

ГОРНОЕ ДЕЛО

DOI: 10.15593/2224-9923/2015.15.10

УДК 622.673.6

© Трифанов Г.Д., Воробель С.В., 2015

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ УДЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ТАЛЕВОГО КАНАТА

Г.Д. Трифанов, С.В. Воробель

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет, Пермь, Россия

Предметом исследования являются талевые канаты буровых установок, их условия работы и методы определения наработки. Обоснована новая методика определения удельной работы талевого каната, учитывающая неравномерность нагружения и износа каната по длине в оснастке. Методика позволяет объективно определить работу наиболее нагруженных участков каната с учетом их износа. Целью работы является повышение технического ресурса и безопасности эксплуатации талевых канатов путем объективной оценки их наработки.

Качество талевых канатов для установок, используемых для бурения нефтяных и газовых скважин, нормируется удельной гарантийной наработкой. При этом не учитывается характер работы каната на блоках в оснастке, а также параметры оснастки и параметры подъемной системы.

В основу предлагаемой методики положена гипотеза, что распределение удельной работы каната по длине в оснастке соответствует распределению нагруженности отдельных участков каната, выраженной в совершенных канатом перегибах на шкивах при подъеме или спуске талевого блока на длину свечи. Такое распределение условно, тем не менее оно достаточно объективно отражает характер нагрузки на отдельные участки каната и, при этом, учитывает параметры талевой системы, такие как кратность оснастки, высота вышки и высота подъема.

Найдены зависимости между числом перегибов каната на отдельных участках и удельной работой этих участков, а также зависимость между полезной работой каната и удельной работой участков каната. Предложенная методика расчета удельной работы каната позволяет объективно оценивать наработку наиболее нагруженных участков каната за счет учета влияния параметров талевой системы и высоты подъема крюка.

Ключевые слова: буровая установка для бурения нефтяных и газовых скважин, талевая оснастка, талевый канат, работа каната на блоках, удельная наработка, повышение технического ресурса канатов, безопасность эксплуатации буровых установок, методика определения наработки каната, число перегибов талевого каната, износ разных участков каната, влияние параметров талевой системы на долговечность каната.

A METHOD TO MEASURE SPECIFIC WORK OF DRILLING CABLES

G.D. Trifanov, S.V. Vorobel'

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

The subject matter of the paper is drilling cables of rigs, their operation conditions and lifetime-measuring techniques. A novel method is offered to determine specific work of cables, taking account of unequal loading and cable wear along its length within the string-up. The method permits determining the work of the most loaded cable parts, taking into consideration their wear. The paper discusses improvement of operation life and safety of cables by objective estimation of their lifetime.

The quality of cables for oil and gas drilling rigs is specified by specific warranty lifetime. In doing so, cable behaviour in relation to rig blocks, as well as string-up parameters and hoisting system are neglected.

The approach offered draws on the hypothesis that distribution of specific cable work along its length corresponds with that of loading of the separate cable parts, the former manifested in cable kinks over the pulleys during lifting and lowering traveling block within the stand. Such distribution is relative, nevertheless, it reflects actual loading conditions of certain cable parts, taking account of hoisting system parameters such as pulley arrangement, derrick height, lifting height.

Dependence is found between the number of cable kinks at certain parts and specific work of these parts, as well as between useful cable work and cable parts' specific work. The described technique of calculating specific cable work allows objective assessment of lifetime of the most loaded cable parts due to evaluation of the hoisting system parameters and hook's lifting height.

Keywords: rig for oil and gas well drilling, hoisting system, cable, cable's pulley work, specific lifetime, improvement of cable operation life, drilling rig operation safety, cable lifetime evaluation technique, number of cable kinks, wear of cable parts, effects of hoisting system parameters on cable lifetime.

