

В.П. Головин¹, Т.И. Гильманов^{1,2}, В.Ю. Шолом¹, Ф.Н. Фазлиахметов¹

¹Технопарк «ХТЦ УАИ – Росойл», Уфа, Россия

²Уфимский Университет Науки и Технологий, Уфа, Россия

e-mail: rosoil@rosoil.ru

ВЛИЯНИЕ СМАЗОЧНОГО МАТЕРИАЛА, ВНЕШНИХ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ И СОДЕРЖАНИЯ ОЦИНКОВАННЫХ ПРОВОЛОЧЕК НА ДОЛГОВЕЧНОСТЬ СТАЛЬНОГО КАНАТА

Аннотация

В работе представлены результаты исследования долговечности стального каната в различных условиях эксплуатации, в зависимости от количества оцинкованных проволок, содержащихся в конструкции каната, а также влияние смазочного материала. Выявлено, что с увеличением содержания количества оцинкованных проволок в конструкции смазанного стального каната, его износостойкость увеличивается при воздействии коррозионно – активной среды и в нормальных климатических условиях, а при воздействии температуры минус 60°C уменьшается. Смазочный материал увеличивает ресурс каната в различных условиях эксплуатации, не зависимо от конструкции каната, только при воздействии агрессивной среды результаты испытаний оцинкованного каната показали отрицательный результат.

Ключевые слова: канатная смазка, износостойкость, долговечность, стальной канат.

Введение

На сегодняшний день стальной проволочный канат используется в качестве гибкой тяги в подъёмно – транспортных механизмах машин. Основным требованием, предъявляемым к стальному канату, является его надёжность в период эксплуатации на протяжении всего рабочего ресурса. Поэтому постоянно продолжаются исследования в области разработки новых конструкций стальных канатов и технологий их изготовления, с целью увеличения его ресурса. Одновременно продолжают работы по совершенствованию нормативно – технической документации по производству и эксплуатации стальных канатов [1-8].

В настоящее время, в соответствии с техническими условиями, стальной канат изготавливается из проволоки без покрытия или оцинкованной проволоки. В тоже время, в канатах из проволоки без покрытия допускается замена проволок внутреннего слоя, центральных проволок и проволок сердечника оцинкованными проволоками соответствующего диаметра [9]. При этом оцинкованная проволока должна удовлетворять требованиям, предъявляемым к проволоке без покрытия. В канатах из оцинкованной проволоки замена оцинкованных проволок проволоками без покрытия не допускается.

В связи с чем, при заказе каната требуемой марки, например 5,6-Г-1-Н-Р-1770 по ГОСТ 2688 – 80 [10], потребитель может получить от производителя как канат изготовленный полностью из проволоки без покрытия, так и канат содержащий во внутреннем слое конструкции оцинкованные проволоки.

Поэтому, **целью работы** является определение долговечности стального каната различной конструкции, в зависимости от условий эксплуатации и влияние смазочного материала Торсиол – 35, применяемого для пропитки стальных канатов при изготовлении.

Методы и материалы

Ресурсные испытания стальных канатов, является дорогостоящим и длительным процессом, поэтому целесообразно проводить такие испытания в лабораториях, создавая условия, максимально приближенные к реальным условиям эксплуатации стального каната.

Для проведения сравнительных испытаний были заказаны 3 бухты каната диаметром 5,6 мм, изготовленного в соответствии с ГОСТ 2688 – 80. При их изготовлении, пряди, сердечник, межпрядные и межпроволочные пространства не смазывались и не пропитывались смазочным материалом. Отличие бухты № 1 от бухты № 2 состоит в том, что бухта № 2 во внутреннем слое прядей содержит проволоки с цинковым покрытием, а бухта №3 изготовлена полностью из оцинкованных проволок (рис. 1).

