

*В. П. Головин*

## МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ СМАЗОЧНОГО МАТЕРИАЛА НА ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ СТАЛЬНОГО КАНАТА

**Аннотация.** Приведены результаты испытаний различных канатных смазочных материалов для оценки их влияния на износостойкость стального каната. Исследование триботехнических свойств смазочных материалов производилось в соответствии с ГОСТ 9490-75 «Материалы смазочные жидкие и пластичные. Метод определения трибологических характеристик на четырехшариковой машине», а также по предложенной в работе экспериментальной методике. Влияние смазочного материала на износостойкость стального каната оценивалось по числу циклов перегиба каната до полного разрушения в соответствии с ГОСТ 2387-80 «Канаты стальные. Метод испытания на выносливость». Установлено, что наиболее корректным и достоверным методом оценки влияния смазочного материала на износостойкость стального каната является испытание образцов каната на пробегной машине.

**Ключевые слова:** износ, износостойкость, канатная смазка, стальной канат, испытания, пробегная машина.

**Для цитирования:** Головин, В. П. Методы оценки влияния смазочного материала на износостойкость стального каната / В. П. Головин // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2025 – № 3. – С. 197–204. – DOI 10.46973/0201-727X\_2025\_3\_197.

### **Введение**

Стальной канат относится к сложным металлоизделиям, основным браковочным фактором которых является количество оборванных проволок как во внутреннем, так и в наружном слое каната, обусловленное различными видами износа (механический, усталостный, фреттинг, абразивный, коррозионный и т. д.) [1–3].

С целью уменьшения трения и снижения износа стальных проволок каната при взаимодействии между собой и с блоками (шкивами), а также для его защиты от внешних факторов применяют смазочный материал, который способствует увеличению ресурса безотказной работы каната при эксплуатации [4–6].

Целью данной работы является изучение влияния смазочного материала на износостойкость стального каната.

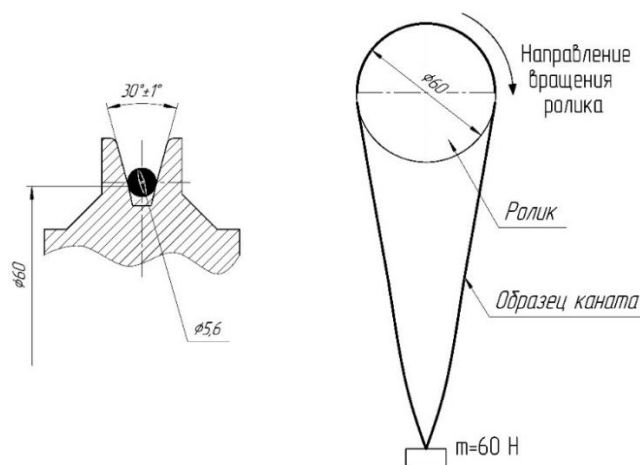
### **Методы и материалы**

Для данного исследования использовался стальной канат марки 5,6-Г-И-Н-Р-1770, изготовленный по ГОСТ 2688-80 «Канат двойной свивки типа ЛК-Р конструкции 6×19 (1+6+6/6)+1 о.с. Сортамент», как несмазанный, так и смазанный различными канатными смазками.

Для проведения настоящего исследования были отобраны канатные смазочные материалы отечественных и зарубежных производителей, широко используемые на российских предприятиях и полностью соответствующие требованиям нормативно-технической документации.

На первом этапе определялись триботехнические характеристики канатных смазочных материалов в соответствии с ГОСТ 9490-75 «Материалы смазочные жидкие и пластичные. Метод определения трибологических характеристик на четырехшариковой машине». Сущность метода заключается в испытании смазочного материала в узле трения, представляющем собой пирамиду из четырех контактирующих друг с другом стальных шариков.

