

**Проблемы диагностики и прогнозирования ресурса  
талевых канатов буровых установок**

**В. В. Пивень\*, Е. Ю. Москвина, В. В. Пивдяблык**

*Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень, Россия*

*\*e-mail: pivenvv@yandex.ru*

*Аннотация.* Для эффективного использования ресурса талевого каната буровой установки необходим непрерывный мониторинг его технического состояния. Составлена классификация стальных канатов, применяемых в промышленности. Приведены характеристики талевых канатов для силовых полиспастов буровых установок. Проведен анализ рекомендаций по выбору и эксплуатации талевых канатов. Рассмотрены причины возникновения сложных напряженно-деформированных состояний каната при его работе. Дан анализ методик расчета несущей способности талевого каната, определения усталостной прочности. Приведены сравнительные данные о фактической нормативной наработке талевого каната. Аналитически исследована научная проблема прогнозирования остаточного ресурса талевого каната. Для оперативного контроля дефектов стальных канатов рассмотрена перспективность применения методов магнитной дефектоскопии. Для более полного использования ресурса талевого каната буровой установки, увеличения его срока службы сформулированы выводы о необходимости реализации следующих научных, технических и технологических решений: совершенствование конструкций талевой системы буровых установок; повышение достоверности диагноза технического состояния и прогноза ресурса канатов; совершенствование технического обслуживания талевого каната.

*Ключевые слова:* талевый канат; диагностика; остаточный ресурс

**Problems in diagnostics and forecasting for the resource  
of wire ropes in drilling rigs**

**Valeriy V. Piven\*, Elena Yu. Moskvina, Vladimir V. Pivdiablyk**

*Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia*

*\*e-mail: pivenvv@yandex.ru*

*Abstract.* Continuous monitoring of the rig's technical condition is necessary for efficient use of the rig's wire rope resource. A classification of steel ropes used

in the industry has been compiled. The characteristics of the pulley-block rope pulley to power drilling rigs are given. The analysis of recommendations for the selection and operation of rope hoists is carried out. The reasons for the occurrence of complex stress-strain states of the rope during its operation are considered. The analysis of methods for calculating the load-bearing capacity of wire rope and determining the fatigue strength is given. Comparative data on the actual standard operating time of wire rope are given. The scientific problem of predicting the residual resource of wire rope is analytically investigated. For operational control of defects in steel ropes, the prospects of using magnetic flaw detection methods are considered. The article draws our attention to the need to implement the following scientific, technical, and technological solutions, such as improving the design of pulley-block system of drilling rigs; accuracy increase of diagnosis of technical condition and forecasting of resource strings; maintenance of wire rope; this will contribute to a more complete use of wire rope in drilling rig.

*Key words:* wire rope; diagnostics; residual resource

### **Введение**

Стальные канаты являются одними из самых нагруженных элементов в конструкциях грузоподъемных машин и оборудования и, в частности, буровых установок. Стальной талевый канат используется в качестве силового элемента в многократном полиспасте буровой установки, которые применяются для решения различных инженерных, изыскательских, геофизических, структурно-поисковых, геолого-разведочных и нефтегазодобывающих задач. От технического состояния каната зависят своевременность и качество проведения технологических операций, работа оборудования с максимальной нагрузкой, безопасность проводимых работ. Максимальное использование ресурса каната возможно только при эффективном мониторинге его технического состояния и объективной оценке остаточного ресурса.

### **Объект и методы исследования**

Отраслевое применение стальных канатов определяется предъявляемыми к ним требованиями по гибкости, выносливости, долговечности при различных видах прилагаемых нагрузок. В зависимости от этих требований и выбирается конструктивное исполнение стальных канатов.

Классификация основных типов изготавливаемых промышленностью стальных канатов с учетом аналитической работы [1] представлена на рисунке 1.