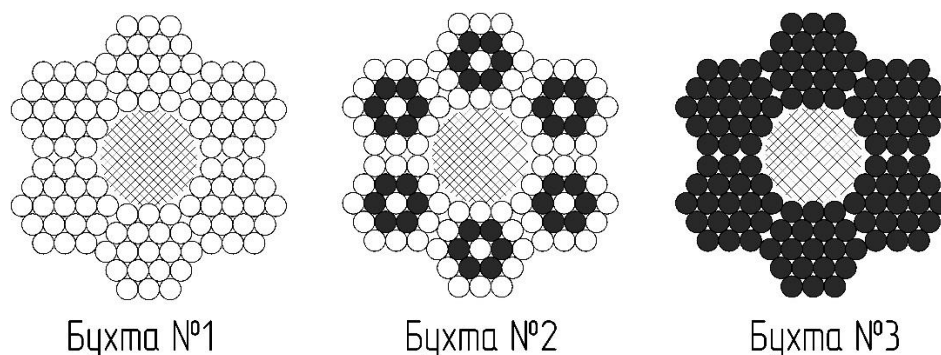


Рисунок 1 – Конструкция каната $\varnothing 5,6$ мм изготовленного в соответствии с ГОСТ 2688–80: ○ — проволока без покрытия; ■ — проволока с цинковым покрытием

Перед испытаниями, образцы стального каната, взятые с разных бухт, были проверены на соответствие ГОСТ 2688 – 80. Проведены замеры диаметров проволок, содержащихся в канате и их количество, а также разрывное усилие каната в целом, на соответствие маркировочной группе. Все полученные значения соответствуют требованиям ГОСТ 2688 – 80. Часть образцов пропитывалась смазочным материалом методом окунания, при температуре на 20°C выше температуры каплепадения смазочного материала в течение двух часов с последующей выдержкой на воздухе при температуре $(20 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ в течении 24 часов.

В качестве смазочного материала был выбран «Торсиол – 35» широко применяемый металлургическими предприятиями России для пропитки стальных канатов при их изготовлении.

Образцы стального каната испытывались на выносливость на пробегной машине, по схеме согласно ГОСТ 2387 – 80 «Канаты стальные. Методы испытания на выносливость» [11], при возвратно-поступательном перемещении образца с частотой 120 колебаний в минуту на длине 350 мм. Нагрузка на одну ветвь каната составляла 245 Н. Сменные ролики, диаметром 55 мм обеспечивали изгиб образца на 90° . Диаметр сменных роликов и нагрузка на одну ветвь каната выбирались в соответствии с ГОСТ 2172 – 80 «Канаты стальные авиационные. Технические условия». Испытания проводились без перерыва до полного разрушения образца,

фиксировалось количество перегибов образца каната. Схема машины представлена на рис. 2.

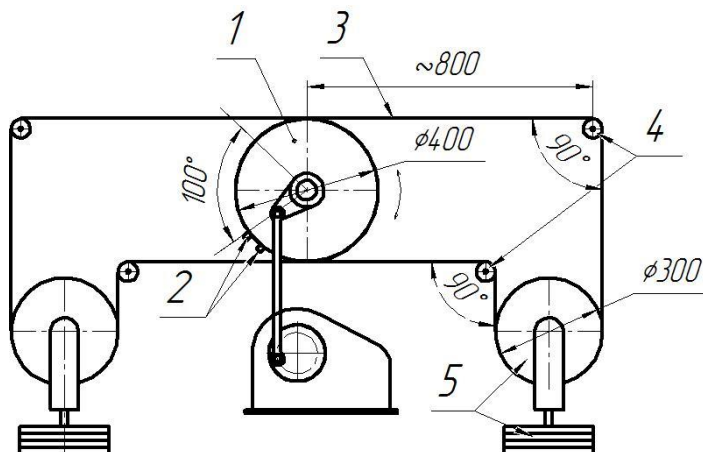


Рисунок 2 – Схема машины для испытания стальных канатов на выносливость.
1 – ведущий барабан, 2 – зажимы, 3 – испытуемый образец, 4 – сменные ролики, 5 – грузовой ролик с грузом.

Поскольку ГОСТ 2387 – 80 «Канаты стальные. Метод испытания на выносливость» не устанавливает требования по поддержанию определенной температуры и влажности окружающего воздуха, испытания проводились в помещении, где температура и относительная влажность в течении суток менялась в диапазоне $(15 - 25)^\circ\text{C}$ и $(20 - 70)\%$ соответственно.

Для проведения сравнительных испытаний стального каната на выносливость при отрицательных температурах пробегная машина была установлена в термо – холодо – камеру, где в течение всего периода испытаний поддерживалась температура минус $(60 \pm 5)^\circ\text{C}$ [12].