Так как в ходе исследования указанным методом фиксируется линейный износ поверхностей шариков, изготовленных из стали ШХ-15, то дополнительно, для исследования влияния смазочного материала на износ проволок стального каната, было смоделировано трение скольжения натурального образца стального каната по ролику, изготовленному из чугуна марки СЧ-15 (материал канатных блоков), которое неизбежно возникает при прохождении каната по роликам (шкивам) во время эксплуатации. Конструкция ролика и схема испытаний представлены на рис. 1. При этих испытаниях канат остается неподвижным, а ролик (шків) вращается с заданной скоростью. Таким образом, моделируется линейное перемещение поверхности ролика по отношению к поверхности каната, т. е. трение скольжения.

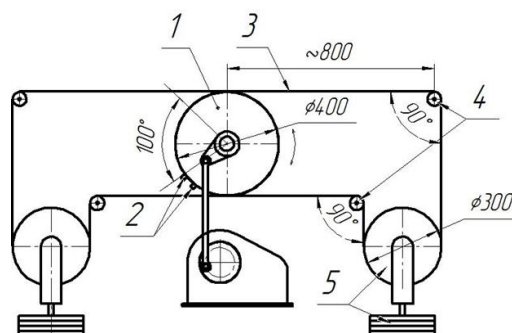


**Рис. 1. Конструкция ролика и схема испытаний**

Данные испытания проводились при скорости вращения ролика 48 об/мин и нагрузке на одну ветвь каната 30 Н в течение одного часа. Эффективность влияния смазочного материала на износ проволок стального каната оценивалась по площади износа стальной проволоки каната, взаимодействующей с боковой поверхностью ролика, расположенной к ней под углом  $16^\circ$  и имеющей максимальный износ при испытаниях.

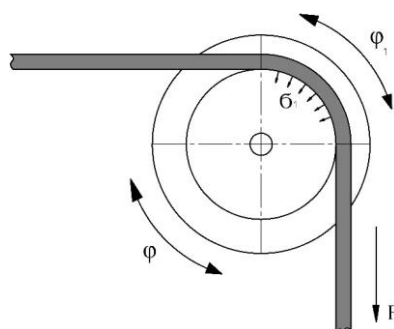
Результаты испытаний противоизносных свойств различных смазочных материалов на четырехшариковой машине трения (ЧМТ) и по предложенной методике не могут отражать их влияние на все виды износа, возникающие при эксплуатации стального каната в реальных условиях, так как в натуральных условиях на каждую проволоку каната действуют одновременно или последовательно напряжения растяжения и сжатия, изгиба и кручения, как статические, так и динамические нагрузки. Трение происходит между проволоками внутри пряди, между прядями внутри каната и каната о блок (барабан, шкив). Учитывая малые относительные перемещения трущихся поверхностей, можно говорить о фреттинг-износе проволок каната, а знакопеременные нагрузки приводят к усталостному износу, одновременно происходит и коррозионно-механический износ [7–9].

Поэтому для изучения влияния смазочного материала на износ стального каната при эксплуатации были проведены дополнительные испытания стального каната на пробегной машине в соответствии с ГОСТ 2387-80 «Канаты стальные. Метод испытания на выносливость». При скорости вращения барабана 120 колебаний в минуту, обеспечивающей возвратно-поступательное перемещение образца на длине примерно 350 мм, нагрузка на одну ветвь каната составляла 245 Н. Сменные ролики диаметром 55 мм обеспечивали изгиб образца на  $90^\circ$ . Диаметр сменных роликов и нагрузка на одну ветвь каната выбирались по ГОСТ 2172-80 «Канаты стальные авиационные. Технические условия», исходя из выбранного для целей нашего исследования диаметра стального каната. В настоящем исследовании испытания стального каната проводились до его полного разрушения. Схема испытаний представлена на рис. 2.



**Рис. 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

На рис. 3 представлена схема огибания сменного ролика образцом стального каната во время испытания. В данном случае происходит перекачивание образца стального каната по поверхности ролика, тем самым моделируя трение качения.