Талевые канаты буровых установок обеспечивают выполнение спуско-подъемных операций и удержание бурильной колонны при бурении. Режимы работы талевых канатов характеризуются высоким уровнем удельных динамических нагрузок, высокой скоростью движения на барабане лебедки при многослойной навивке. Конструкция полиспаста обуславливает большое число перегибов каната на блоках. Тяжелые режимы работы усложняются неблагоприятными погодными условиями, характерными для большинства нефтегазодобывающих территорий.

Основные параметры и размеры талевых канатов для буровых установок определяются стандартом ГОСТ 16853-88 «Канаты стальные талевые для эксплуатационного и глубокого разведочного бурения»<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>ГОСТ 16853-88. Канаты стальные талевые для эксплуатационного и глубокого разведочного бурения. Технические условия [Электронный ресурс]. – Введ. 1989-07-01. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 2003. – 13 с. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/gost-16853-88>.

Согласно данному стандарту, талевые канаты должны изготавливаться типа ЛК-РО конструкции  $6 \times 31$  (1+6+6/6+12) с металлическим сердечником конструкции  $7 \times 7$  или органическим сердечником. Обозначение ЛК-РО означает линейное касание проволок между слоями, а пряди имеют слои с проволоками разных диаметров и слои с проволоками одинакового диаметра.