Введение

Одним из наиболее ответственных элементов спуско-подъемного комплекса буровых установок являются талевые канаты – специальные изделия промышленности, предназначенные для работы в подъемных системах буровых установок. Талевая система позволяет многократно снижать усилие в тяговом органе – канате относительно рабочей нагрузки, что дает ряд существенных преимуществ [1–4]: снижаются тяговые и тормозные нагрузки, действующие на орган навивки каната – барабан буровой лебедки. Как следствие, снижение диаметра канатов, снижение диаметра канатоведущих шкивов и барабана буровой лебедки, снижение сечений подъемного вала, валов трансмиссии и элементов тормозных устройств, что, в свою очередь, существенно снижает массу и габариты элементов подъемного комплекса буровой установки. Однако принцип работы талевых систем определяет и их недостатки: существенно увеличиваются длина тягового элемента и скорость навивки каната на барабан буровой лебедки; при движении талевого блока во время подъема или спуска канат совершает большое число перегибов, находится в постоянном контакте со шкивами талевой системы, навивается и свивается с барабана буровой лебедки с большой скоростью. Из-за большой длины талевого каната, обусловленной кратностью полиспаста талевой системы, и небольших размеров барабана буровой лебедки талевый канат навивается на барабан в несколько слоев. Несвершенство талевой системы при всех ее преимуществах существенно влияет на долговечность талевых канатов, которые являются в данном случае самыми уязвимыми элементами. Основной причиной выхода талевых канатов из строя является усталость металла и механический износ вследствие работы на шкивах и многослойной навивки на барабан буровой лебедки [1, 2, 5–11].

Оценка отношения к канатам на различных буровых предприятиях показывает, что особого внимания их эксплуатации не уделяется и показатели наработки канатов не учитываются. Как следствие такого отношения – зачастую неполная выработка их технического ресурса, увеличение расхода, рост числа простоев и аварийных ситуаций, связанных с эксплуатацией канатов.

При больших объемах строительства скважин, как показывает отечественный и зарубежный опыт, эффективная и безопасная эксплуатация талевых канатов может давать ощутимый экономический эффект, который возрастает при увеличении объемов наклонно направленного бурения и глубины строящихся скважин.

Актуальность темы

Количественной мерой эффективности работы талевого каната может являться срок службы и совершенная канатом работа по подъему или спуску бурового инструмента, бурильных и обсадных колонн [2, 12, 13]. Применяемые в настоящее время методы определения наработки талевых канатов, разработанные еще в 60-е годы прошлого века [2, 13], не учитывают параметров подъемной системы и могут применяться лишь для сравнения наработки канатов в сходных условиях эксплуатации. Применение новых прогрессивных конструкций талевых канатов, новых подъемных систем, а также современных систем мониторинга требует пересмотра методов объективной оценки наработки талевых канатов. В связи с этим вопросы определения наработки талевых канатов являются актуальными.

Методы оценки совершенной талевым канатом работы

Для оценки долговечности талевых канатов, работающих в сходных условиях, принято использовать объем полезной работы, совершенной канатом при производстве спуско-подъемных опера-

ций [1–3, 5, 10, 12, 13]. Данный метод позволяет проводить сравнительную оценку работы канатов, а также корректировать программу их отработки, проводя перепуски. Нормы удельной наработки талевых канатов (в тонно-километрах на метр) также указаны в ГОСТ 16853–91 «Канаты стальные талевые для эксплуатационного и глубокого разведочного бурения»¹, и для канатов из проволоки марки В составляют:

15 ткм/м – для диаметра каната 25 мм;

19 ткм/м – для диаметра 28 мм;

20 ткм/м – для диаметров 32; 35; 38 мм.

При учете всех технологических операций при бурении скважин работа талевого каната определится как сумма работ [13]:

$$A = A_{\text{СПО}} + A_{\text{об}} + A_{\text{б}}, \quad (1)$$

где $A_{\text{СПО}}$ – работа талевого каната при спуско-подъемных операциях (СПО) с учетом всех рейсов; $A_{\text{об}}$ – то же, при спуске обсадных колонн; $A_{\text{б}}$ – то же, при бурении скважины, наращивании инструмента и ликвидации аварий, при которых необходимо задействовать подъемный комплекс буровой установки.

В.И. Тарасевичем установлено, что основная работа талевого каната (97–99 %) затрачивается на выполнение спуско-подъемных операций [2, 3], поэтому для упрощения расчетов принято оценивать работу талевого каната только по работе, произведенной при СПО, т.е. при спуске и подъеме бурильных колонн и спуске обсадных колонн.

Существует несколько методик расчета работы талевого каната [1–3, 13]. Наиболее известные из них предложены В.И. Тарасевичем и Г.М. Шахмалиевым [13]. Методика Г.М. Шахмалиева является наиболее полной, учитывающей большее число факторов, остальные методики представляют собой ее упрощен-

ные варианты. Для удобства расчета работы, совершенной талевым канатом, для этих методик созданы таблицы и номограммы [1, 2], в основу которых положена формула оценки работы талевого каната за один рейс.