**Рис. 3. Схема сменного ролика с испытуемым образцом стального каната:**

$\varphi$  – угол поворота сменного ролика;  $\varphi_1$  – угол перемещения образца стального каната;  
 $F$  – растягивающая нагрузка на ветвь каната;  $\sigma_1$  – сжимающие усилия, возникающие во время испытания, при огибании образцом стального каната сменного ролика

Испытание образцов стального каната, смазанного различными смазочными материалами, по данной схеме максимально приближено к реальным условиям эксплуатации каната, когда на канат действуют напряжения растяжения и сжатия, изгиба и кручения, а трение происходит между проволоками внутри пряди, между прядями внутри каната и каната о сменный ролик, и учитывает все возможные виды износа стальной проволоки [10, 11].

#### **Результаты и обсуждение**

В табл. 1 представлены результаты исследования триботехнических свойств канатных смазочных материалов на ЧМТ, определенные в соответствии с ГОСТ 9490-75 «Материалы смазочные жидкие и пластичные. Метод определения трибологических характеристик на четырехшариковой машине».

Таблица 1

**Триботехнические показатели смазочных материалов**

№ п/п	Наименование смазочного материала	Нагрузка сваривания, кгс	Диаметр пятна износа при 20 кгс, мм
1	Росойл-K110	224	0,40
2	Elaskon SK-U	160	0,45
3	Nyrosten A19/200	141	0,46
4	Торсиол-55	141	0,48
5	Nyrosten T55	141	0,69
6	Торсиол-35	200	0,72

Установлено, что значения диаметра пятна износа для различных смазочных материалов, находятся в диапазоне от 0,4 до 0,72 мм, разница между минимальным и максимальным значениями составляет 80 %.

В табл. 2 представлены результаты измерения площади износа стальной проволоки каната в зависимости от применяемого смазочного материала после испытаний по предложенной экспериментальной методике.

Таблица 2

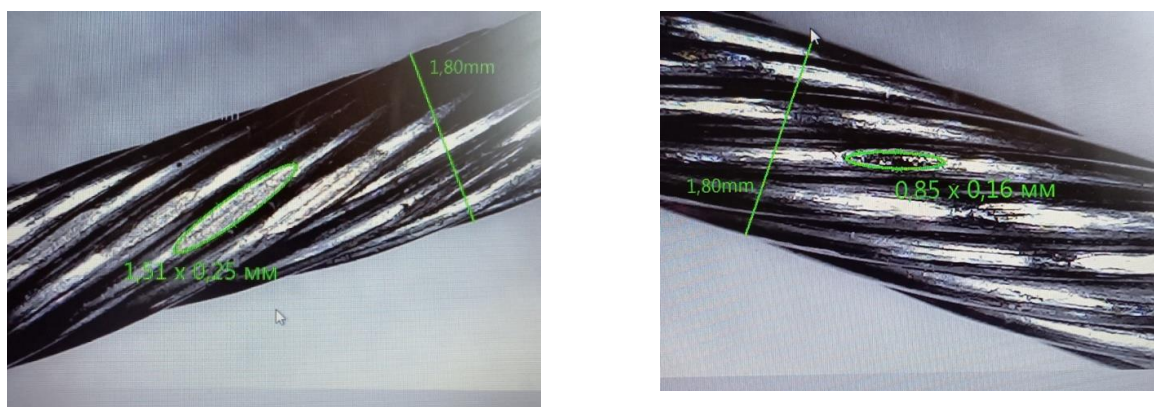
**Значения износа стальной проволоки**

№ п/п	Наименование смазочного материала	Размер овала, мм	Площадь износа, мм <sup>2</sup>
1	Торсиол-55	0,77×0,14	0,08
2	Nyrosten A19/200	0,85×0,16	0,10
3	Росойл-K110	0,8×0,19	0,12
4	Elaskon SK-U	1,06×0,19	0,16
5	Nyrosten T55	1,37×0,17	0,19
6	Торсиол-35	1,37×0,22	0,24
7	Без смазки	1,51×0,25	0,29