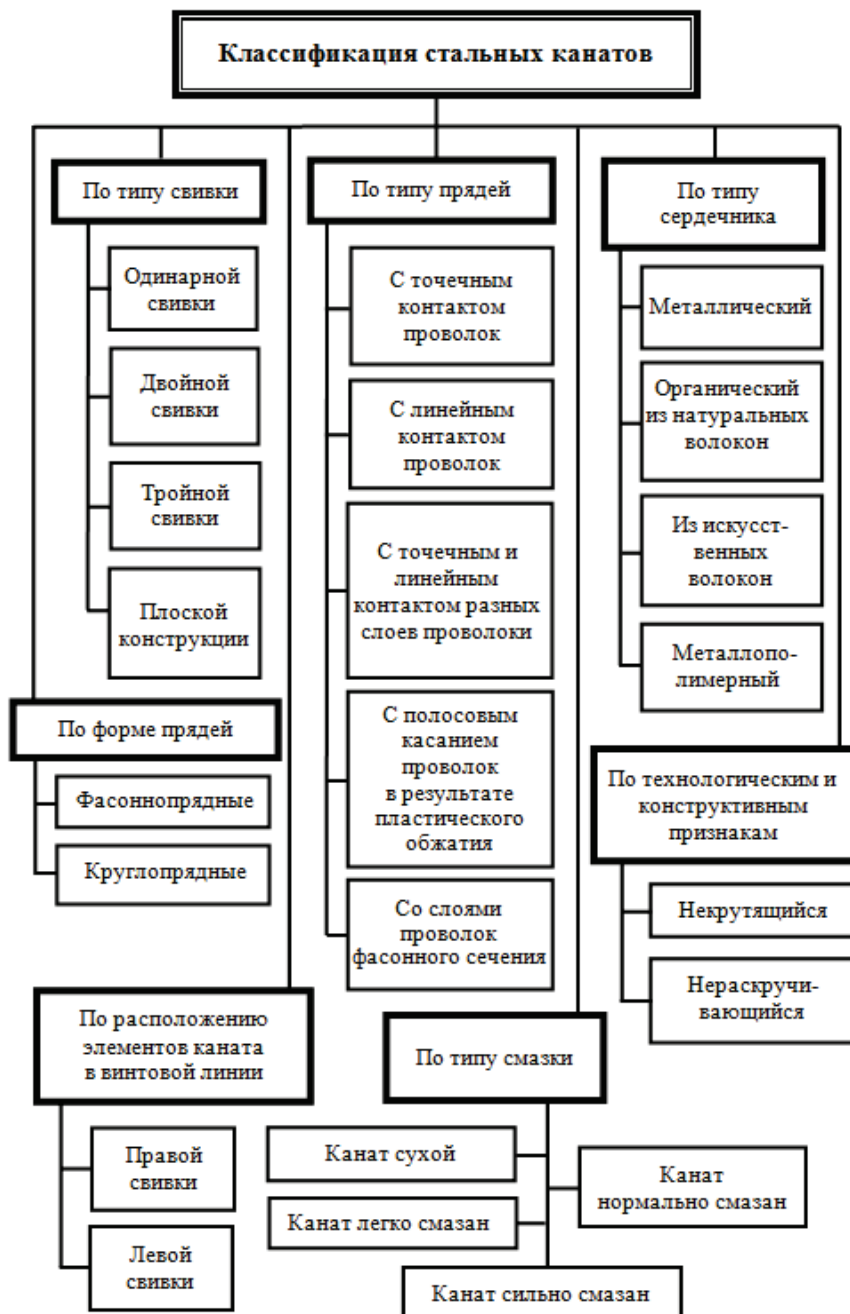


Рис. 1. Классификация стальных канатов

Канаты должны изготавливаться правой крестовой свивки. Направление свивки проволок в прядях каната должно быть противоположным направлению свивки каната. Допускается изготавливать канаты левой крестовой свивки. Каждому диаметру каната (25–38 мм) регламентируется три маркировочные группы по временному сопротивлению разрыву<sup>2</sup>.

Рекомендации по выбору и эксплуатации стальных канатов с учетом международных стандартов ISO на примере компании Union International изложены в работе<sup>3</sup>. Дана характеристика условий работы стальных канатов для их использования в качестве талевого каната в установках для бурения, тартальных канатов, канатов для подъема вышки, канатов для оттяжки вышки и блоков. Приводятся конструктивные характеристики канатов для обеспечения усталостной прочности, устойчивости к истиранию, прочности, устойчивости, гибкости, сопротивляемости раздавливанию. Приведены технические характеристики изготавливаемых компанией стальных канатов.

Несмотря на то, что в процессе эксплуатации талевые канаты подвержены воздействию различных нагрузок, в большинстве случаев (50–80 %) предельное состояние канатов определяется усталостным разрушением [2].

Основными критериями отбраковки канатов являются потеря механического сечения и количество обрывов проволок на определенной длине каната<sup>4,5</sup>.

Фактическая наработка талевого каната может в несколько раз отличаться от нормативной. Известны случаи, когда при гарантийной наработке 19 т·км/м талевого каната марки В с диаметром 28 мм фактическая наработка составила всего 3 804 т·км при глубине скважины 2 936 м [3].

Проводимые мониторинги технического состояния талевых канатов показывают, что до 25 % обследованных канатов могут быть непригодными к дальнейшей эксплуатации [4], при этом также наблюдаются случаи безосновательной замены канатов без достижения ими предельного состояния.

Недостатками широко применяемого метода визуально-инструментального контроля являются большие затраты времени обслуживающего персонала, невозможность определить фактическое сечение каната, обрыв проволок внутри каната, небезопасные условия труда при диагностике.

В связи с этим прогнозирование остаточного ресурса талевого каната является актуальной проблемой, решение которой позволит повысить эффективность использования канатов, исключить случаи аварийных ситуаций.

Основными факторами, определяющими долговечность талевого каната, являются нестационарный циклический характер возникновения нормальных растягивающих напряжений, циклические изгибные напряжения в канате при прохождении через шкивы и навивке на барабан, динамические нагрузки при разгоне и замедлении, колебательный характер режима работы при бурении и спускоподъемных операциях, абразивный и фрикционный износ каната при эксплуатации [5]. Навивка каната на барабан, которая сопровождается различной степенью натяжения при проведении спускоподъемных операций, может привести к его раздавливанию или защемлению расположенными ниже слоями каната.

---

<sup>2</sup> ГОСТ 16853-88.

<sup>3</sup> Нефтегазовое буровое оборудование — руководство пользователя [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.euro-lift.net/site/upload/file/rukovodstvo-union-int.pdf> (дата обращения: 8.01.2020).