Недостатком учета только полезной работы, произведенной талевым канатом, является отсутствие учета свойств талевой системы в целом, что не дает полного представления о нагружении и износе отдельных ветвей и участков каната, хотя известно, что талевый канат изнашивается по своей длине в оснастке крайне неравномерно² [5, 7, 14]. Очевидно, что при одном и том же количестве полезной работы, выполненной талевой системой, и различной кратности оснастки и высоты подъема (длины свечи) долговечность каната будет разной. В статье [10] проведен анализ данных эксплуатации талевых канатов, который показал, что наработка канатов может изменяться в широких пределах даже при сходных условиях бурения скважин, что говорит о необходимости учета не только полезной работы, но и параметров подъемной системы, фактических нагрузок и других факторов.

Применительно к талевым канатам в работе [2] отмечается, что для получения сопоставимых результатов наработки канатов в различных талевых системах в формулу для определения работы рекомендуется вводить поправочный коэффициент $K_{\text{о}}$, приняв его равным единице для определенной кратности оснастки, например для кратности оснастки 5×6, тогда для других оснасток коэффициенты определяются относительно этого значения. Коэффициенты для различной кратности оснасток [2] приводятся в табл. 1.

Современный подход к оценке ресурса талевого каната требует учитывать

¹ ГОСТ 16853–91. Канаты стальные талевые для эксплуатационного и глубокого разведочного бурения. Технические условия.

² ГОСТ 16853–91.

Таблица 1
Значения коэффициентов оснастки при определении работы каната

Оснастка	Число ветвей	Поправочный коэффициент
3×4	6	1,66
4×5	8	1,25
5×6	10	1,0
6×7	12	0,83
7×8	14	0,71

в расчетах такие факторы, как конструкция каната, кратность оснастки талевой системы, высота подъема, скорость подъема крюка, диаметры барабана лебедки и шкивов и т.д.

Метод определения удельной наработки талевого каната

Задача в определении объективной наработки талевого каната, учитывающей неравномерный износ и работу на блоках различных участков каната в оснастке, заключается в поиске критерия, определяющего различную нагруженность этих участков каната в оснастке, и использовании этого критерия при определении удельной работы каната.

Если представить характер распределения удельной работы по длине каната в оснастке без учета различной нагруженности отдельных ветвей, то получим график, изображенный на рис. 1.

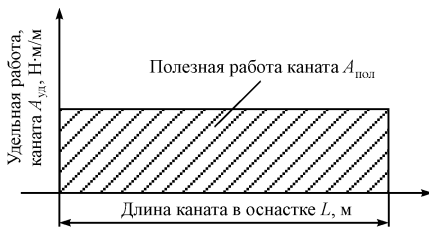


Рис. 1. Распределение удельной работы каната по длине в оснастке без учета характера нагруженности отдельных участков

Площадь заштрихованной фигуры соответствует совершенной полезной ра-

боте каната, рассчитанной по принятой методике.

Предположим, что удельная работа отдельных участков каната не одинакова и ее распределение по длине в оснастке соответствует распределению нагруженности отдельных участков каната, выраженной в совершаемых канатом перегибах на блоках при подъеме или спуске талевого блока на длину свечи. Такое распределение условно, тем не менее оно достаточно объективно отражает характер нагрузки на отдельные участки каната и при этом учитывает параметры талевой системы, такие как кратность оснастки, высота вышки и высота подъема. График распределения удельной работы по длине каната в оснастке при принятом допущении показан на рис. 2.



Рис. 2. Распределение удельной работы каната по длине в оснастке с учетом характера его работы на блоках

Найдем зависимость между числом перегибов отдельных участков каната и удельной работой этих участков.

Площадь заштрихованной фигуры, изображенной на рис. 2, будет пропорциональна полезной работе $A_{пол}$, совершенной всем канатом, находящимся в оснастке. Если площадь фигуры выразить через длины участков и число перегибов на этих участках, получим

$$F = \sum_{i=1}^m n_i l_i = \frac{A_{пол}}{k_{уд}}, \quad (2)$$

где n_i — число перегибов на i -м участке каната; l_i — длина i -го участка каната; m —

число участков каната; $k_{уд}$ – коэффициент пропорциональности между полезной работой каната и площадью, определяемой длинами участков и числом перегибов на этих участках.