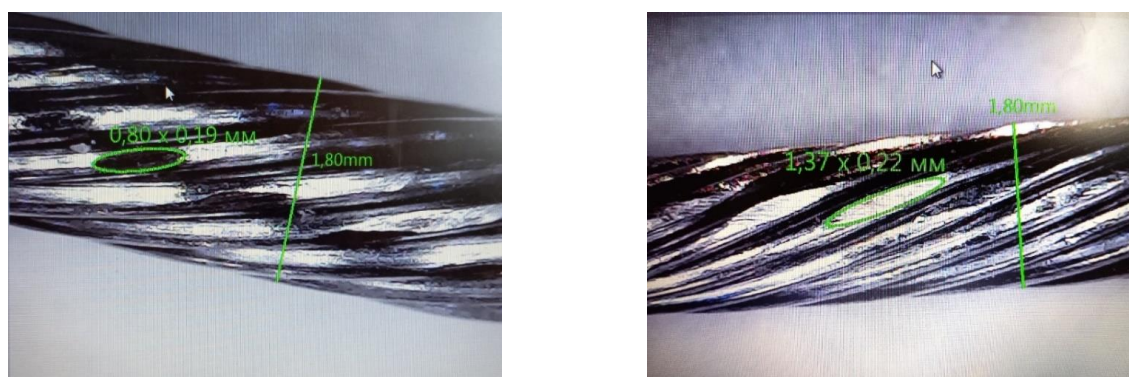
Установлено, что площадь износа стальной проволоки в зависимости от применяемого смазочного материала, находится в диапазоне от 0,08 до 0,24 мм<sup>2</sup>, наибольшая площадь износа проволоки наблюдается при пропитке каната смазкой «Торсиол-35», значение которой в три раза больше минимальной площади износа, полученной при пропитке каната смазкой «Торсиол-55».

По итогам испытаний смазок на четырехшариковой машине трения и по предложенной методике выявлено, что канатная смазка «Торсиол-35» обладает наихудшими противоизносными свойствами среди исследуемых смазочных материалов.

На рис. 4, 5 представлены фотографии пряди стального каната, пропитанного различными смазочными материалами, после испытания с характерным износом стальной проволоки в виде овала.



**Рис. 4. Прядь каната после испытаний:**  
без смазочного материала (слева); пропитанного смазкой Nyrosten A19/200 (справа)



**Рис. 5. Прядь каната после испытаний:**  
пропитанного смазкой «Росойл-К110» (слева); пропитанного смазкой «Торсиол-35» (справа)

В табл. 3 представлены средние результаты испытаний стального каната, пропитанного различными смазочными материалами, на пробегной машине в соответствии с ГОСТ 2387-80 «Канаты стальные. Метод испытания на выносливость». С учетом большого разброса результатов измерений, характерного для усталостных испытаний, в эксперименте были использованы по 15 образцов стального каната с каждым смазочным материалом.