<sup>4</sup> Правила безопасности опасных производственных объектов, на которых используются подъемные сооружения: Федеральные нормы и правила в области промбезопасности. Сер. 10. Вып. 81. — М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2018. — 314 с.

<sup>5</sup> SO 4309:2017.8. Cranes-Wire Ropes-Care, Maintenance, Installation, Examination and Discard. Berlin: BeuthVerlag, 2017.

Для снижения динамических нагрузок в талевом канате и других деталях и механизмах целесообразно применение для привода лебедки электродвигателей с гибкой характеристикой или двигателей постоянного тока [5]. Необходимо также разработка конструкций и устройств, обеспечивающих благоприятные условия при навивке каната на барабан лебедки.

Определение предельного состояния расчетным методом не позволяет получить объективные данные для сроков замены канатов. При преждевременной замене канатов не вырабатывается их ресурс, что приводит к повышению себестоимости проводимых работ. При доведении каната до предельного состояния возможны аварийные ситуации, которые потребуют существенных материальных затрат на их ликвидацию.

При прогнозировании остаточного ресурса оборудования по изменению параметров его технического состояния уровень доверительной вероятности может составлять 0,8. Выведение из эксплуатации каната при гарантированном расчетном ресурсе в большинстве случаев не позволит полностью выработать его фактический ресурс<sup>6</sup>.

Одним из перспективных направлений оценки технического ресурса талевого каната является расчет полезной работы при спускоподъемных операциях [6]. Известные методики определения полезной работы позволяют дать общую оценку ресурса талевого каната. Для учета полезной работы, нагрузки каната на локальных участках при перегибах на шкивах, навивке на барабан данные методики требуют дальнейшего уточнения.

Разработка механической модели оценки прочности и ресурса стальных канатов [7] по истории изменения текущего коэффициента запаса прочности каната позволяет для конкретного каната рекомендовать сроки его очередной проверки и прогнозировать индивидуальный ресурс.

В методологии прогнозирования остаточного ресурса стальных канатов наибольшую сложность вызывает необходимость учета совместного воздействия на ресурс потери сечения проволок и количества их обрывов. Из-за недостаточной изученности данной проблемы при расчете показателей относительного снижения прочности каната вычисляют независимые оценки математических ожиданий коэффициентов запаса прочности с распределенной потерей сечения и обрывами проволоки [7].

Независимые показатели относительного снижения прочности каната от потери сечения ( $\chi_{\Delta A}$ ) и числа обрывов проволок ( $\chi_{\Delta B}$ ) определяются по следующим зависимостям [7]:

$$\chi_{\Delta A} = 1 - \frac{n_{\Delta A}(x)}{n}; \quad (1)$$

$$\chi_{\Delta B} = 1 - \frac{n_{\Delta B}(x)}{n}, \quad (2)$$

где  $n$  — коэффициент запаса прочности нового стального каната;  $n_{\Delta A}$ ,  $n_{\Delta B}$  — коэффициенты запаса с распределенной потерей сечения и обрывами. Остаточная несущая способность каната по потере сечения в процентах определяется по формуле

$$\eta_{\Delta A} = 100(1 - \chi_{\Delta A}). \quad (3)$$

---

<sup>6</sup> РД 26.260.004-91. Методические указания. Прогнозирование остаточного ресурса оборудования по изменению параметров его технического состояния при эксплуатации [Электронный ресурс]. — Введ. 1992-01-01. — Режим доступа: <https://internet-law.ru/stroyka/doc/9239/>.

Экспериментальные данные, полученные в работе [7], в виде гистограммы распределения остаточной несущей способности стального каната представлены на рисунке 2. Данные получены для каната, изготовленного по ГОСТ 3077-80<sup>7</sup>, при заданной потере сечения  $\Delta A = 16\%$ . Число реализаций распределения износа проволок равно 500 при доверительной вероятности 0,997.