Из приведенной формулы следует, что удельная работа каната на i -м участке будет

$$a_{удi} = k_{уд} \cdot n_i \quad (3)$$

Определим коэффициент $k_{уд}$, который будет зависеть от параметров талевой системы. Из формулы (2) следует, что

$$k_{уд} = \frac{A_{пол}}{F}$$

В работе [15] авторы приводят зависимости между числом перегибов n отдельных участков талевого каната и координатой участка x в талевой системе. Приведем их вновь на рис. 3 и в табл. 2.

Площадь фигуры F , ограниченной зависимостями, определяющими распределение перегибов по длине каната в оснастке, будет

$$F = \int_0^L n(x) dx \quad \text{или} \quad F = F_1 + F_2 + F_3, \quad (4)$$

где F_1-F_3 площади фигур, образованные осью ординат и зависимостями числа перегибов для соответствующего участка.

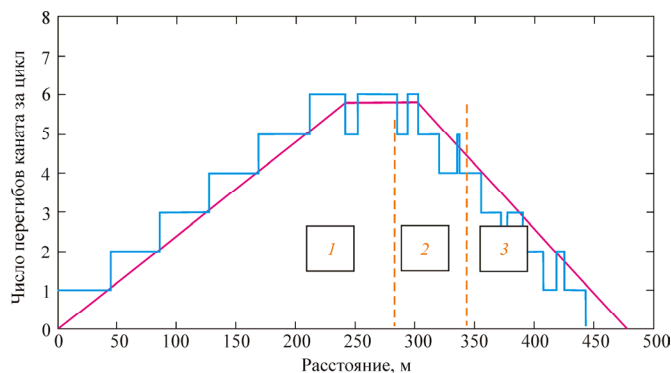


Рис. 3. Аппроксимация характера изменения перегибов по длине каната в оснастке простыми функциями: 1, 2, 3 – номера участков

Таблица 2

Зависимость числа перегибов каната на блоках от координаты участка каната в оснастке

Номер участка	Диапазон изменения координаты x , отсчитываемой от точки схода каната с барабана лебедки при нижнем положении талевого блока	Зависимость числа перегибов от координаты $n(x)$
1	$0 \leq x \leq \varepsilon \cdot i_{т.с} \cdot l_{св}$	$n_1(x) = \frac{x}{h_1}$
2	$\varepsilon \cdot i_{т.с} \cdot l_{св} < x \leq \varepsilon \cdot i_{т.с} \cdot l_{св} + h_2 + h_{х.в}$	$n_2(x) = n_{max} = \frac{\varepsilon \cdot i_{т.с} \cdot l_{св}}{h_1}$
3	$\varepsilon \cdot i_{т.с} \cdot l_{св} + h_2 + h_{х.в} < x \leq \varepsilon \cdot i_{т.с} \cdot l_{св} + h_2 + h_{х.в} + i_{т.с} \cdot h_2$	$n_3(x) = \frac{\varepsilon \cdot i_{т.с} \cdot l_{св}}{h_1} - x \left(\frac{1}{h_2} - \frac{1}{h_1} \right)$

Введем обозначения для упрощения выражений: $h_1 = h_{x.в} = h$; $\varepsilon \cdot l_{св} = l$; $i_{т.с} = i$; $h_2 = h_1 - \varepsilon \cdot l_{св} = h - l$, тогда

$$F_1 = \int_0^{i \cdot l} \frac{x}{h_1} dx = \frac{(i \cdot l)^2}{2h}; \quad (5)$$

$$F_2 = \int_{\varepsilon \cdot i \cdot l_{св}}^{\varepsilon \cdot i \cdot l_{св} + h_2 + h_{x.в}} \frac{\varepsilon \cdot i \cdot l_{св}}{h_1} dx = \frac{i \cdot l}{h} \int_0^{2h-l} dx = 2i \cdot l - \frac{i \cdot l^2}{h}. \quad (6)$$

По аналогии

$$F_3 = \int_0^{i(h-l)} \left[\frac{i \cdot l}{h} - \frac{x \cdot l}{h(h-l)} \right] dx = \frac{i \cdot l}{h} i(h-l) - \frac{(i(h-l))^2 l}{2h(h-l)} = \frac{i^2 l(h-l)}{h} - \frac{i^2 l(h-l)}{2h} = \frac{i^2 l(h-l)}{2h}. \quad (7)$$