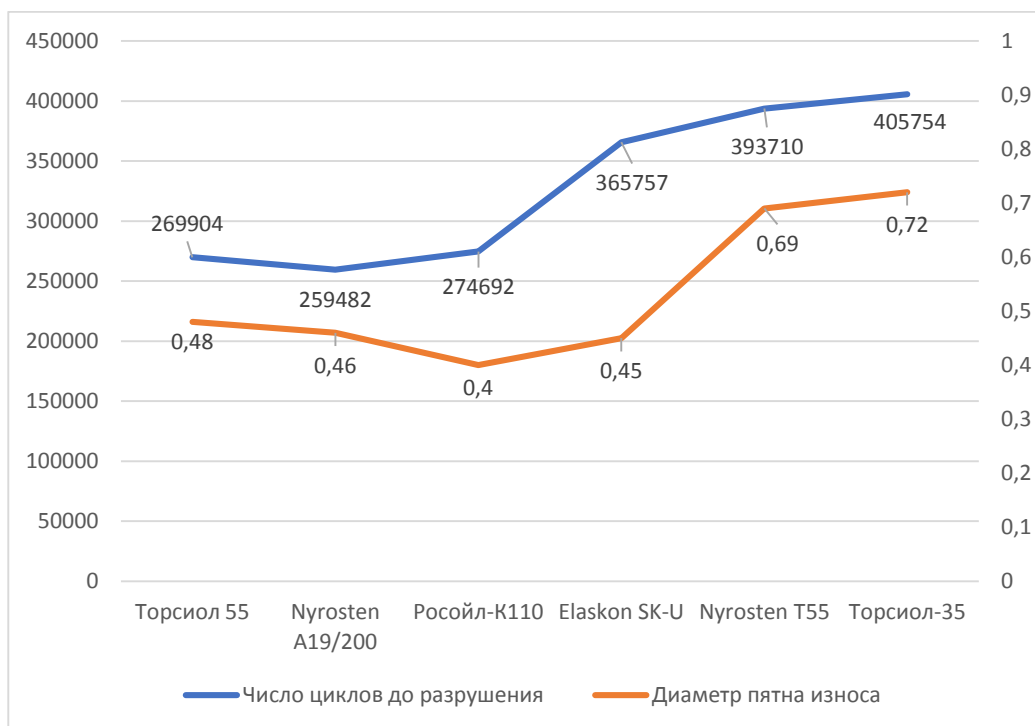
Таблица 3

**Число циклов перегиба каната, смазанного различными смазочными материалами (СМ), до полного разрушения**

СМ	Без СМ	Nyrosten A19/200	Торсиол-55	Росойл-К110	Elaskon SK-U	Nyrosten T55	Торсиол-35
max	179 753	364 409	349 829	345 243	408 782	592 436	550 903
min	100 617	188 531	149 629	209 206	309 298	285 985	336 604
$\bar{X}$	<b>141 089</b>	<b>259 482</b>	<b>269 904</b>	<b>274 692</b>	<b>365 757</b>	<b>393 710</b>	<b>405 754</b>

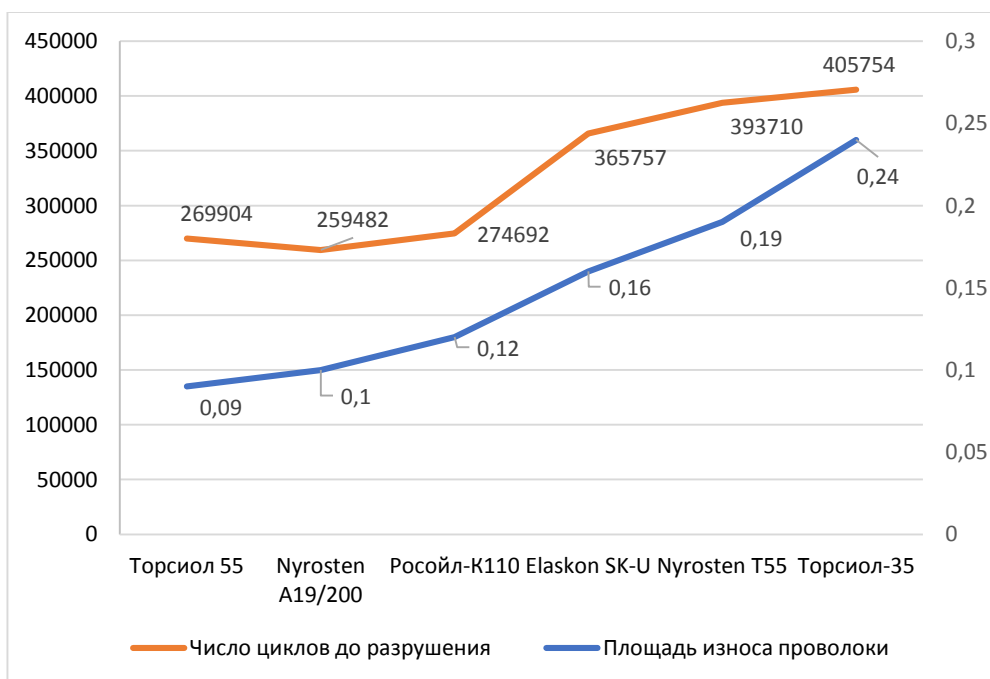
Установлено, что применение смазочного материала способствует увеличению износостойкости стального каната минимум в 1,8 раза и максимум в 2,9 раза по отношению к несмазанному канату.