Сравнительные испытания образцов стального каната на выносливость при периодическом воздействии 5% водного раствора NaCl проводились по методике, изложенной в [13], согласно которой моделировалось воздействие коррозионно – активной среды, периодическим окунанием испытуемого участка каната в раствор при каждом цикле испытания. Для этого пробегная машина дополнительно оснащена направляющим роликом и ёмкостью с жидкостью (рис. 3).

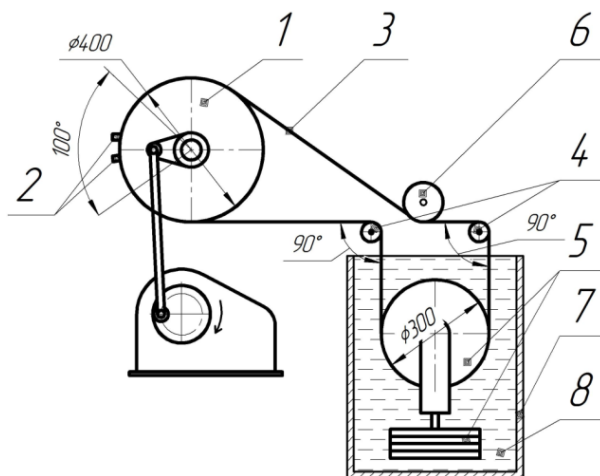


Рисунок 3 – Схема машины для испытания канатов на выносливость в жидких средах: 1 – ведущий барабан, 2 – зажимы для крепления образца каната, 3 – образец каната, 4 – сменные ролики, 5 – грузовой ролик с грузом, 6 – направляющий ролик, 7 – съемная емкость, 8 – жидкая среда

Данные испытания позволяют при минимальных затратах оценить различные конструкции и влияние смазочного материала на долговечность стального каната при воздействии различных внешних факторов, имитирующих различные условия эксплуатации, в наибольшей степени отражая реальный ресурс стального каната при эксплуатации [14-15].

Учитывая большой разброс результатов измерений, характерный для усталостных испытаний, испытывались по 15 образцов каждой конструкции каната. Статистическая обработка результатов испытаний производилась в соответствии с п.4.2. ГОСТ – Р 8.736 – 2011 «Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений», с доверительной вероятностью 0,95.

Результаты и обсуждение

Средние результаты сравнительных испытаний, проведенных в нормальных климатических условиях, по схеме, соответствующей ГОСТ 2387 – 80 представлены на рис. 4.

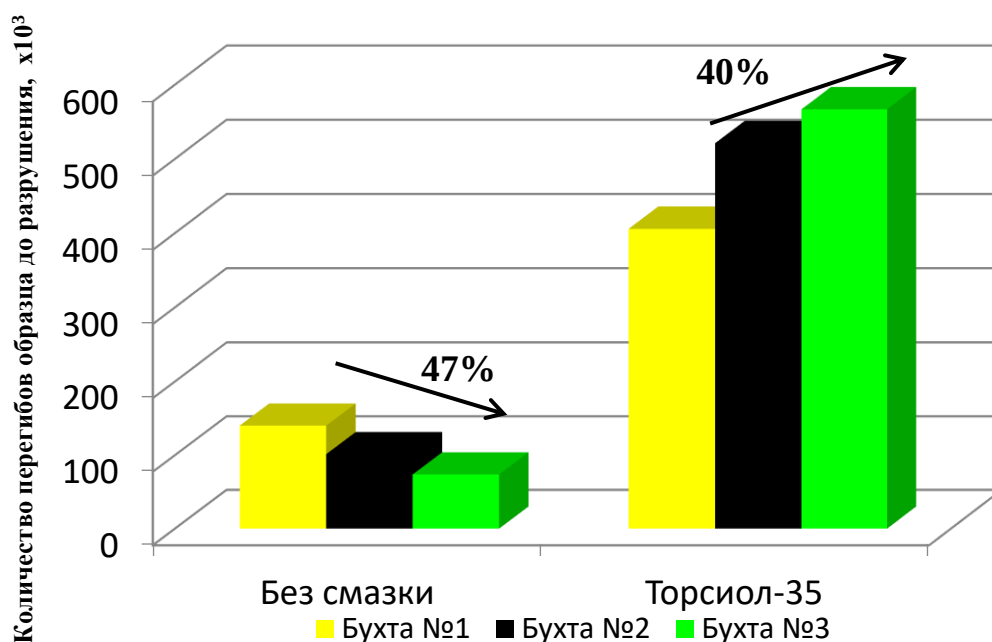


Рисунок 4 – Средние результаты сравнительных испытаний стального каната на выносливость по ГОСТ 2387 – 80