Сложив F_1, F_2, F_3 и упростив выражение, получим

$$F = \frac{i \cdot l(4h - 2l + i \cdot h)}{2h}. \quad (8)$$

Из формул (7) и (8) следует, что

$$k_{уд} = \frac{A_{пол}}{F} = \frac{2A_{пол}h_1}{\varepsilon \cdot i_{т.с} \cdot l_{св} (4h_1 - 2\varepsilon \cdot l_{св} + i_{т.с} \cdot h_1)}. \quad (9)$$

При этом удельная работа каната для участка с максимальным числом перегибов $n_{max} = \frac{\varepsilon \cdot i_{т.с} \cdot l_{св}}{h_1}$ будет

$$a_{max} = k_{уд} \cdot n_{max} = \frac{2A_{пол}}{4h_1 - 2\varepsilon \cdot l_{св} + i_{т.с} \cdot h_1}. \quad (10)$$

Из формулы видно, что удельная работа участка каната зависит от длины рабочей ветви h_1 , высоты подъема (длины свечи $l_{св}$), кратности оснастки $i_{т.с}$ и вели-

чины переподъема талевого блока ε , т.е. от параметров подъемной системы.

Поскольку для талевых систем, применяемых в буровых установках, $i_{т.с}$ равно 8; 10; 12; 14 для соответствующей кратности оснастки, то формулу (10) можно еще упростить:

для оснастки 4×5, $i_{т.с} = 8$

$$a_{4 \times 5} = \frac{A_{пол}}{6h_1 - \varepsilon \cdot l_{св}}; \quad (11)$$

для оснастки 5×6, $i_{т.с} = 10$

$$a_{5 \times 6} = \frac{A_{пол}}{7h_1 - \varepsilon \cdot l_{св}}; \quad (12)$$

для оснастки 6×7, $i_{т.с} = 12$

$$a_{6 \times 7} = \frac{A_{пол}}{8h_1 - \varepsilon \cdot l_{св}}, \quad (13)$$

и т.д.

Видно, что с увеличением кратности оснастки удельная работа будет уменьшаться, т.е. будет снижаться неравномерность ее распределения по длине каната в оснастке.

Удельная работа каната, рассчитанная из условия одинакового нагружения по всей длине каната в оснастке, будет отличаться от удельной работы наиболее нагруженного участка, рассчитанной по предложенной методике. Это отличие можно оценить коэффициентом работы, полученным отношением удельных работ:

$$K_a = \frac{2L_k}{4h_1 - 2\varepsilon \cdot l_{св} + i_{т.с} \cdot h_1}, \quad (14)$$

где L_k – длина талевого каната в оснастке.

Зависимость K_a в функции длины свечи (высоты подъема) $l_{св}$ для различной кратности оснастки и высоты вышки 45 м представлена на рис. 4.

Из приведенных графиков следует, что удельная работа участка каната, совершающего наибольшее число перегибов на блоках талевой системы при подъеме свечи длиной 25–27 м и высоте вышки 45 м в 1,9–1,95 раз больше, чем средняя удельная работа каната.

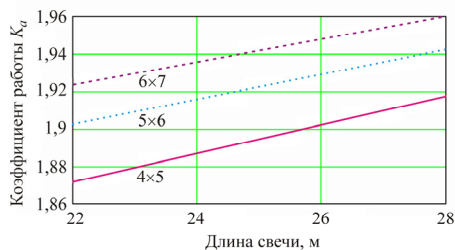


Рис. 4. Зависимость K_a от длины свечи $L_{св}$ для вышки 45 м и различной кратности оснастки

Заключение

1. Применяемый в настоящее время метод оценки технического ресурса талевого каната путем определения полезной работы при спуско-подъемных операциях позволяет лишь ориентировочно оценивать работоспособность каната, так как не учитывает множества факторов, связанных со спецификой работы бур-

вых установок и работы каната в талевой системе.

2. Предложенная методика расчета удельной работы каната позволяет объективно оценивать технический ресурс талевых канатов в различных условиях работы с учетом параметров подъемной системы; уточнить известные методики расчета наработки и долговечности талевых канатов; разрабатывать критерии оценки факторов износа канатов.

