

Методика исследования износа резьбы бурильных труб при многократном свинчивании и выдержке под нагрузкой

В. А. Яхимович¹, А. Д. Бреки¹, А. А. Альхименко¹, М. К. Куракин¹,
Д. В. Ляшенко¹, Е. В. Агеев² ✉, С. Н. Кутепов³, А. Е. Гвоздев³

¹ Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого
ул. Политехническая 29, г. Санкт-Петербург 195251, Российская Федерация

² Юго-Западный государственный университет
ул. 50 лет Октября 94, г. Курск 305040, Российская Федерация

³ Тульский государственный педагогический университет им. Л.Н. Толстого
пр. Ленина 125, г. Тула 300026, Российская Федерация

✉ e-mail: ageev_ev@mail.ru

Резюме

Цель исследования. Разработка методики исследования износа резьбы бурильных труб при многократном свинчивании и выдержке под нагрузкой.

Методы. Для исследований используется стенд ИРС-1, который представляет собой устройство для создания крутящего момента до 80 кНм и передачи его на свинчиваемую трубу. Стенд оснащен датчиком момента свинчивания и системой управления, реализующей свинчивание до достижения заданного момента затяжки или периодическое приложение момента к свинченной резьбовой паре. Методика испытаний с использованием стенда ИРС-1 представляет собой следующую последовательность действий: перед началом испытаний удаляются резьбовые протекторы; резьбы на ниппеле и втулке очищаются от консервационной смазки и следов коррозии сухим протиранием и последующим обезжириванием; резьба на ниппеле обмеряется согласно карте замеров с помощью калибра. Калибр изготовлен на основе отпечатка резьбовой поверхности и представляет собой пластинку с вырезами в форме поперечного сечения четырех ниток резьбы. Зазор между калибром и резьбой измеряется с помощью набора щупов: от 0,01 до 0,09 мм – с шагом 0,01 мм, свыше 0,1 мм до 0,45 мм – с шагом 0,05 мм, свыше 0,5 мм до 1 мм – с шагом 0,1 мм.

Результаты. Спроектирован и создан новый триботехнический стенд модели ИРС-1, позволяющий реализовать различные методики исследования износа резьбы бурильных труб при многократном свинчивании и выдержке под нагрузкой. Важной особенностью спроектированного стенда является его оснащение датчиком момента свинчивания и системой управления, реализующей свинчивание до достижения заданного момента затяжки или периодическое приложение момента к свинченной резьбовой паре. Максимальный крутящий момент, создаваемый стендом, составляет 80 кНм. Разработана частная методика, включающая в себя требования стандарта API 7G-2 и показавшая свою эффективность при исследовании износа

резьбы стальных бурильных труб. Для реализации методики разработан специальный калибр, изготовленный на основе отпечатка резьбовой поверхности и представляющий собой пластинку с вырезами в форме поперечного сечения четырех ниток резьбы. В границах методики разработана карта замеров с двумя выделенными областями измерений. Создан алгоритм свинчивания трубы с равномерной скоростью, включающий в себя три этапа. Разработан алгоритм измерений с использованием реперных меток, при использовании которого реализуются замеры в четырех точках каждой выделенной области.

Заключение. Полученные результаты могут быть использованы при создании ресурсосберегающих технологий обработки слитковых, порошковых и нанокomпозиционных материалов с различной дисперсностью фазовых и структурных составляющих, эксплуатируемых в экстремальных условиях и состояниях.

Ключевые слова: износ; бурильная труба; резьбовое соединение; свинчивание; смазочный материал; трение; буровая техника.

Конфликт интересов: Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Финансирование. Исследования выполнены при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках реализации программы Научного центра мирового уровня по направлению «Передовые цифровые технологии» СПбПУ (соглашение от 17.11.2020 № 075-15-2020-934).

Для цитирования: Методика исследования износа резьбы бурильных труб при многократном свинчивании и выдержке под нагрузкой / В. А. Яхимович, А. Д. Бреки, А. А. Альхименко, М. К. Куракин, Д. В. Ляшенко, Е. В. Агеев, С. Н. Кутепов, А. Е. Гвоздев // Известия Юго-Западного государственного университета. 2020; 24(3): 8-20. <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2020-24-3-8-20>.

Поступила в редакцию 15.04.2020

Подписана в печать 26.05.2020

Опубликована 30.06.2020

Methodology for Studying the Wear of Drill Pipe Threads during Repeated Making up and Holding under Load

Valeriy A. Yakhimovich¹, Aleksandr B. Breki¹, Aleksey A. Alkhimenko¹,
Maksim K. Kurakin¹, Daniil V. Lyashenko¹, Evgeniy V. Ageev² ✉,
Sergey N. Kutepov³, Aleksandr E. Gvozdev³

¹ Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University
29 Politechnicheskaya str., Saint Petersburg 195251, Russian Federation

² Southwest State University
50 Let Oktyabrya str. 94, Kursk 305040, Russian Federation

³ Tula State Pedagogical University named after L.N.Tolstoy
125 Tula ave., Tula 300026, Russian Federation

✉ e-mail: ageev_ev@mail.ru

Abstract

Purpose of research is to develop a methodology for studying the wear of drill pipe threads during repeated making up and holding under load.