С введением, и увеличением количества проволок с цинковым покрытием в стальном канате, его долговечность снижается почти в два раза, при испытании несмазанного каната, в тоже время результаты испытаний каната, пропитанного смазкой Торсиол – 35, в нормальных климатических условиях, показывают обратную зависимость: долговечность оцинкованного каната выше на 40% чем у каната изготовленного из проволок без покрытия. Также установлено, что смазочный материал способствует увеличению долговечности стального каната минимум в 3,4 раза, по отношению к несмазанному канату, не зависимо от его конструкции.

На рис. 5 представлены средние результаты сравнительных испытаний стального каната на выносливость по ГОСТ 2387 – 80 с периодическим окунанием в коррозионно – активную среду (5% NaCl).

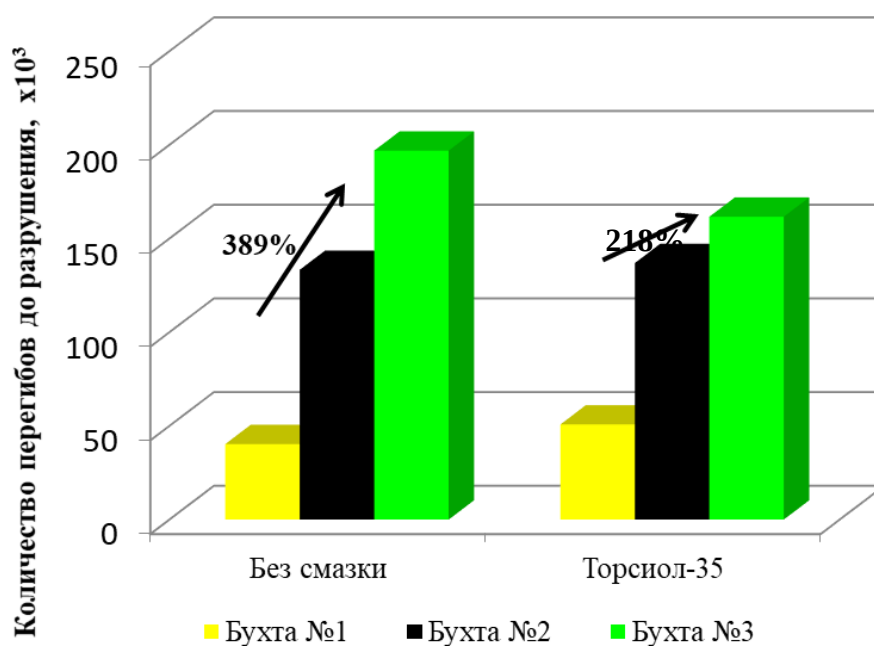


Рисунок 5 – Средние результаты сравнительных испытаний стального каната на выносливость по ГОСТ 2387 – 80 с периодическим окунанием в коррозионно – активную среду (5% NaCl)

Результаты испытаний показывают, что при воздействии на стальной канат коррозионно – активной среды, долговечность каната, изготовленного с добавлением во внутренний слой оцинкованных провололочек, увеличивается на 230% и 170% не смазанного и смазанного смазкой Торсиол – 35 соответственно. При испытании полностью оцинкованного, несмазанного каната, количество перегибов до разрушения увеличивается почти в пять раз, а при испытании смазанного каната – в 3 раза, по отношению к канату, изготовленному из проволок без покрытия.

