости стального каната, пропитанного смазочным материалом, эксплуатирующего в различных условиях эксплуатации.

Методы и материалы

Стальной канат является сложной, неремонтопригодной металлоконструкцией, математический расчет долговечности которой крайне затруднителен. Натурное испытание конструкции стального каната на износостойкость, включая испытание различных смазочных материалов, является чрезвычайно дорогостоящим и длительным процессом, поэтому целесообразно проводить такие испытания в лабораторных условиях, создавая условия, максимально приближенные к реальным условиям эксплуатации стального каната.

ГОСТ 2172-80 «Канаты стальные авиационные. Технические условия (с Изменениями № 1-5)» предусматривает при приемке стального каната его испытание на выносливость по ГОСТ 2387-80 «Канаты стальные. Методы испытания на выносливость» [8,9]. Данный метод заключается в испытании стального каната на установке, по предложенной схеме (рис.1), с определенным натяжением ветви каната и диаметром сменного ролика, в зависимости от диаметра каната. В зависимости от требований стандартов на металлопродукцию испытание проводят:

- до обрыва первой проволоки образца;
- до заданного числа обрывов проволок на длине одного шага свивки образца;
- до заданного числа изгибов образца вокруг сменного ролика;

- до полного разрушения образца каната.

В целях расширения функциональных возможностей установки и проведения испытаний стальных канатов на выносливость в условиях близких к реальным условиям эксплуатации, сотрудники технопарка «ХТЦ УАИ - Росойл» предлагают способ и устройство для испытания стальных канатов на выносливость в жидких агрессивных средах, при повышенных или пониженных температурах [11].

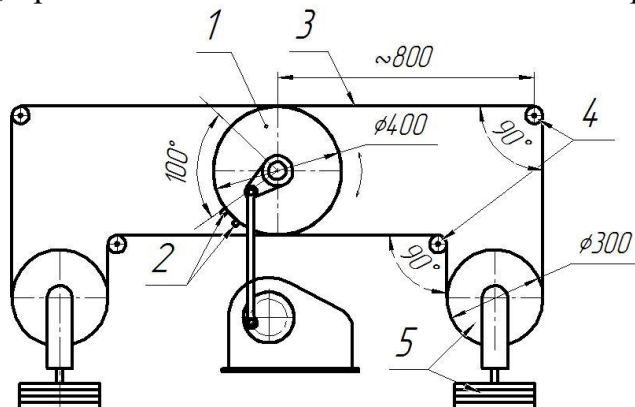


Рисунок 1 – Схема машины для испытания стальных канатов на выносливость.
1 – ведущий барабан, 2 – зажимы, 3 – испытываемый образец, 4 – сменные ролики, 5 – грузовой ролик с грузом.

Суть метода испытания стальных канатов на выносливость в жидких агрессивных средах заключается в том, что установка дополнительно оснащается направляющим роликом и съемной емкостью, в которую заливается жидкая среда, например, пресная или соленая вода (Рис. 2).

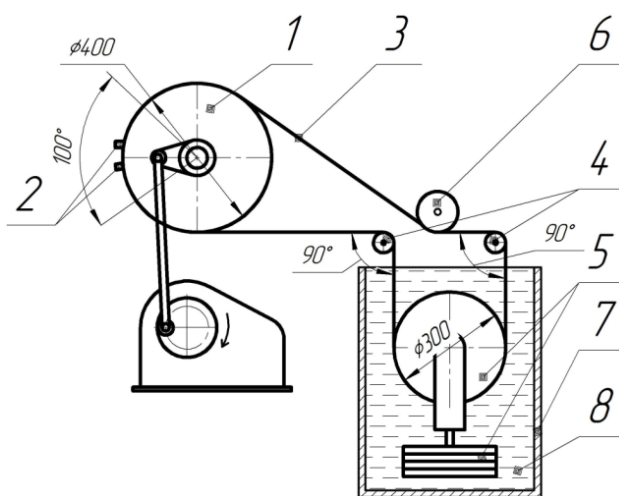


Рисунок 2 – Схема машины для испытания канатов на выносливость в жидких средах:
1 – ведущий барабан, 2 – зажимы для крепления образца каната, 3 – образец каната, 4 – сменные ролики, 5 – грузовой ролик с грузом, 6 – направляющий ролик, 7 – съемная емкость, 8 – жидкая среда

Для испытания стальных канатов на выносливость при повышенных или пониженных температур, установку помещают в термо-холод камеру, где все время испытания поддерживается заданная температура, например, +60 или -60°C.

