Нефтегазовое дело. 2021. Т. 19, № 6. С. 174–183. ISSN 2073-0128 (print)

Petroleum Engineering. 2021. Vol. 19, No. 6, P. 174–183. ISSN 2073-0128 (print)

Научная статья

УДК 622.23.05

doi: 10.17122/ngdelo-2021-6-174-183

ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ ЦАНГОВЫХ МЕХАНИЗМОВ В ПАКЕРНЫХ СИСТЕМАХ ПРИ ПОВТОРНЫХ ПОСАДКАХ В СКВАЖИНЕ

Илья Сергеевич Копейкин¹, Александр Васильевич Лягов¹,
Рустэм Адипович Исмаков¹

¹Уфимский государственный нефтяной технический университет, Уфа, Россия

Автор, ответственный за переписку

Илья Сергеевич Копейкин, Ilya.kopeikyn@gmail.com

Аннотация. Условия работы пакерных систем в стволе нефтегазовых скважин связаны со спуско-подъемными операциями (СПО), необходимостью многократной посадки пакерного оборудования внутри скважины, прокачкой через него технологической жидкости и пропуска геофизических приборов.

Эксплуатационная эффективность пакерных систем определяется возможностью проводить многократные селективные работы внутри скважины с достаточным количеством спуско-подъемных операций, а надежность работы пакерного оборудования обеспечивается герметичной изоляцией интервалов скважины. Количество посадок пакерных систем, за одну СПО, влияет на функциональность работы оборудования в скважине, соответственно, и на снижение рисков возникновения осложнений при проведении геолого-технических мероприятий.

В данной работе представлены результаты исследований и разработки механизмов, обеспечивающих возможность многократно повторяющихся посадок пакерных систем, таких как цанговые механизмы.

Для цитирования

Копейкин И.С., Лягов А.В., Исмаков Р.А. Особенности работы цанговых механизмов в пакерных системах при повторных посадках в скважине // Нефтегазовое дело. 2021. Т. 19, № 6. С. 174–183. <https://doi.org/10.17122/ngdelo-2021-6-174-183>.

Ключевые слова

пакерная система, пакер, цанговый механизм, цанговый элемент, упругий гистерезис, узел активации

Original article

OPERATION FEATURES OF COLLET MECHANISMS IN PACKER SYSTEMS DURING REPEATED LANDING IN A WELL

Ilya S. Kopeikin¹, Alexander V. Lyagov¹, Rustem A. Ismakov¹

¹Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russia

Corresponding author

Ilya S. Kopeikin, Ilya.kopeikyn@gmail.com

Abstract. The operating conditions of packer systems in the bore of oil and gas wells are connected with pull-and-run completion (PRC), the need for multiple installation of packer equipment inside the well, pumping process fluid through it and passing geophysical instruments.

The operational efficiency of packer systems is determined by the ability to carry out multiple selective operations inside the well with a sufficient number of pull-and-run completion, and the reliability of the packer equipment is ensured by hermetically sealed well intervals. The number of packer systems installations during one PRC affects the functionality of the equipment in the well, and, accordingly, reduces the risk of complications during geological and technical operations.

This paper presents the results of research and development of mechanisms providing the possibility of repetitive installations of packer systems, such as collet mechanisms.

For citation

Kopeikin I.S., Lyagov A.V., Ismakov R.A. Osobennosti raboty tsangovykh mekhanizmov v pakernykh sistemakh pri povtornykh posadkakh v skvazhine [Operation Features of Collet Mechanisms in Packer Systems during Repeated Landing in a Well]. *Neftegazovoe delo — Petroleum Engineering*, 2021, Vol. 19, No. 6, pp. 174-183. [in Russian]. <https://doi.org/10.17122/ngdelo-2021-6-174-183>.

Введение

Пакерные системы широко применяются в нефтяной промышленности в процессе выполнения разных геолого-технологических мероприятий (ГТМ) на разных этапах жизненного цикла скважины. Использование пакерных систем можно наблюдать как при бурении и заканчивании скважин, так и при их эксплуатации, а также при текущем и капитальном ремонте.

В связи с обширной областью применения пакерных систем их почти невозможно стандартизировать. Кроме того, встречается пакерное оборудование, разработанное по индивидуальному техническому заданию, под определенное ГТМ конкретного месторождения или даже для отдельной скважины. В связи с этим количество конструкций пакерных систем огромное множество [1, 2].