На рис. 6 представлены средние результаты сравнительных испытаний стального каната на выносливость по ГОСТ 2387 – 80 в термо – холодо – камере при температуре минус $(60 \pm 5) ^\circ\text{C}$

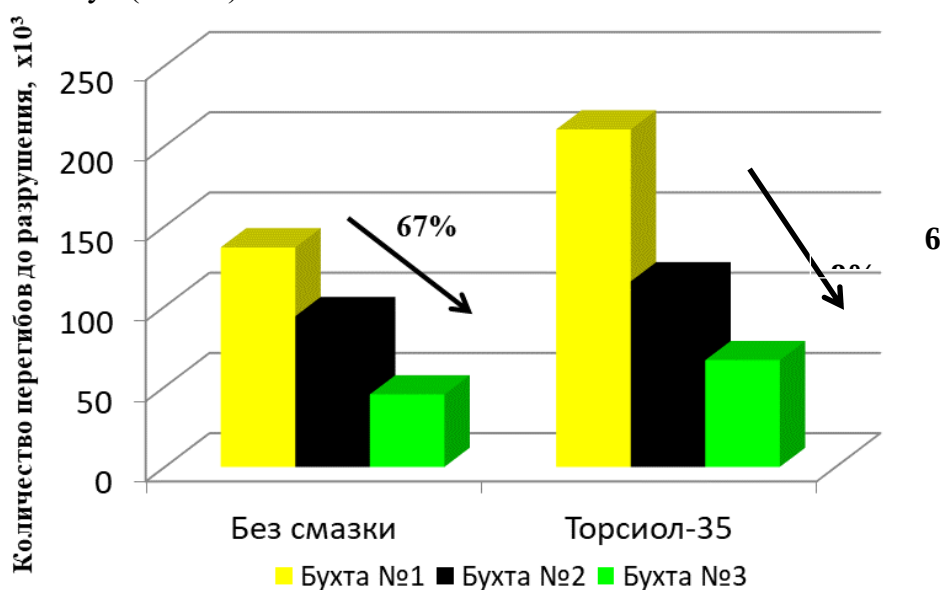


Рисунок 6 – Средние результаты сравнительных испытаний стального каната на выносливость по ГОСТ 2387-80 в термо – холодо – камере при температуре минус $(60 \pm 5) ^\circ\text{C}$

При испытании стального каната различной конструкции при температуре минус 60 °С выявлено, что с увеличением количества оцинкованной проволоки в стальном канате, уменьшается его долговечность. Не зависимо от того, смазан канат или нет, количество перегибов полностью оцинкованного каната до полного разрушения, уменьшается на 67%, по отношению к канату, изготовленному из проволок без покрытия, несмотря на это, смазочный материал способствует увеличению долговечности каната, изготовленного из проволок без покрытия в 1,5 раза, а из проволок с цинковым покрытием в 1,47 раза, по отношению к несмазанному канату.

Заключение

Не зависимо от внешних условий эксплуатации стального каната и его конструкции, смазочный материал способствует увеличению долговечности стального каната, только при воздействии коррозионно – активной среды, долговечность не смазанного оцинкованного каната выше на 22%, чем у смазанного каната, что возможно связано с неправильным выбором смазочного материала для пропитки каната, эксплуатирующегося в данных условиях.

Воздействие таких внешних факторов, как коррозионно – активная среда и отрицательная температура негативно влияют на ресурс стального каната. При воздействии коррозионно – активной среды долговечность смазанного стального каната, изготовленного из проволок без покрытия, уменьшается в 8 раз, а полностью оцинкованного каната в 3,5 раза, по отношению к испытаниям проведенных в нормальных климатических условиях. Результаты испытаний стального каната на выносливость при температуре минус 60 °С, показывают снижение долговечности почти в 2 и 8,5 раз смазанного стального каната, изготовленного из проволок без покрытия и полностью оцинкованного каната соответственно, по отношению к испытаниям проведенных в нормальных климатических условиях.

Экспериментально установлено, что замена во внутреннем слое стального каната проволок без покрытия на проволоки с цинковым покрытием, влияет на ресурс каната при эксплуатации, как в большую, так и в меньшую сторону, в зависимости от внешних эксплуатационных факторов. Если долговечность смазанного каната, изготовленного с добавлением во внутренний слой, проволок с цинковым покрытием, в нормальных климатических условиях увеличивается на 28%, а при воздействии коррозионно – активной среды на 170%, то при воздействии отрицательных температур, износостойкость данного каната уменьшается на 45%, по отношению к канату, изготовленному полностью из проволок без покрытия.