3. Повышение точности расчета показателей долговечности: удельной работы, числа циклов нагружения, эквивалентных нагрузок и др. – позволит корректировать отработку талевых канатов и их удельный расход в различных условиях бурения и на различных буровых установках с учетом параметров талевой системы, высоты подъема, числа рейсов, рейсовой нагрузки и т.д.

Список литературы

- Архипов К.И., Попов В.И., Попов И.В. Талевые канаты буровых и нефтепромысловых подъемных установок. – Альметьевск, 1998. – 174 с.
- Букштейн М.А. Стальные канаты нефтегазодобывающей промышленности. – М.: Недра, 1969. – 158 с.
- Сергеев С.Т. Стальные канаты. – Киев: Техника, 1974. – 328 с.
- Specialist steel & fibre rope solutions for the oil & gas industry BRIDON ROPES. Oilfield catalogue. – 2014. – 72 p., available at: <http://www.bridon.com> (дата обращения: 11.03.2015).
- Быков И.Ю., Трифанов Г.Д., Воробель С.В. Оценка факторов износа талевого каната и выбор рациональной длины перепуска // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море / Всерос. науч.-исслед. ин-т организации, управления и экономики нефтегаз. промышленности. – 2007. – № 5. – С. 25–28.
- Верстаков Г.В. Определение степени и характера износа канатов при одно- и двухслойной навивках на барабаны // Стальные канаты. – Киев: Техника, 1964. – Вып. 2. – С. 282–289.
- Воробель С.В. Оценка износа талевых канатов и методика их рациональной отработки // Вестник Пермского государственного технического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2006. – № 1. – С. 285–293.
- Малиновский В.А. К вопросу о многослойной навивке стального каната на барабан // Стальные канаты. – Одесса, 2005. – № 4 – С. 151–162.
- Verreet R. Повреждение проволочных канатов в результате изгибной усталости и раздавливания на барабанах // Бюл. Междунар. ассоциации исследователей стальных канатов. – Одесса, 2003. – № 5–6. – С. 15–39.
- Трифанов Г.Д., Кошкин А.П., Воробель С.В. О работоспособности талевых канатов на буровых Урала и Западной Сибири // Строительство нефтяных скважин на суше и на море. – 2003. – № 2. – С. 11–13.
- Verreet R., Lindsay W. Wire rope inspection and examination / Casar Drahtseilwerk Saar GmbH. – Aachen, 2014. – 34 p.
- Recommended Practice on Application Care, and Use of Wire Rope for Oil Field Service. API Recommended Practice 9B: API RP 9B-2005. – 12th ed. – Product No G09B12 / American Petroleum Institute. – 2005. – 33 p.
- Шахмалиев Г.М. О методике определения работоспособности талевого каната при бурении нефтяных и газовых скважин // Стальные канаты. – Киев: Техника, 1967. – Вып. 4. – С. 250–253.
- Воробель С.В. Повышение эффективности эксплуатации талевых канатов на буровых установках // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2005. – Вып. 9–10. – С. 75–76.
- Воробель С.В. Методика расчета талевого каната на выносливость // Стальные канаты. – Одесса, 2007. – Вып. 5. – С. 79–88.

References

- Arkhipov K.I., Popov V.I., Popov I.V. Talevye kanaty burovyykh i neftepromyslovykh pod'emnykh ustanovok [Steel ropes of drilling and oil-field hoisting systems]. Al'met'evsk, 1998. 174 p.
- Bukshtein M.A. Stal'nye kanaty neftegazodobyvaiushchei promyshlennosti [Steel ropes of oil-and-gas industry]. Moscow: Nedra, 1969. 158 p.
- Sergeev S.T. Stal'nye kanaty [Steel ropes]. Kiev: Tekhnika, 1974. 328 p.
- Specialist steel & fibre rope solutions for the oil & gas industry BRIDON ROPES. Oilfield catalogue. 2014. 72 p., available at: <http://www.bridon.com> (accessed 11 March 2015).
- Bykov I.Yu., Trifanov G.D., Vorobel' S.V. Otsenka faktorov iznosa talevogo kanata i vybor ratsional'noi dliny perepuska [Assessment of cable wear factors and selection of efficient lap length]. *Stroitel'stvo nef'tnykh i gazovykh skvazhin na sushe i na more*. Moscow: Vserossiiskii nauchno-issledovatel'skii institut organizatsii, upravleniia i ekonomiki neftegazovoi promyshlennosti, 2007, no. 5, pp. 25–28.
- Verstakov G.V. Opredelenie stepeni i kharaktera iznosa kanatov pri odno- i dvukhsloinoi navivkakh na barabany [Evaluation of wear degree and nature for single and double layer winding]. *Stal'nye kanaty*. Kiev: Tekhnika, 1964, iss. 2, pp. 282–289.
- Vorobel' S.V. Otsenka iznosa talevykh kanatov i metodika ikh ratsional'noi otrabotki [Assessment of calf line wear and methods of its efficient trial]. *Vestnik Permskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Geologiya. Neftgazovoe i gornoe delo*, 2006, no. 1, pp. 285–293.
- Malinovskii V.A. K voprosu o mnogosloinoi navivke stal'nogo kanata na baraban [On multilayer winding of steel ropes]. *Stal'nye kanaty*. Odessa: Astropoint, 2005, no. 4, pp. 151–162.