В результате проделанной работы получены зависимости диаметра пятна износа, определенного в соответствии с ГОСТ 9490-75 на ЧМТ, и числа циклов до разрушения стального каната, определенного на пробегной машине в соответствии с ГОСТ 2387-80, от смазочного материала (рис. 6).



**Рис. 6. Зависимости диаметра пятна износа и числа циклов до разрушения стального каната от смазочного материала**

Также получены зависимости площади износа стальной проволоки, определенной по предложенной экспериментальной методике, и числа циклов до разрушения стального каната, определенного на пробегной машине в соответствии с ГОСТ 2387-80, от применяемого смазочного материала (рис. 7).



**Рис. 7. Зависимости площади износа проволоки и числа циклов до разрушения стального каната от смазочного материала**

На рис. 7 (аналогично рис. 6) смазочные материалы, которыми пропитан канат, расположены в порядке возрастания площади износа проволок при скольжении каната по поверхности блока, полученные по вышеописанной экспериментальной методике (минимальная площадь износа «Торсиол-55» – 0,09 кв. мм, максимальная площадь износа «Торсиол-35» – 0,24 кв. мм).

Дополнительно на рис. 8 и 9 показаны результаты испытаний износостойкости стального каната на пробегной машине по ГОСТ 2387-80, пропитанного теми же канатными смазками и имеющими аналогичную зависимость по увеличению износостойкости от «Торсиол-55» к «Торсиол-35».

По итогам анализа (сопоставления) полученных результатов испытаний износостойкости каната, пропитанного различными канатными смазками, напрашивается парадоксальный вывод: чем хуже противозносные свойства смазки, тем выше число циклов (перегибов) каната на блоке до разрушения.

Но этот вывод будет неверным!

Исследования В. Ю. Шолома и А. Н. Абрамова [12–13] подтвердили, что оценку эффективности смазочного материала необходимо проводить в условиях, максимально моделирующих реальные трибосистемы, учитывающих взаимные перемещения контактных поверхностей, температуру и давления в трибоконтакте и т. п. Оценка эффективности смазочного материала, полученная в отличных условиях, в том числе и по стандартным методикам, может приводить к заведомо неправильным выводам.

Площадь износа проволок при скольжении каната по поверхности блока, так же как и при испытании смазочных материалов по ГОСТ 9490-75, характеризуют линейный износ контактирующих поверхностей при значительном пути взаимного перемещения в одном направлении. То есть имеет место трение скольжения и, соответственно, износ от трения скольжения.

А при испытаниях по ГОСТ 2387-80 динамика взаимодействия поверхности блока с поверхностями проволок каната (см. рис. 3) больше похожа на трение качения, поскольку поверхность блока, при его повороте вокруг собственной оси, перемещается по отношению к оси каната на одинаковое расстояние (угловой размер). Общеизвестно, что износ от трения качения многократно ниже, чем от трения скольжения, и характер износа существенно отличается.

### **Выводы**

Установлено, что триботехнические характеристики канатных смазок, определенные по ГОСТ 9490 на четырехшариковой машине трения, не коррелируются со сравнительными испытаниями указанных смазок на пробегной машине по ГОСТ 2387-80, что объясняется характером износа проволок каната. При испытаниях на ЧМТ фиксируется линейный износ поверхностей шариков при значительном пути взаимного перемещения, а при испытаниях на пробегной машине выносливости (износостойкости) каната фиксируется фреттинг-усталостный износ при незначительных колебательных взаимных перемещениях поверхностей проволок, что и является основной причиной износа проволок каната и его разрушения.

На данный момент ни один из методов расчета конструкции стального каната не может полностью достоверно смоделировать работу каната в целом и учесть все влияющие на нее внешние факторы и внутренние процессы, происходящие при эксплуатации стального каната, и определить влияние смазочного материала на износостойкость последнего. Наиболее корректным и достоверным методом оценки влияния смазочного материала на износостойкость стального каната, является испытание натуральных образцов стального каната, пропитанного смазочными материалами, на пробегной машине, согласно которому определяется число перегибов образца стального каната о сменный ролик до его полного разрушения.