Methods. For the research, stand “IRS-1” was used. This stand is a device for creating a torque of up to 80 kNm and transferring it to a made-up pipe. It is equipped with a make-up torque sensor and a control system that performs

make-up until the specified tightening torque is achieved or periodically applies the torque to the made-up thread pair. The test procedure for IRS-1 stand consists of the following sequence of actions: before starting the tests, the threaded protectors are removed; the threads on the nipple and sleeve are cleaned of the preservative grease and traces of corrosion by dry wiping and subsequent degreasing; the thread on the nipple is measured according to the measurement chart using a gauge. The gauge is made on the basis of the threaded surface impression and is a plate with cutouts in the form of a cross-section of four threads. The gap between the gauge and the thread is measured using a set of probes from 0.01 to 0.09 mm in increments of 0.01 mm, over 0.1 mm to 0.45 mm in increments of 0.05 mm, over 0.5 mm to 1 mm in increments of 0.1 mm.

Results. A new tribotechnical stand of IRS-1 model was designed and created, which allows implementing various techniques for studying the wear of drill pipe threads during repeated making-up and holding under load. An important feature of the designed stand is a make-up torque sensor and a control system that perform make-up until the specified tightening torque is achieved or periodically applies the torque to the made-up threaded pair. The maximum torque generated by the stand is 80 kNm. A particular technique was developed. The technique includes the requirements of the API 7G-2 standard and has shown its effectiveness in the study of thread wear of steel drill pipes. To implement the technique, a special gauge was developed on the basis of the threaded surface impression and is a plate with cutouts in the form of a cross-section of four threads. Within this technique, a measurement chart with two selected measurement areas was developed. An algorithm for making up a pipe at a uniform speed was created. The algorithm includes three stages. There was developed an algorithm of measurements using reference marks, providing measurements at four points in each selected area.

Conclusion. The results obtained can be used to create resource-saving technologies for processing ingot, powder, and nanocomposite materials with different dispersion of phase and structural components that are operated under extreme conditions and states.

Keywords: wear; drill pipe; threaded joint; making-up; grease; friction; drilling equipment.

Conflict of interest. The authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

Funding: The research was carried out with the financial support of the Ministry of education and science of Russia as part of the program of the world-class Scientific center in the direction of "Advanced digital technologies" of Spbpu (agreement No. 075-15-2020-934 of 17.11.2020).

For citation: Yakhimovich V. A., Breki A. B., Alkhimenko A. A., Kurakin M. K., Lyashenko D. V., Ageev E. V., Kutepov S. N., Gvozdev A. E. Methodology for Studying the Wear of Drill Pipe Threads during Repeated Making up and Holding under Load // *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of the Southwest State University*. 2020; 24(3): 8-20 (In Russ.). <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2020-24-3-8-20>.

Received 15.04.2020

Accepted 26.05.2020

Published 30.06.2020

Введение

В нефтепромысловом оборудовании бурильные трубы существенно влияют на технические и экономические показатели строительства различных скважин. В свою очередь, эффективность функционирования бурильных труб существенно зависит от качества и надежности замкового резьбового соединения [1]. Известно [2], что приме-

нительно к буровой технике, коническое резьбовое соединение имеет существенные преимущества по сравнению с цилиндрической резьбой. Прежде всего, это возможность создания в сопряжении относительно простым способом желаемой напряженной посадки, а также более качественное центрирование свинчиваемых деталей и быстрота сборки. В связи с этим коническая резьба широко использовалась и до настоящего времени

применяется в нефтепромысловой и буровой технике [2]. В процессе работы существенное значение играют эксплуатационные характеристики и герметичность резьбовых соединений бурильных труб [3, 4]. При многократном свинчивании происходит процесс трения и сопутствующий процесс изнашивания резьбы, в результате чего снижается надёжность работы [5]. В связи с этим, возникает необходимость разработки новых перспективных материалов для создания бурильных труб¹ [6-8], с одной стороны, и методик стендовых испытаний резьбовых соединений на

стойкость к износу при многократном свинчивании – с другой.

Целью настоящей работы является разработка методики исследования износа резьбы бурильных труб при многократном свинчивании и выдержке под нагрузкой.

Материалы и методы

Для исследований используется стенд ИРС-1, спроектированный в научно-технологическом комплексе «Новые технологии и материалы» ФГАОУ ВО «СПбПУ Петра Великого» (рис. 1).