9. Verreet R. Povrezhdenie provolochnykh kanatov v rezul'tate izgibnoi ustalosti i razdavlivaniia na barabane [Damage to wire line resulting from bending fatigue and pulley load]. *Biulleten' Mezhdunarodnoi assotsiatsii issledovatelei stal'nykh kanatov*. Odessa: Astroprint, 2003, no. 5-6, pp. 15-39.
10. Trifanov G.D., Koshkin A.P., Vorobel' S.V. O rabotosposobnosti talevykh kanatov na burovykh Urala i Zapadnoi Sibiri [On performance of wire lines in rigs of the Ural and West Siberia]. *Stroitel'stvo nefiannykh skvazhin na sushe i na more*, 2003, no. 2, pp. 11-13.
11. Verreet R., Lindsay W. Wire rope inspection and examination. Casar Drahtseilwerk Saar GmbH. Aachen, 2014. 34 p.
12. Recommended Practice on Application Care, and Use of Wire Rope for Oil Field Service. API Recommended Practice 9B. API RP 9B-2005. 12th ed. Product No G09B12. American Petroleum Institut, 2005. 33 p.
13. Shakhmaliev G.M. O metodike opredeleniia rabotosposobnosti talevogo kanata pri bureniі nefiannykh i gazovykh skvazhin [On evaluating performance of wire lines in drilling oil and gas wells]. *Stal'nye kanaty*. Kiev: Tekhnika, 1967, iss. 4, pp. 250-253.
14. Vorobel' S.V. Povyshenie effektivnosti ekspluatatsii talevykh kanatov na burovykh ustanovkakh [Improving operation efficiency of steel ropes in rigs]. *Geologіia, geofizika i razrabotka nefiannykh i gazovykh mestorozhdenii*, 2005, iss. 9-10, pp. 75-76.
15. Vorobel' S.V. Metodika rascheta talevogo kanata na vynoslivost' [A method to calculate wire line hardness]. *Stal'nye kanaty*. Odessa: Astroprint, 2007, iss. 5, pp. 79-88.

Получено 30.03.2015

Об авторах

Трифанов Геннадий Дмитриевич (Пермь, Россия) – доктор технических наук, заведующий кафедрой горной электромеханики Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29; e-mail: kanat@pstu.ru).

Воробель Сергей Викторович (Пермь, Россия) – кандидат технических наук, доцент кафедры горной электромеханики Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29; e-mail: sergey@vetlan.ru).

About the authors

Gennadii D. Trifanov (Perm, Russian Federation) – Doctor of Technical Sciences, Head of Department of Rock Electrical Engineering, Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, Komsomolsky av., 29; e-mail: kanat@pstu.ru).

Sergei V. Vorobel' (Perm, Russian Federation) – Ph. D. in Technical Sciences, Associate Professor, Department of Rock Electrical Engineering, Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, Komsomolsky av., 29; e-mail: sergey@vetlan.ru).

Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом:

Трифанов Г.Д., Воробель С.В. Методика определения удельной работы талевого каната // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2015. – № 15. – С. 90–97. DOI: 10.15593/2224-9923/2015.15.10

Please cite this article in English as:

Trifanov G.D., Vorobel' S.V. A Method to measure specific work of drilling cables. *Bulletin of PNRPU. Geology. Oil & Gas Engineering & Mining*, 2015, no. 15, pp. 90-97. DOI: 10.15593/2224-9923/2015.15.10