### **Список литературы**

- 1 Глушко, М. Ф. Стальные подъемные канаты / М. Ф. Глушко. – Киев : Техника, 1966. – 327 с.
- 2 Малиновский, В. А. Стальные канаты / В. А. Малиновский. – Одесса : Астропринт, 2001. – 188 с.
- 3 Мархель, И. И. Крановые канаты / М. И. Мархель. – Москва : Машиностроение, 1983. – 128 с.
- 4 Калентьев, Е. А. К вопросу о долговечности стальных канатов / Е. А. Калентьев, В. В. Тарасов, В. Н. Новиков // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. – 2019. – Т. 22, № 1. – С. 20–28. – DOI 10.22213/2413-1172-2019-1-20-28.

### **References**

- 1 Glushko, M. F. Steel lifting ropes / M. F. Glushko. – Kiev : Tehnika, 1966. – 327 p.
- 2 Malinovsky, V. A. Steel ropes / V. A. Malinovsky. – Odessa : Astroprint, 2001. – 188 p.
- 3 Markhel, I. I. Crane ropes / I. I. Markhel. – Moscow : Mashinostroenie, 1983. – 128 p.
- 4 Kalentyev, E. A. On the issue of durability of steel ropes / E. A. Kalentyev, V. V. Tarasov, V. N. Novikov // Vestnik IzhGTU imeni M. T. Kalashnikova. – 2019. – Vol. 22, No. 1. – P. 20–28. – DOI 10.22213/2413-1172-2019-1-20-28.

- 5 Определение состава смазочного материала для стальных канатов / В. В. Тарасов, В. Н. Новиков, Е. А. Калентьев [и др.] // Труды ГОСНИТИ. – 2011. – Т. 108. – С. 135–137. – ISSN 2587-6864. – EDN SZTUBV.
- 6 К методике выбора смазочного материала при трении стального каната / В. В. Тарасов, В. Н. Новиков, Е. А. Калентьев [и др.] // Интеллектуальные системы в производстве. – 2011. – № 2 (18). – С. 164–168. – ISSN 1813-7911. – EDN OOFDHV.
- 7 **Кошкин, А. П.** Канаты подъемных установок : учебное пособие / А. П. Кошкин, Г. Д. Трифанов. – 2-е изд. перераб. и доп. – Пермь : Издательство Пермского национального исследовательского политехнического университета, 2014. – 107 с.
- 8 **Feyrer, K.** Wire Ropes / K. Feyrer. – Berlin-Heidelberg : Springer Verlag., 2007. – 322 с.
- 9 **Mironenko, A.** Wire Ropes Condition Monitoring : Conception and Implementation / A. Mironenko, I. Shpakov // Proceedings of 19<sup>th</sup> International Conference VVaPol. – Podbanske, 2016. – P. 7–13. – ISBN 978-80-553-2607-8.
- 10 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.
- 11 **Школьник, Л. М.** Методика усталостных испытаний / Л. М. Школьник. – Москва : Metallurgia, 1978. – 304 с.
- 12 **Шолом, В. Ю.** Разработка методологии определения триботехнических характеристик и выбора СОТС при проектировании технологических процессов металлообработки : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук : 05.02.08 / Шолом Владимир Юрьевич. – Москва, 2005. – 387 с. – EDN NNSGRH.
- 13 **Абрамов, А. Н.** Развитие методологии исследований контактного взаимодействия заготовки с инструментом в процессах холодной обработки металлов давлением : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук : 05.16.05 / Абрамов Алексей Николаевич. – Уфа, 2016. – 279 с. – EDN LUZQON.
- 5 Determination of the lubricant composition for steel ropes / V. V. Tarasov, V. N. Novikov, E. A. Kalentyev [et al.] // Proceedings of GOSNITI. – 2011. – Vol. 108. – P. 135–137. – ISSN 2587-6864. – EDN SZTUBV.
- 6 On the method of selecting a lubricant for friction of a steel rope / V. V. Tarasov, V. N. Novikov, E. A. Kalentyev [et al.] // Intelligent systems in manufacturing. – 2011. – No. 2 (18). – P. 164–168. – ISSN 1813-7911. – EDN OOFDHV.
- 7 **Koshkin, A. P.** Hoisting Ropes : a textbook / A. P. Koshkin, G. D. Trifanov. – 2<sup>nd</sup> ed., rev. and add. – Perm : Publishing House of Perm National Research Polytechnical University, 2014. – 107 p.
- 8 **Feyrer, K.** Wire Ropes / K. Feyrer. – Berlin-Heidelberg : Springer Verlag., 2007. – 322 p.
- 9 **Mironenko, A.** Wire Ropes Condition Monitoring : Conception and Implementation / A. Mironenko, I. Shpakov // Proceedings of 19<sup>th</sup> International Conference VVaPol. – Podbanske, 2016. – P. 7–13. – ISBN 978-80-553-2607-8.
- 10 Bench resource testing of steel ropes / A. N. Abramov, V. Yu. Sholom, O. L. Kramer, V. P. Golovin // Letters on materials. – 2020. – Vol. 10, No. 2 (38). – P. 195–199. – DOI 10.22226/2410-3535-2020-2-195-199.
- 11 **Shkolnik, L. M.** Methods of fatigue testing / L. M. Shkolnik. – Moscow : Metallurgia, 1978. – 304 p.
- 12 **Sholom, V. Yu.** Development of a methodology for determining tribotechnical characteristics and the choice of lubrication-cooling agents in the design of technological processes of metalworking : dissertation for the degree of Doctor of Technical Sciences : 05.02.08 / Sholom Vladimir Yuryevich. – Moscow, 2005. – 387 p. – EDN NNSGRH.
- 13 **Abramov, A. N.** Development of the methodology of research on the contact interaction of a workpiece with a tool in the processes of cold metalworking by pressure : dissertation for the degree of Doctor of Technical Sciences : 05.16.05 / Abramov Alexey Nikolaevich. – Ufa, 2016. – 279 p. – EDN LUZQON.