Авторы работы считают, учитывая разные области применения канатов, изготовленных из проволок без покрытия и оцинкованных, что производители канатов должны внести изменения в маркировку и классификацию канатов, при замене во внутреннем слое проволок без покрытия на проволоки с цинковым покрытием, так как долговечность такого каната изменяется в сторону результатов, полученных для оцинкованного каната, не зависимо от условий эксплуатации, что может привести к неожиданным и нежелательным последствиям для потребителей канатной продукции.

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. Глушко М.Ф. Стальные подъемные канаты. – Киев: Техника, 1966. – 317 с.
3. 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.
4. Мархель И.И. Крановые канаты. – М.: Машиностроение. (1983).128 с.
5. Feyrer K. Wire Ropes. – Berlin-Heidelberg: Springer Verlag. – 2007. 322 с.
6. Mironenko A. and Shpakov I. Wire Ropes Condition Monitoring: Conception and Implementation // Proceedings of 19 Int. Conf.VVaPol. – Podbanske. – 2016, 7-13.
7. Chaplin CR. Prediction of Fatigue Endurance of Wire Ropes Subject to Fluctuating Tension // OIPEEC Bulletin. - 1995, no. 70, 31-40.
8. Evans JJ., Ridge IML., and Chaplin CR. Wire Strain Variations in Normal and Overloaded Ropes in Tension-Tension Fatigue and Their Effect on Endurance // J. of Strain Analysis. – 2001 (36), no. 2, 219 – 230, and (36), no. 2, 231 – 244.
9. ГОСТ 3241 – 91 «Канаты стальные. Технические условия (с Изменениями N 1, 2, 3)». – М.: Издательство стандартов. – 1993.
10. ГОСТ 2688 – 80 «Канаты двойной свивки типа ЛК – Р 6х19 (1+6+6/6) +1 о.с. Сортамент» - М.: Издательство стандартов. – 1980.
11. ГОСТ 2387 – 80 «Канаты стальные. Метод испытания на выносливость». – М.: Издательство стандартов. – 1980.
12. Низкотемпературные свойства канатных смазок / В. П. Головин, В. Ю. Шолом, А. Н. Абрамов [и др.] // XII Всероссийский съезд по фундаментальным проблемам теоретической и прикладной механики : сборник трудов в 4-х томах, Уфа, 19–24 августа 2019 года. Том 4. – Уфа: Башкирский государственный университет, 2019. – С. 448-450. – EDN MIFJDG.
13. Влияние смазочного материала на износостойкость стальных канатов, эксплуатирующихся в коррозионно – активных средах / В. Ю. Шолом, О. Л. Крамер, В. П. Головин [и др.] // Письма о материалах. – 2021. – Т. 11, № 2(42). – С. 125-128. – DOI 10.22226/2410-3535-2021-2-125-128. – EDN MZBFLH.
14. Школьник Л.М. Методика усталостных испытаний. Москва. Металлургия, 1978. – 304 с.
15. Стендовые ресурсные испытания стальных канатов / А. Н. Абрамов, В. Ю. Шолом, О. Л. Крамер, В. П. Головин // Письма о материалах. – 2020. – Т. 10, № 2(38). – С. 195-199. – DOI 10.22226/2410-3535-2020-2-195-199. – EDN VLVOBX.

V.P. Golovin¹, T.I. Gilmanov^{1,2}, V.Yu. Sholom¹, A.N. Abramov¹, F.N. Fazliakhmetov¹
¹Technopark «SSCC UAI-ROSOIL», Ufa, Russia
²Ufa University of Science and Technology, Ufa, Russia
 e-mail: rosoil@rosoil.ru

EFFECT OF LUBRICANT, EXTERNAL OPERATING CONDITIONS AND GALVANIZED WIRE CONTENT ON THE DURABILITY OF STEEL WIRE ROPE.

Abstract

The paper presents the results of the study of durability of steel wire rope in different operating conditions, depending on the number of galvanized wires contained in the rope structure, as well as the influence of lubricant. It is revealed that with increasing the number of galvanized wires in the design of lubricated steel wire rope, its wear resistance increases under the influence of corrosive-active environment and in normal climatic conditions, and under the influence of temperature minus 60°C decreases. Lubricant increases the resource of rope in various operating conditions, regardless of the rope design, only under the influence of aggressive environment the results of tests of galvanized rope showed a negative result.

Keywords: rope lubricant, wear resistance, durability, steel rope.