Рис. 2. Гистограмма несущей способности стального каната при различных исходных вероятностях разрушения проволок: а)  $P_i = 1/N$ ; б)  $P_i \sim A_i$ ; в)  $P_i \sim 1/A_i$

В подрисуночной подписи на рисунке 2 за  $N$  принято общее число проволок целого каната;  $A_i$  — площадь сечения  $i$ -й проволоки. Результаты исследований установлено, что наименьшая несущая способность имеет место тогда, когда модель учитывает масштабный эффект прочности (см. рис. 2 б). Вышеприведенный пример статистического моделирования позволяет установить наиболее благоприятное расположение фрагментов с потерей металла по сечению, а также типичную картину износа [7].

Более точное значение остаточного ресурса<sup>8</sup> может быть получено при применении для оперативного контроля дефектов методов магнитной дефектоскопии [8–16]. Сущность такого метода заключается в намагничивании каната и контроле магнитного поля вокруг каната. Перераспределение магнитного поля вокруг каната регистрируется чувствительными датчиками и свидетельствует о наличии дефектов. Использование для мониторинга технического состояния стальных канатов магнитного неразрушающего контроля регламентировано соответствующими указаниями<sup>9</sup>.

Применение магнитной дефектоскопии позволяет проводить входной контроль нового каната, периодический объективный мониторинг состояния каната в процессе работы, что в конечном итоге продлевает срок службы каната, обеспечивает надежную работу оборудования на предельно возможных нагрузках.

<sup>7</sup> ГОСТ 3077-80. Канат двойной свивки типа ЛК-О конструкции  $6 \times 19(1+9+9)+1$  о.с. Сортамент [Электронный ресурс]. – Введ. 1982-01-01. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/gost-3077-80>.

<sup>8</sup> Автоматизированный дефектоскоп для мониторинга талевых канатов буровых установок. Интрос-авто [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.ndtassociation.kz](http://www.ndtassociation.kz) (дата обращения: 8.01.2020).

<sup>9</sup> РД 03-348-00. Методические указания по магнитной дефектоскопии стальных канатов. Основные положения. Сер. 10. Вып. 7 [Электронный ресурс]. – Введ. 2000-04-20. – М.: ЗАО НТЦПБ, 2017. – С. 14–35. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/901786599>.

Наиболее перспективным методом технической диагностики стальных канатов являются разработка и применение автоматизированной системы мониторинга с помощью приборов магнитной дефектоскопии [17, 18]. Прочностной расчет каната и калибровка для конкретных канатов в совокупности с автоматизированной системой мониторинга позволяет определять текущее значение коэффициента запаса прочности каната<sup>10</sup>, что в конечном итоге обеспечит безопасное проведение спускоподъемных операций.

### **Результаты и обсуждение**

Проведенный анализ результатов научных исследований по диагностике, прогнозированию ресурса талевых канатов буровых установок, а также современных технических решений данной проблемы показал, что наиболее перспективным направлением являются развитие методов магнитной дефектоскопии и прогнозирование ресурса канатов на основе статистических характеристик, накапливаемых в процессе мониторинга. Задачей научных исследований является определение границ возможного развития событий при определении ресурса с учетом полезной работы и динамических нагрузок.

### **Выводы**

Для более полного использования ресурса талевого каната буровой установки, увеличения его срока службы необходима реализация следующих научных, технических и технологических решений.

В направлении совершенствования конструкции талевой системы буровых установок:

- разработка и совершенствование стабилизирующих устройств для обеспечения равномерной навивки каната на барабан;
- разработка приводного устройства барабана лебедки с гибкой характеристикой, обеспечивающей плавность хода при пуске и остановке.

В направлении совершенствования диагностики технического состояния и прогнозирования ресурса канатов:

- дальнейшее совершенствование методов магнитной дефектоскопии с непрерывным контролем технического состояния;
- разработка систем автоматического мониторинга и прогнозирования ресурса с учетом контроля развивающихся зон локальной потери несущей способности;
- научное и методическое обеспечение автоматического мониторинга состояния талевого каната, направленного на повышение точности прогноза.