Данный подход позволяет при минимальных затратах оценить влияние конструкции или смазочного материала на износостойкость стального каната в различных условиях эксплуатации, в наибольшей степени отражая реальную долговечность стального каната при эксплуатации [10-13].

Для изучения износостойкости стального каната в различных условиях

эксплуатации, на дочернем предприятии ПАО «Мечел» был заказан стальной канат марки 5,6-Г-1-Н-Р-1770 изготовленный по ГОСТ 2688-80 «Канаты двойной свивки типа ЛК-Р 6×19(1+6+6/6)+1 о.с. Сортамент» [14,15], при его изготовлении, на сердечник, пряди и канат в целом смазочный материал не наносился. Данный тип каната был выбран исходя из его большой области применения и классической схемой стального каната.

Для изучения влияния смазочных материалов на износостойкость стального каната была использована канатная смазка Росойл - Торсиол-35 изготовленная в соответствии с ТУ 0254-076-06377289-2012 и являющаяся аналогом смазки Торсиол-35У, наиболее широко распространенной и зарекомендовавшей себя в нашей стране, являющаяся наиболее универсальным смазочным материалом стальных канатов, а также новый смазочный материал, разработанный при помощи предлагаемого подхода, предназначенный для пропитки стальных канатов эксплуатирующихся при отрицательных температурах и воздействии морской воды.

Стоит отметить, что для создания нового состава канатной смазки, сначала были исследованы и выявлены различные компоненты канатных смазок, увеличивающие износостойкость стального каната в различных условиях эксплуатации, в результате чего и был получен опытный образец канатной смазки

Результаты и обсуждение

Первая серия испытаний была проведена в нормальных климатических условиях по схеме, соответствующей ГОСТ 2387-80 «Канаты стальные. Методы испытания на выносливость», испытательные режимы выбраны по ГОСТ 2172-80 «Канаты стальные авиационные. Технические условия (с Изменениями № 1-5)» для стального каната диаметром 5,6 мм.

Так как усталостные испытания характеризуются большим разбросом результатов, то для изучения износостойкости стального каната с различными смазочными материалами, испытывались по 10 образцов, и замерялось число изгибов стального каната о рабочий ролик до полного разрушения каната. Результаты испытаний первой серии приведены в табл. 1.

Таблица 1– Результаты сравнительных испытаний стального каната на износостойкость по ГОСТ 2387-80

| Показатель | | Канат без смазки | Канат пропитан Росойл-Торсиол - 35 | Канат пропитан разработанным составом |
|---|---------------------------------|------------------|------------------------------------|---------------------------------------|
| Количество изгибов образца до полного разрушения каната | X_{max} | 179 753 | 550 903 | 342 367 |
| | X_{min} | 126 056 | 336 604 | 207 055 |
| | \bar{X} | 152 282 | 405 754 | 258 073 |
| Отношение изгибов | X_{max}/X_{min} | 1,43 | 1,64 | 1,65 |
| | $\bar{X}/\bar{X}_{без\ смазки}$ | 1,00 | 2,66 | 1,69 |
| Относительная погрешность результатов измерений, % | | 9,22 | 10,46 | 12,29 |
| Результат испытаний (истинное значение) | | 152 300 ± 14 000 | 405 700 ± 42 400 | 258 100 ± 31 700 |

Статистическая обработка результатов испытаний производилась в соответствии с п.4.2 ГОСТ-Р 8.736-2011 «Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений».

Так как стальной канат во многих случаях используется в составе машин и

механизмов, работающих на улице, то неизбежно подвержен воздействию отрицательных температур. Поэтому, вторая серия испытаний проводилась в термохладо камере, при температуре окружающего воздуха минус 60°C. Результаты испытаний приведены в табл. 2.