Однако для выполнения основных функций, таких как герметизация кольцевого пространства скважины, в пакерных системах применяются узлы и детали с унифицированными свойствами и характеристиками. Например, такие как цанговые механизмы в узлах активации пакерных систем. Цанговые механизмы широко применяются в пакерах, работающих в условиях многократно-повторяющихся посадок в скважине за одну спуско-подъемную операцию. На рисунке 1 изображены цанговые элементы, которые представляют собой упругую деталь, способную значительно деформироваться в пределах пропорциональности, не вызывая отклонений поведения от закона Гука [3, 4].

Keywords

packer system, packer, collet mechanism, collet element, elastic hysteresis, activation unit

Рисунок 1. Цанговые элементы

Figure 1. Collet elements

Работа цанговых элементов в узлах активации пакерных систем при повторных посадках в скважине характеризуется их многократной деформацией. Необходимо отметить, что в сообществе конструкторов принимается обязательное условие, что геометрия таких элементов должна всегда восстанавливаться после повторных срабатываний, и на эффективность при эксплуатации пакерных систем не влияет. Однако исследования авторов, представленные в данной статье, показали, что многократно повторяющиеся срабатывания узла активации не только влияют на работу цангового элемента, но и изменяют функциональную и эксплуатационную эффективность пакерной системы в целом [5].

Таким образом, вопрос изучения работы цанговых элементов в пакерных системах является актуальным и определяется ростом

технического уровня оборудования для различных ГТМ, выполняемых в нефтяных и газовых скважинах.

Работа цанговых механизмов при многократно-повторяющихся активациях пакерной системы

С целью анализа работы цанговых механизмов в пакерной системе были выполнены стендовые испытания опытного образца пакерной системы в модульном исполнении, изображенной на рисунке 2 [6].

Разработанная пакерная система имеет узел активации, который выполнен в виде цангового механизма, состоящего из втулки, в которую устанавливается цанговый элемент в форме разрезного кольца. При создании нагрузки в 50–60 кН цанговый элемент сжимается и проходит через ограничивающие его перемещение пояски, расположенные на внутренней поверхности втулки и наружной поверхности разрезного кольца, изображенных на рисунке 3.

1 — модуль устройства разъединения; 2 — модуль обратного клапана; 3 — узел раздвижных опор; 4 — модуль ПУ; 5 — модуль ЯУ; 6 — узел активации

1 — disconnecting device module; 2 — check valve module; 3 — assembly of sliding supports; 4 — PU module; 5 — NU module; 6 — activation node

Рисунок 2. Пакерная система в модульном исполнении

Figure 2. Packer system in modular design

Рисунок 3. Узел активации: общий вид цангового механизма (a); ограничивающие пояски цангового механизма (b)

Figure 3. Activation node: general view of the collet mechanism (a); limiting belts of the collet mechanism (b)

Пакерная система была испытана 41 раз, при этом в каждом испытании происходила активация пакерной системы и перевод всех узлов в рабочее положение. В процессе выполнения испытаний было зафиксировано отсутствие постоянного значения усилий, необходимых для срабатывания цангового механизма в узле активации (рисунок 4). Значения усилий колебались в меньшую и большую сторону, но не превышали заданных параметров в 50–60 кН. Анализ усилий активации цангового механизма в зависимости от времени показал, что при многократно-повторяющихся срабатываниях с временными промежутками $t1 = t2 = t3 = t4 \leq 10$ мин происходит уменьшение значений усилий, необходимых для деформации цангового элемента. При этом установлено, что если следующий промежуток времени между активациями больше предыдущих $t5 > t1 = t2 = t3 = t4$, то происходит увеличение значений усилий, необходимых для деформации цангового элемента.

Рисунок 4. Колебания значений усилия, необходимого для деформации цангового элемента

Figure 4. Fluctuations in the values of the force for collet element deformation

В результате экспериментов было установлено, что причиной возникновения колебания усилий, необходимых для деформации цангового элемента, является наличие эффекта упругого гистерезиса в цанговом механизме узла активации пакерной системы [7, 8].

Упругий гистерезис определяется в виде запаздывания деформации цангового элемента в сравнении с прикладываемой нагрузкой, то есть деформация цангового элемента продолжается во времени, когда приложенная нагрузка стабилизировалась в цанговом механизме. На упругой характеристике (рисунок 5) это явление отмечено участками АВ и С0 — кривая 1 [9, 10].