*V. P. Golovin*

#### METHODS FOR EVALUATING THE EFFECT OF LUBRICANTS ON THE WEAR RESISTANCE OF STEEL ROPE

**Abstract.** The test results of various rope lubricants are presented to assess their effect on the wear resistance of steel rope. The study of tribotechnical properties of lubricants was carried out in accordance with GOST 9490-75 “Liquid and plastic lubricants. A method for determining tribological characteristics on a four-ball machine”, as well as according to the experimental methodology proposed in the work. The effect of the lubricant on the wear resistance of the steel rope was estimated by the number of rope bending cycles until complete destruction in accordance with GOST 2387-80 “Steel ropes. The endurance test method.” It has been established that

the most correct and reliable method for assessing the effect of a lubricant on the wear resistance of a steel rope is to test full-scale rope samples on a running machine.

**Keywords:** wear, wear resistance, rope lubrication, steel rope, testing, running machine.

**For citation:** Golovin, V. P. Methods for evaluating the effect of lubricants on the wear resistance of steel rope / V. P. Golovin // Vestnik Rostovskogo Gosudarstvennogo Universiteta Putej Soobshcheniya. – 2025. – No. 3. – P. 197–204. – DOI 10.46973/0201-727X\_2025\_3\_197.

#### Сведения об авторах

**Головин Василий Петрович**

ООО «Хозрасчетный Творческий Центр  
Уфимского Авиационного Института»  
(ХТЦ УАИ),

старший научный сотрудник  
лаборатории ИТСМ,  
e-mail: Golovin\_vasy@mail.ru

#### Information about the authors

**Golovin Vasily Petrovich**

The Self-supporting Creative Center  
of Ufa Aviation Institute, LLC (SSCC UAI),  
Senior Researcher of the ITSM Laboratory,  
e-mail: Golovin\_vasy@mail.ru