Таблица 2 – Результаты сравнительных испытаний на износостойкость по ГОСТ 2387-80 в климатической камере при температуре минус (60±2) °С

| Показатель | | Канат без смазки | Канат пропитан Росойл-Торсиол - 35 | Канат пропитан разработанным составом |
|---|---------------------------------|------------------|------------------------------------|---------------------------------------|
| Количество изгибов образца до полного разрушения каната | X_{max} | 148 928 | 276 374 | 338 056 |
| | X_{min} | 124 608 | 209 196 | 208 825 |
| | \bar{X} | 136 824 | 239 192 | 261 220 |
| Отношение изгибов | X_{max}/X_{min} | 1,19 | 1,32 | 1,62 |
| | $\bar{X}/\bar{X}_{без\ смазки}$ | 1 | 1,74 | 1,91 |
| Относительная погрешность результатов измерений, % | | 4,31 | 7,61 | 11,23 |
| Результат испытаний (истинное значение) | | 136 800 ± 5 900 | 239 200 ± 18 200 | 261 200 ± 29 300 |

Все стальные канаты подвергаются воздействию влаги, а в определенных случаях и влажному морскому воздуху, являющейся агрессивной средой для стали, вызывающей коррозию, и снижающая износостойкость стального каната. Поэтому, третью серию испытаний проводили при воздействии на стальной канат морской воды (5% водный раствор NaCl). Результаты испытаний приведены в табл. 3.

Таблица 3 – Результаты сравнительных испытаний на износостойкость по ГОСТ 2387-80 с периодическим окунанием в коррозионно-активную среду (5% NaCl)

| Показатель | | Канат без смазки | Канат пропитан Росойл-Торсиол - 35 | Канат пропитан разработанным составом |
|---|---------------------------------|------------------|------------------------------------|---------------------------------------|
| Количество изгибов образца до полного разрушения каната | X_{max} | 44 065 | 57 551 | 137 216 |
| | X_{min} | 36 318 | 48 673 | 105 642 |
| | \bar{X} | 40 492 | 53 412 | 120 413 |
| Отношение изгибов | X_{max}/X_{min} | 1,21 | 1,18 | 1,30 |
| | $\bar{X}/\bar{X}_{без\ смазки}$ | 1 | 1,32 | 2,97 |
| Относительная погрешность результатов измерений, % | | 4,97 | 4,13 | 6,10 |
| Результат испытаний (истинное значение) | | 40 500 ± 2 000 | 53 400 ± 2 200 | 120 400 ± 7 300 |

Как видно по результатам проделанной работы, применение смазочного материала увеличивает износостойкость стального каната, эксплуатирующегося в различных условиях эксплуатации, по отношению к несмазанному канату.

Заключение

Разработанные методы испытаний по оценке износостойкости стального каната, позволяет при минимальных затратах оценить влияние смазочного материала на стальной канат, работающий в различных условиях эксплуатации. Было выявлено, что при нормальных климатических условиях, износостойкость

стального каната, пропитанным разработанным составом, увеличивается в 2 раза, а каната, пропитанного смазкой Росойл-Торсиол-35 – почти в 3 раза, по отношению к несмазанному канату.

При температуре окружающего воздуха минус 60 °С, пропитка каната разработанным составом позволяет увеличить износостойкость стального каната в 1,85 раза, по отношению к несмазанному, в то время как пропитка смазкой Росойл-Торсиол-35 увеличивает в 1,74 раза. При воздействии на стальной канат морской воды, износостойкость увеличивается в 1,3 раза при пропитки смазкой Росойл-Торсиол-35, а при пропитки разработанным составом почти в 2,7 раза, по отношению к не смазанному канату.