В направлении повышения качества технологического процесса технического обслуживания талевого каната:

- совершенствование методики перетяжки талевого каната на основе оперативных данных мониторинга его состояния.

### **Библиографический список**

1. Малиновский, В. А. Стальные канаты : аналитический справочник / В. А. Малиновский. – Одесса : Астропринт, 2016. – 252 с. – Текст : непосредственный.

---

<sup>10</sup> Там же.

2. Сунгуров, Е. В. Подготовка к прогнозированию ресурса стальных канатов карьерных экскаваторов / Е. В. Сунгуров. – Текст : непосредственный // Россия молодая : сборник материалов VII Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых с международным участием. – Кемерово : КузГТУ, 2015. – С. 138–141.
3. Ильиных, А. И. Анализ использования стальных канатов на буровых установках фирмы ЗАО «Уралмаш – Буровое оборудование» / А. И. Ильиных, Д. А. Алексеев, А. П. Гарейс. – Текст : непосредственный // Бурение и нефть. – 2007. – № 6. – С. 34–37.
4. Мониторинг технического состояния талевых канатов буровых установок эксплуатационного и разведочного бурения нефтяных и газовых скважин: технология, эффективность, перспективы / Д. А. Слесарев, О. П. Потехин, И. И. Шпаков [и др.]. – DOI 10.24000/0409-2961-2018-6-13-22. – Текст : непосредственный // Безопасность труда в промышленности. – 2018. – № 6. – С. 13–22.
5. Ефимченко, С. И. Расчеты ресурса несущих элементов буровых установок : учебное пособие / С. И. Ефимченко. – Москва : РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина, 2001. – 171 с. – Текст : непосредственный.
6. Воробель, С. В. Определение удельной работы талевого каната / С. В. Воробель, Г. Д. Трифанов, В. Г. Островский. – DOI 10.30713/0130-3872-2019-5-44-48. – Текст : непосредственный // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2019. – № 5. – С. 44–48.
7. Воронцов, А. Н. Механическая модель оценки прочности и ресурса стальных канатов грузоподъемных машин по данным диагностики / А. Н. Воронцов, В. Ю. Волоховский. – Текст : непосредственный // Справочник. Инженерный журнал с приложением. – 2012. – № 10 (187). – С. 37–43.
8. Dubuisson, J. Study on mechanical conditions of looseness of outer wires of rope-way haulage ropes / J. Dubuisson, M. Cantin. – Текст : непосредственный // OIPEEC Conference, Johannesburg, 2007. – P. 175–193.
9. Воронцов, А. Н. Оценка остаточного ресурса стальных канатов по результатам магнитной дефектоскопии / А. Н. Воронцов, В. Ю. Волоховский, В. В. Сухоруков. – Текст : непосредственный // Актуальные проблемы повышения эффективности и безопасности эксплуатации горношахтного и нефтепромыслового оборудования. – 2014. – Т. 1, № 1. – С. 33–40.
10. Сухоруков В. В. Техническая диагностика стальных канатов добывающей промышленности : от дефектоскопии к автоматизированному мониторингу / В. В. Сухоруков. – DOI 10.12737/article\_5d5fcca11f3624.52556014. – Текст : непосредственный // В мире неразрушающего контроля. – 2019. – Т. 22. – С. 4–8.
11. Sukhorukov, V. Steel wire ropes NDT : new instruments / V. Sukhorukov. – Текст : непосредственный // Proceedings of the 6<sup>th</sup> International Conference of the Slovenian Society for Non-destructive Testing. – Portoro, 2001. – P. 225–230.
12. Vorontsov, A. Combined approach to damaged wire ropes life-time assessment based on NDT results and rope mechanics / A. Vorontsov, V. Volokhovsky, D. Slesarev. – DOI 10.1088/1742-6596/305/1/012114. – Текст : непосредственный // Journal of Physics: Conference series. – 2011. – Vol. 305. – P. [1–9].
13. Sukhorukov, V. V. Electromagnetic inspection and diagnostics of steel ropes: technology, effectiveness and problems / V. V. Sukhorukov, D. A. Slesarev, A. N. Vorontsov. – Текст : непосредственный // Materials Evaluation. – 2014. – Vol. 72, № 8. – P. 1019–1027.
14. Slesarev D., Sukhorukov D., Shpakov I. Automated magnetic rope condition monitoring: concept and practical experience. – Текст : непосредственный // Proceedings of the OIPEEC Conference. – La Rochelle, 2017. – P. 295–300.