Несовпадение характеристик при нагружении и при разгрузке (распрямлении), которая характеризуется кривой 2 на рисунке 5, также подтверждает наличие упругого гистерезиса в цанговом механизме. Фактически в цанговом механизме происходит отставание деформации цангового элемента от возникающего в нем напряжения, в связи с чем в каждый момент времени величина деформации цанги является результатом его «предыстории» — или петли упругого гистерезиса. Наличие установленного отставания деформации и увеличения существующего отставания от предыдущего нагружения демонстрируют результаты испытаний 4–8 и 12–14, проиллюстрированных на рисунке 4. При каждом следующем нагружении усилие, необходимое для деформации цангового элемента, снижается.

1 — кривая запаздывания деформации цангового элемента; 2 — кривая нагружения цангового элемента

1 — curve of the deformation lag of the collet element; 2 — loading curve of the collet element

Рисунок 5. Петля упругого гистерезиса

Figure 5. Elastic hysteresis loop

Кроме того, немаловажно отметить эффект затухания петли упругого гистерезиса при увеличении временного промежутка между срабатываниями цангового механизма.

Таким образом, на основании вышеизложенного возникает ряд вопросов касательно работы цангового механизма, ответить на которые позволили дополнительные аналитические и экспериментальные исследования цангового элемента, используемого в опытном образце пакерной системы.

Математическое описание работы цангового механизма

Для получения математической модели упруго элемента в цанговом механизме было рассмотрено условие устойчивости изогнутого участка длиной ds (рисунок 6), находящегося под действием равномерно распределённой по поверхности внешней нагрузки q .

Рисунок 6. Условие равновесия изогнутого участка цангового элемента

Figure 6. Equilibrium condition of the curved section of the collet element

В сечении цанги возникает поперечная сила Q , изгибающий момент M и нормальная сила, которая представлена в виде суммы до критической силы q_R и малых добавок N . При создании внешней нагрузки на упругий элемент нормальная q_n и касательная q_t нагрузки равняются нулю, то есть $q_n = q_t = 0$. Через R_1 обозначается новый местный радиус кривизны изогнутого элемента цанги:

$$\frac{1}{R_1} = \frac{1}{R} - \varkappa, \quad (1)$$

где $\varkappa$ — это изменение кривизны дуги цанги.

Уравнение равновесия цангового элемента в форме кольца будет [3]:

$$\begin{aligned} Q &= \frac{dM}{ds}, \frac{dN}{ds} + q_t + \frac{Q}{R_1} = 0, \\ q + q_n + \frac{dQ}{ds} - \frac{N + qR}{R_1} &= 0. \end{aligned} \quad (2)$$

Исключив $1/R_1$ и, учитывая, что $\varkappa$, Q и N — величины малые, и исключив их, а также принимая во внимание, что $M = EJ \varkappa$, получим:

$$EJ \frac{d^3 \varkappa}{ds^3} + \left(qR + \frac{EJ}{R^2} \right) \frac{d\varkappa}{ds} + \frac{dq_n}{ds} + \frac{1}{R} q_t = 0. \quad (3)$$

Так как нагрузка на цангу действует по всей поверхности пояска, то можно принять, что цанга нагружена давлением, определяемым нормалью к поверхности. Тогда, как было упомянуто выше, $q_n = q_t = 0$, а $\varkappa = A \sin \frac{ns}{R}$. Следовательно, уравнение принимает следующий вид:

$$-EJ \frac{n^3}{R^3} + \left(qR + \frac{EJ}{R^2} \right) \frac{n}{R} = 0; \quad (4)$$

$$q_{кр} = \frac{(n^2 - 1)EJ}{R^3}. \quad (5)$$

При этом наименьшее нулевое значение $q_{кр}$ принято при $n = 2$. В результате было получено уравнение равновесия цангового элемента:

$$q_{кр} = \frac{3EJ}{R^3}. \quad (6)$$

Так как полученная зависимость справедлива для цельной цанги (рисунок 7, а), необходимо учесть участок цангового элемента, который был вырезан.

Для этого выразим длину окружности цангового элемента, имеющего форму разрезного кольца (рисунок 7, б). При этом примем длину окружности цангового элемента, если бы он имел форму кольца, по известной формуле:

$$L_0 = 2\pi R, \quad (7)$$

где L_0 — длина окружности цангового элемента, имеющего форму цельного кольца;

R — средний радиус цангового элемента.