Расширение возможностей пробежной машины позволяет не только проверить качество смазочного материала, но и разрабатывать новые составы, позволяющие максимально увеличивать долговечность стального каната, эксплуатирующегося в определенных условиях эксплуатации, тем самым продлить его срок службы и снизить эксплуатационные затраты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кошкин А.П. Канаты подъемных установок: учебное пособие / А.П. Кошкин, Г.Д. Трифанов. - 2-е изд. перераб. и доп. - Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политех. ун-та, 2014. - 107 с.
2. Мархель И.И. Крановые канаты. - М.: Машиностроение.- (1983).128 с.
3. Feyrer K. Wire Ropes. – Berlin-Heidelberg: Springer Verlag. - 2007. 322 с.
4. Mironenko A. and Shpakov I. Wire Ropes Condition Monitoring: Conception and Implementation// Proceedings of 19 Int. Conf.VVaPol. - Podbanske. - 2016, 7-13
5. Chaplin CR. Prediction of Fatigue Endurance of Wire Ropes Subject to Fluctuating Tension // OIPREES Bulletin. - 1995, no. 70, 31-40.
6. Глушко М.Ф. Стальные подъемные канаты. – Киев: Техника, 1966. – 317 с.
7. Тарасов В.В., Калентьев Е.А., Новиков В.Н. Стальные канаты. Расчет конструкций и оценка эксплуатационных свойств. – Ижевск: изд-во Института механики УрО РАН, 2015. – 280 с.
8. ГОСТ 2172-80 «Канаты стальные авиационные. Технические условия (с Изменениями № 1-5)» Москва, Издательство стандартов (1980).
9. ГОСТ 2387-80 «Канаты стальные. Метод испытания на выносливость». Москва, Издательство стандартов (1980).
10. Школьник Л.М. Методика усталостных испытаний. Москва, Металлургия, 1978. – 304 с.
11. Патент РФ №2640319 от 27.12.2017 Пат. 2463577 Российская Федерация, МКП:G01N19/02. Способ и устройство для испытания канатов на выносливость в жидких и агрессивных средах и при различных температурах/ Шолом В.Ю., Никольская В.В., Абрамов К.А. и др.;заявитель и патентообладатель ООО ХТЦ УАИ - №2016122006; заявл.02.06.2016;опубл. 27.12.2017.Бюл. № 20.
12. Шолом В. Ю., Крамер О. Л., Головин В. П., Корнилова О. П., Абрамов А.Н., Вагапов Р.Ф. Влияние смазочного материала на износостойкость стальных канатов, эксплуатирующийся в коррозионно-активных средах. Письма о материалах. 2021. Т.11. №2. С.125-128.
13. Шолом В.Ю., Крамер О.Л., Головин В.П., Абрамов А.Н., Вагапов Р.Ф. Методы испытаний низкотемпературных свойств смазочных материалов для канатов. Письма о материалах. 2021. Т.11. №2. С.187-191.
14. ГОСТ 3241-91 «Канаты стальные. Технические условия (с Изменениями №1, 2, 3)» Москва, Издательство стандартов (1991).
15. ГОСТ 2688-80 «Канаты двойной свивки типа ЛК-Р 6×19(1+6+6/6) +1 о.с.

Сортамент». Москва, Издательство стандартов (1980).

V.P. Golovin, V.Yu. Sholom, O.L. Kramer, A.S. Trofimov, T.I. Gilmanov
Self-Supporting creative center of Ufa aviation institute,
Ufa, Russia, golovin_vasy@mail.ru

EXPANDING THE CAPABILITIES OF THE RUNNING MACHINE FOR TESTING ROPE LUBRICANTS

Abstract

The paper presents comparative tests of steel ropes impregnated with lubricants for wear resistance by three different methods, using a running machine manufactured according to GOST 2387-80. It is shown that the developed test methods for assessing the wear resistance of a steel rope make it possible to assess the effect of a lubricant on a steel rope operating in various operating conditions at minimal cost. As a result of the work done, a new composition of rope lubricant has been developed for impregnating steel rope operated in sea water and at negative temperatures, which makes it possible to increase the wear resistance of the steel rope, thereby extending its service life and reducing operating costs in general.

Key words: cable compound; wearability; steel rope; test; running machine.

УДК 621.892

doi: 10.18720/SPBPU/2/id24-226

А.О. Поздняков^{1,2}, Е.Б. Седакова²

¹ ФГБУН Физико-Технический Институт им. А.Ф. Иоффе РАН,
ул. Политехническая, д. 26, г. Санкт-Петербург 194021, Россия

² Институт проблем машиноведения РАН,
В.О. Большой просп., д. 61, г. Санкт-Петербург, 199178, Россия
Санкт-Петербург, Россия, ao.pozd@mail.ioffe.ru

ТЕПЛОВЫЙ АНАЛИЗ ИЗНАШИВАНИЯ ПАР ТРЕНИЯ ПОЛИМЕР-ПОЛИМЕР В ГЕОМЕТРИИ УПОРНОГО ПОДШИПНИКА

Аннотация

Проведено исследование трения и изнашивания пар трения полиоксиметилен-полиоксиметилен и политетрафторэтилен-политетрафторэтилен с одновременным контролем вызываемого трением уровня разогрева. Данные проанализированы с помощью решений тепловой задачи, получаемых методом конечных элементов [1], в использованной геометрии типа упорного подшипника. Точность решений предварительно проверена их сравнением с известными аналитическими решениями уравнений диффузии [2]. Развитый подход применен для сопоставления изнашивания чистого полиоксиметилена и его композита с фуллереном C₆₀, а также трения этих полимеров относительно стали.

Введение

Анализ трения пар полимер-полимер необходим не только для понимания его механизмов в этих парах, но и в парах трения полимеров относительно других