15. Monitoring of Mine Hoist Ropes at the Norilsk Nickel Company / V. Sukhorukov, A. Mironenko, A. Perepelitsyn, A. Saplin. – Текст : непосредственный // Proceedings of the International Conference "Mining Transport" (Szczyrk, Poland, September, 24–26, 2003). – P. 111–118.
16. Потехин, О. П. Мониторинг технического состояния талевых канатов с применением магнитных дефектоскопов как средство безопасности эксплуатации буровых установок / О. П. Потехин, И. И. Шпаков. – Текст : непосредственный // Бурение и нефть. – 2016. – № 1. – С. 52–59.
17. Gronau, O. NDT of Steel Ropes with Magnetic Flaw Detectors: Documentation and Interpretation of Test Results / O. Gronau, S. Belitsky, V. Sukhorukov. – Текст : непосредственный // Proceedings of the 15<sup>th</sup> WCNDT (October, 16–21). – Rome, 2000.
18. Marias, J. Holistic Approach to Continuous Rope Monitoring / J. Marias, N. A. Bester. – Текст : непосредственный // OIPEEC Conference Proceedings (Texas, USA, March, 2011). – 2011.

### References

1. Malinovskiy, V. A. (2016). *Stal'nye kanaty: analiticheskiy spravochnik*. Odessa, Astroprint Publ., 252 p. (In Russian).
2. Sungurov, E. V. (2015). Podgotovka k prognozirovaniyu resursa stal'nykh kanatov kar'ernykh ekskavatorov. Rossiya molodaya: sbornik materialov VII Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii molodykh uchenykh s mezhdunarodnym uchastiem. Kemerovo, T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University Publ., pp. 138-141. (In Russian).
3. Ilinyh A., Alekseev D., & Gareys A. (2007). Analysis of the steel ropes using in "Uralmash - Drilling equipment" drilling rigs. *Burenie i nef't*, (6), pp. 34-37. (In Russian).
4. Slesarev, D. A., Potekhin, O. P., Shpakov, I. I., Volokhovskiy, V. Yu., & Vorontsov, A. N. (2018). Monitoring of Technical Condition of the Wire Ropes of Drilling Rigs for Production and Exploratory Drilling of Oil and Gas Wells: Technology, Efficiency, Prospects. *Occupational Safety in Industry*, (6), pp. 13-22. (In Russian). DOI: 10.24000/0409-2961-2018-6-13-22
5. Efimchenko, S. I. (2001). *Raschety resursa nesushchikh elementov burovyykh ustanovok*. Moscow, Gubkin University Publ., 171 p. (In Russian).
6. Vorobel, S. V., Trifanov, G. D., & Ostrovsky, V. G. (2019). Determination of the drill rope specific work. *Construction of Oil and Gas Wells on Land and Sea*, (5), pp. 44-48. (In Russian). DOI: 10.30713/0130-3872-2019-5-44-48
7. Vorontsov, A. N., & Volokhovskiy, V. Yu. (2012). Mechanical model for strength and life-time assessment of tested hoisting ropes. *Handbook. An Engineering Journal with appendix*, (10(187)), pp. 37-43. (In Russian).
8. Dubuisson, J., & Cantin, M. (2007). Study on mechanical conditions of looseness of outer wires of ropeway haulage ropes. *OIPEEC Conference*, Johannesburg, pp. 175-193. (In English).
9. Vorontsov, A. N., Volokhovskii, V. Ju., & Sukhorukov, V. V. (2014). Residual life assessment of wire rope on the results of magnetic testing. *Aktual'nye problemy povysheniya effektivnosti i bezopasnosti ekspluatatsii gorno-shakhtnogo i neftepromyslovogo oborudovaniya*, 1(1), pp. 33-40. (In Russian).
10. Sukhorukov, V. (2019). Technical Diagnostics of Steel Ropes in Extractive Industry: from Flaw Detection to Automated Monitoring. *NDT World*, 22, pp. 4-8. (In Russian). DOI: 0.12737/article\_5d5fcca11f3624.52556014