Длина вырезанного сектора кольца цангового элемента определяется по формуле:

Рисунок 7. Геометрические формы цангового элемента: форма цельного кольца (а); форма разрезного кольца (б)

Figure 7. Geometric shapes of the collet element: the shape of a solid ring (a); the shape of the split ring (b)

$$l_0 = \pi R \alpha / 180^\circ, \quad (8)$$

где l_0 — длина вырезанного сектора цангового элемента;

α — угол вырезанного сектора цангового элемента (рисунок 8).

Следовательно, длина окружности цангового элемента, имеющего форму разрезного кольца, выразится формулой:

$$L = L_0 - l_0 = 2\pi R - \frac{\pi R \alpha}{180^\circ}. \quad (9)$$

Вынесем $2\pi R$ за скобки и получим следующее уравнение:

$$L = 2\pi R \left(1 - \frac{\alpha}{360^\circ}\right). \quad (10)$$

Рисунок 8. Вырезанный сектор цангового элемента

Figure 8. The cut-out sector of the collet element

Из полученного уравнения можно сделать вывод, что за вырезанный сектор окружности цангового элемента отвечает отношение $\alpha/360^\circ$. Примем, что $\xi = \alpha/360^\circ$. Тогда формула (6) примет вид:

$$q_{кр} = \frac{3EJ\xi}{R^3}. \quad (11)$$

Кроме того, необходимо отметить наличие потерь от сил, возникающих при трении материала цангового элемента и втулки (рисунок 3). В связи с этим в формулу (11) включен коэффициент трения $f = 0,15$.

$$q_{кр} = \frac{3EJ\xi}{R^3 f}. \quad (12)$$

Для корректного выражения необходимого усилия деформации цангового элемента не-

обходимо разобраться, как действуют силы на пояски цанги и втулки в цанговом механизме.

Критическая нагрузка $q_{кр}$ воздействует на наклонную поверхность пояска цангового элемента с углом наклона 65° (рисунок 3, b). Таким образом, осевая нагрузка Q , необходимая для деформации цангового элемента, выражается из уравнения (12) следующим образом:

$$Q = \frac{3EJ\xi}{PR^3 f} \operatorname{tg} 65^\circ. \quad (13)$$

При аналитическом решении формулы (13) было получено, что нагрузка, необходимая для потери устойчивости цангового элемента, используемого в цанговом механизме опытного образца пакерного устройства, равна 49,5 кН, что и объясняет отсутствие превышения нагрузки в стендовых испытаниях свыше 50–60 кН.

Стендовые эксперименты с опытным образцом цангового механизма

С целью подтверждения наличия упругого гистерезиса при многократно-повторяющихся посадках пакерных систем были выполнены стендовые эксперименты с опытным образцом цангового механизма (рисунок 9) на сервогидравлической испытательной системе INSTRON 8801 (рисунок 10) в Центре коллективного пользования «Недра» при ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет».

Рисунок 9. Опытные образцы узла активации

Figure 9. Prototypes of the activation node

Рисунок 10. Сервогидравлическая испытательная система INSTRON 8801

Figure 10. INSTRON 8801 servo-hydraulic test system

С целью наблюдения закономерности изменения усилия Q , необходимого для срабатывания цангового механизма, стендовый эксперимент был выполнен тремя отдельными блоками опытов. В каждом блоке цанговый механизм 5 раз переводился в рабочее положение с периодичностью $t = 10$ мин. Между блоками испытаний устанавливался продолжительный временной период $T = 60-30$ мин, в котором цанговый механизм не работал.

Рисунок 11. Гистограмма активаций цангового механизма в 1-ом блоке эксперимента

Figure 11. Histogram of the collet mechanism activations in the 1st block of the experiment

Выполнение пяти опытов в 1-ом блоке стендовых экспериментов показало, что значения усилия Q , необходимого для повторного срабатывания цангового механизма, имеет убывающий вектор (рисунок 11), также как и при стендовых испытаниях опытного образца пакерной системы.

После выдержки временного промежутка $T = 60$ мин $> t_1 = t_2 = t_3 = t_4 = t_5$ был выполнен 2-ой блок опытов. При этом значение усилия активации цангового механизма Q в первом опыте 2-го блока эксперимента был тождествен значению Q при первом опыте 1-го блока эксперимента. Выполнение 2-го блока стендовых экспериментов также показало убывающую закономерность необходимых значений усилия Q при повторных срабатываниях цангового механизма (рисунок 12).