11. Sukhorukov, V. (2001). Steel wire ropes NDT: new instruments. Proceedings of the 6<sup>th</sup> International Conference of the Slovenian Society for Non-destructive Testing. Portoro, pp. 225-230. (In English).
12. Vorontsov, A., Volokhovskiy, V., & Slesarev, D. (2011). Combined approach to damaged wire ropes life-time assessment based on NDT results and rope mechanics. Journal of Physics: Conference series, 305, pp. 1-9. (In English). DOI: 10.1088/1742-6596/305/1/012114
13. Sukhorukov, V. V., Slesarev, D. A., & Vorontsov, A. N. (2014). Electromagnetic inspection and diagnostics of steel ropes: technology, effectiveness and problems. Materials Evaluation, 72(8), pp. 1019-1027 (In English).
14. Slesarev, D., Sukhorukov, D., & Shpakov, I. (2017). Automated magnetic rope condition monitoring: concept and practical experience. Proceedings of the OIPEEC Conference. La Rochelle, pp. 295-300. (In English).
15. Sukhorukov, V., Mironenko, A., Perepelitsyn, A., & Saplin, A. (2003). Monitoring of Mine Hoist Ropes at the Norilsk Nickel Company. Proceedings of the International Conference "Mining Transport" (Szczyrk, Poland, September, 24-26, 2003). pp. 111-118. (In English).
16. Potekhin, O. P., Shpakov, I. I. (2016). Monitoring hoist ropes technical condition with the use of magnetic flaw detectors as a means of safe operation of drilling rigs. Burenie i nef', (1), pp. 52-59. (In Russian).
17. Gronau, O., Belitsky, S., & Sukhorukov, V. (2000). NDT of Steel Ropes with Magnetic Flaw Detectors: Documentation and Interpretation of Test Results. Proceedings of the 15<sup>th</sup> WCNDT (October, 16-21). Rome. (In English).
18. Marias, J. (2011). Holistic Approach to Continuous Rope Monitoring. OIPEEC Conference Proceedings (Texas, USA, March, 2011). (In English).

#### **Сведения об авторах**

**Пивень Валерий Васильевич**, д. т. н., профессор кафедры машин и оборудования нефтяной и газовой промышленности, Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень, e-mail: pivenvv@yandex.ru

**Москвина Елена Юрьевна**, к. т. н., доцент кафедры машин и оборудования нефтяной и газовой промышленности, Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень

**Пивдяблык Владимир Вячеславович**, магистрант кафедры машин и оборудования нефтяной и газовой промышленности, Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень

#### **Information about the authors**

**Valeriy V. Piven**, Doctor of Engineering, Professor at the Department of Machinery and Equipment of the Oil and Gas Industry, Industrial University of Tyumen, e-mail: pivenvv@yandex.ru

**Elena Yu. Moskvina**, Candidate of Engineering, Associate Professor at the Department of Machinery and Equipment of the Oil and Gas Industry, Industrial University of Tyumen

**Vladimir V. Pivdiablyk**, Master's Student at the Department of Machinery and Equipment of the Oil and Gas Industry, Industrial University of Tyumen