После выдержки временного промежутка $T = 30$ мин $> t_1 = t_2 = t_3 = t_4 = t_5$ был выполнен 3-ий блок экспериментов, состоящий из пяти опытов. При этом значения усилия Q , необходимого для срабатывания цангового механизма, отличались от результатов в 1-ом и 2-ом блоках экспериментов.

Зафиксированные результаты (рисунок 13) не только подтвердили наличие упруго гистерезиса в цанговом механизме, но и показали наличие эффекта уменьшения площади петли упруго гистерезиса при многократно-повторяющихся срабатываниях цангового механизма (рисунок 14), который зависит от количества срабатываний и промежутка времени между ними.

Рисунок 12. Гистограмма активаций цангового механизма во 2-ом блоке эксперимента

Figure 12. Histogram of the collet mechanism activations in the 2nd block of the experiment

Рисунок 13. Гистограмма активаций цангового механизма в стендовом эксперименте из 3-х блоков

Figure 13. Histogram of the collet mechanism activations in a bench experiment of 3 blocks

Рисунок 14. Площадь петли упругого гистерезиса цангового механизма в зависимости от количества срабатываний

Figure 14. Loop area of the elastic hysteresis of the collet mechanism depending on the number of operations

Выводы

Выполненные экспериментальные и аналитические исследования с пакерными системами, работающими в условиях многократно-повторяющихся посадок за одну спускоподъемную операцию, показали, что характер работы отдельных узлов таких систем не исследован. К таким узлам относятся цанговые механизмы, эксплуатационные показатели которых изменяются при

последовательных повторных срабатываниях. Изменение данных показателей характеризует наличие эффекта уменьшения петли упругого гистерезиса в цанговом механизме, который зависит от количества активаций пакерной системы и времени между этими активациями.

С помощью математического и конечно-элементного моделирования возможно получение предварительных данных о работе цан-

говых механизмов в пакерной системе с высокой сходимостью с результатами опытных испытаний оборудования, что в будущем обеспечит сокращение затрат на доработку и совершенствование оборудования при промышленных опытах.

Полученные закономерности изменения осевого усилия срабатывания цангового меха-

низма необходимо применять при проектировании оборудования, работающего в условиях многократно-повторяющихся активаций, и использовать в составе инструкций или рекомендаций при работе персонала с подобными системами для снижения вероятности возникновения осложнений на производстве.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Левинсон Л.М., Мухаметов Ф.Х. Управление искривлением наклонно-направленных и горизонтальных скважин. Уфа: Изд-во Монография, 2018. 144 с.

2. Молоканов Ю.К., Харас З.Б. Монтаж аппаратов и оборудования нефтяной и газовой промышленности. М.: Недра, 1982. 391 с.

3. Копейкин И.С. Совершенствование пакерно-якорной технической системы для селективных геолого-технических мероприятий в необсаженном стволе скважины: дис. ... канд. техн. наук. Уфа, 2021. 198 с.

4. Горбачева О.А. Разработка и внедрение методов контроля и исследований скважин с межколонными давлениями на Астраханском ГКМ: дис. ... канд. техн. наук. Уфа, 2012. 194 с.

5. Пат. 182823 РФ, МПК Е 21 В 33/12. Пакерный модуль для автономной изоляции интервалов негерметичности в необсаженной скважине / И.С. Копейкин, А.В. Лягов, Ф.З. Булюкова, И.Н. Сулейманов. 2018123849, Заявлено 26.06.2018; Оpubл. 04.09.2018. Бюл. 25.

6. Пат. 198232 РФ, МПК Е 21 В 43/10. Пакер-подвеска для крепления хвостовика с устройством отсоединения бурильных труб / И.С. Копейкин, А.В. Лягов, А.В. Савельев. 2019139274, Заявлено 02.12.2019; Оpubл. 25.06.2020. Бюл. 18.

7. ASME B31.3-2016. Process Piping. New York: American Society of Mechanical Engineers, 2016. 562 p.

8. ASME Boiler and Pressure Vessel Code (BPVC). New York: American Society of Mechanical Engineers, 2015. 28 p.

9. Ross C.M., Williford J., Sanders M.W. Current Materials and Devices for Control of Fluid Loss // Asia Pacific Oil and Gas: Materials of SPE Conference and Exhibition. Jakarta, Indonesia. 1999. SPE-54323-MS. DOI: 10.2118/54323-MS.

10. Shao H., Ren S., Wang R., He A. Temperature Rising Elution Fractionation and Fraction Characterization of Trans-1, 4-Poly(isoprene-co-butadiene) // Polymer. 2020. Vol. 186. Article Number 122015. DOI: 10.1016/j.polymer.2019.122015.

REFERENCES

1. Levinson L.M., Mukhametov F.Kh. *Upravlenie iskrivleniem naklonno-napravlennykh i gorizontol'nykh*

skvazhin [Controlling Deviation of Deviated and Horizontal Wells]. Ufa, Monografiya Publ., 2018. 144 p. [in Russian].

2. Molokanov Yu.K., Kharas Z.B. *Montazh apparatov i oborudovaniya neftyanoi i gazovoi promyshlennosti* [Installation of Apparatuses and Equipment for the Oil and Gas Industry]. Moscow, Nedra Publ., 1982. 391 p. [in Russian].

3. Kopeikin I.S. *Sovershenstvovanie pakerno-yakornoj tekhnicheskoi sistemy dlya selektivnykh geologo-tekhnicheskikh meropriyatii v neobsazhennom stvole skvazhiny: dis. kand. tekhn. nauk* [Improvement of the Packer-Anchor Technical System for Selective Geological and Technical Measures in the Open Hole: Cand. Engin. Sci. Diss.]. Ufa, 2021. 198 p. [in Russian].

4. Gorbacheva O.A. *Razrabotka i vnedrenie metodov kontrolya i issledovaniy skvazhin s mezhkolonnymi davleniyami na Astrakhanskoye GKM: dis. kand. tekhn. nauk* [Development and Implementation of Methods for Monitoring and Testing Wells with Annular Pressures at the Astrakhan Gas Condensate Field: Cand. Engin. Sci. Diss.]. Ufa, 2012. 194 p. [in Russian].

5. Kopeikin I.S., Lyagov A.V., Bulyukova F.Z., Suleimanov I.N. *Pakernyi modul' dlya avtonomnoy izolyatsii intervalov nehermetichnosti v neobsazhennoy skvazhine* [Packer Module for Autonomous Isolation of Leakage Intervals in an Open Hole]. Patent RF, No. 182823, 2018. [in Russian].

6. Kopeikin I.S., Lyagov A.V., Savelev A.V. *Paker-podveska dlya krepneniya khvostovika s ustroystvom otsoedineniya buril'nykh trub* [Packer-Hanger for Liner Attachment with Drill Pipe Disconnect Device]. Patent RF, No. 198232, 2020. [in Russian].

7. ASME B31.3-2016. *Process Piping*. New York, American Society of Mechanical Engineers, 2016. 562 p.

8. ASME Boiler and Pressure Vessel Code (BPVC). New York, American Society of Mechanical Engineers, 2015. 28 p.

9. Ross C.M., Williford J., Sanders M.W. Current Materials and Devices for Control of Fluid Loss. *Materials of SPE Conference and Exhibition «Asia Pacific Oil and Gas»*. Jakarta, Indonesia, 1999, SPE-54323-MS. DOI: 10.2118/54323-MS.

10. Shao H., Ren S., Wang R., He A. Temperature Rising Elution Fractionation and Fraction Characterization of Trans-1, 4-Poly(isoprene-co-butadiene). *Polymer*, 2020, Vol. 186, Article Number 122015. DOI: 10.1016/j.polymer.2019.122015.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ
INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Копейкин Илья Сергеевич, кандидат технических наук, ассистент кафедры «Машины и оборудование нефтегазовых промыслов», УГНТУ, Уфа, Россия

Ilya S. Kopeikin, Candidate of Engineering Sciences, Assistant of Oil and Gas Field Machinery and Equipment Department, USPTU, Ufa, Russia

Ilya.kopeikyn@gmail.com

Лягов Александр Васильевич, доктор технических наук, профессор кафедры «Машины и оборудование нефтегазовых промыслов», УГНТУ, Уфа, Россия

Alexander V. Lyagov, Doctor of Engineering Sciences, Professor of Oil and Gas Field Machinery and Equipment Department, USPTU, Ufa, Russia

lyagovs@mail.ru

Исмаков Рустэм Адипович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Бурение нефтяных и газовых скважин», УГНТУ, Уфа, Россия

Rustem A. Ismakov, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of Oil and Gas Wells Drilling Department, USPTU, Ufa, Russia

ismakovrustem@gmail.com

Статья поступила в редакцию 15.10.2021; одобрена после рецензирования 22.10.2021; принята к публикации 01.11.2021.

The article was submitted 15.10.2021; approved after reviewing 22.10.2021; accepted for publication 01.11.2021.