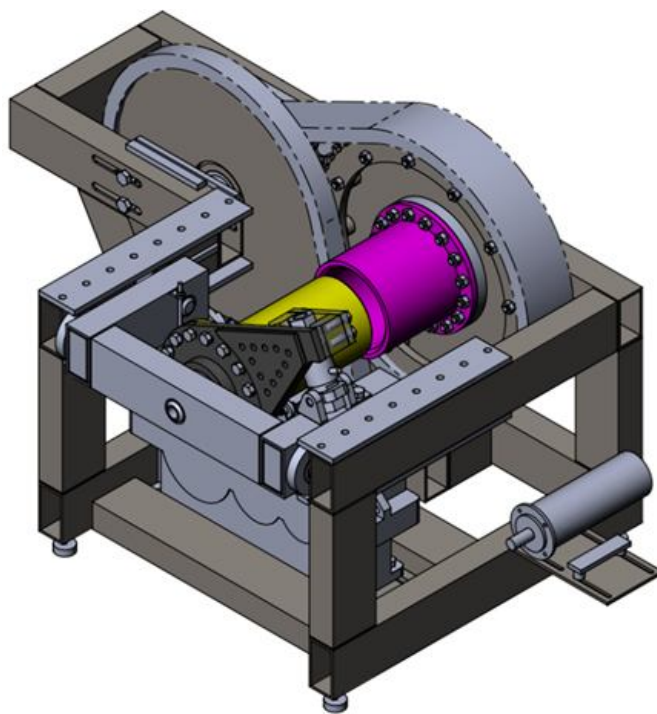


Рис. 1. Стенд для исследования износа резьбы бурильных труб модели ИРС-1

Fig. 1. Stand IRS-1 for the study of thread wear of drill pipes

Испытательный стенд ИРС-1 – устройство для создания крутящего момен-

та до 80 кН·м и передачи его на свинчиваемую трубу. Стенд оснащен датчиком момента свинчивания и системой управления, реализующей свинчивание до достижения заданного момента за-

¹ Иванова А.В. Повышение эксплуатационных характеристик трубных резьбовых конструкций, изготовленных из высокопрочных алюминиевых сплавов: автореф. дис... канд. техн. наук. Самара, 2013. 16 с.

тяжки или периодическое приложение момента к свинченной резьбовой паре.

Результаты и их обсуждение

Основные результаты с использованием стенда ИРС-1 были получены в следующей последовательности:

1. Перед началом испытаний удаляются резьбовые протекторы.

2. Резьбы на ниппеле и втулке очищаются от консервационной смазки и следов коррозии сухим протиранием и последующим обезжириванием.

3. Резьба на ниппеле обмеряется согласно карте замеров (рис. 2) с помощью калибра.

Калибр изготовлен на основе отпечатка резьбовой поверхности и представляет собой пластинку с вырезами в форме поперечного сечения четырех ниток резьбы. Зазор между калибром и резьбой измеряется с помощью набора щупов: от

0,01 до 0,09 мм – с шагом 0,01 мм; свыше 0,1 мм до 0,45 мм – с шагом 0,05 мм; свыше 0,5 мм до 1 мм – с шагом 0,1 мм.

4. Проводится визуальный осмотр резьбы на наличие дефектов, забоин и деформации витков.

5. Установленная на стенд труба вручную плавно водится в зацепление с муфтой и предварительно свинчивается на несколько оборотов резьбы на малой скорости (общий вид стенда с трубой приведен на рис. 3).

6. Дальнейшее свинчивание производится в автоматическом режиме в соответствии со следующим алгоритмом:

– свинчивание до момента 2 кН·м на мощностном режиме двигателя 100%;

– свинчивание до момента 20 кН·м на режиме 30 %;

– свинчивание до момента 49 кН·м на режиме 10 %.

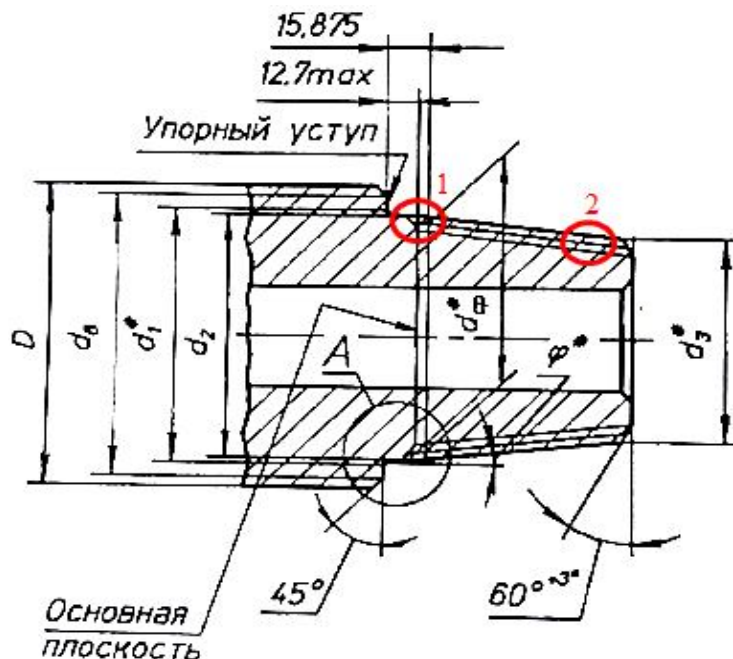


Рис. 2. Области замеров резьбы

Fig. 2. Thread measurement areas

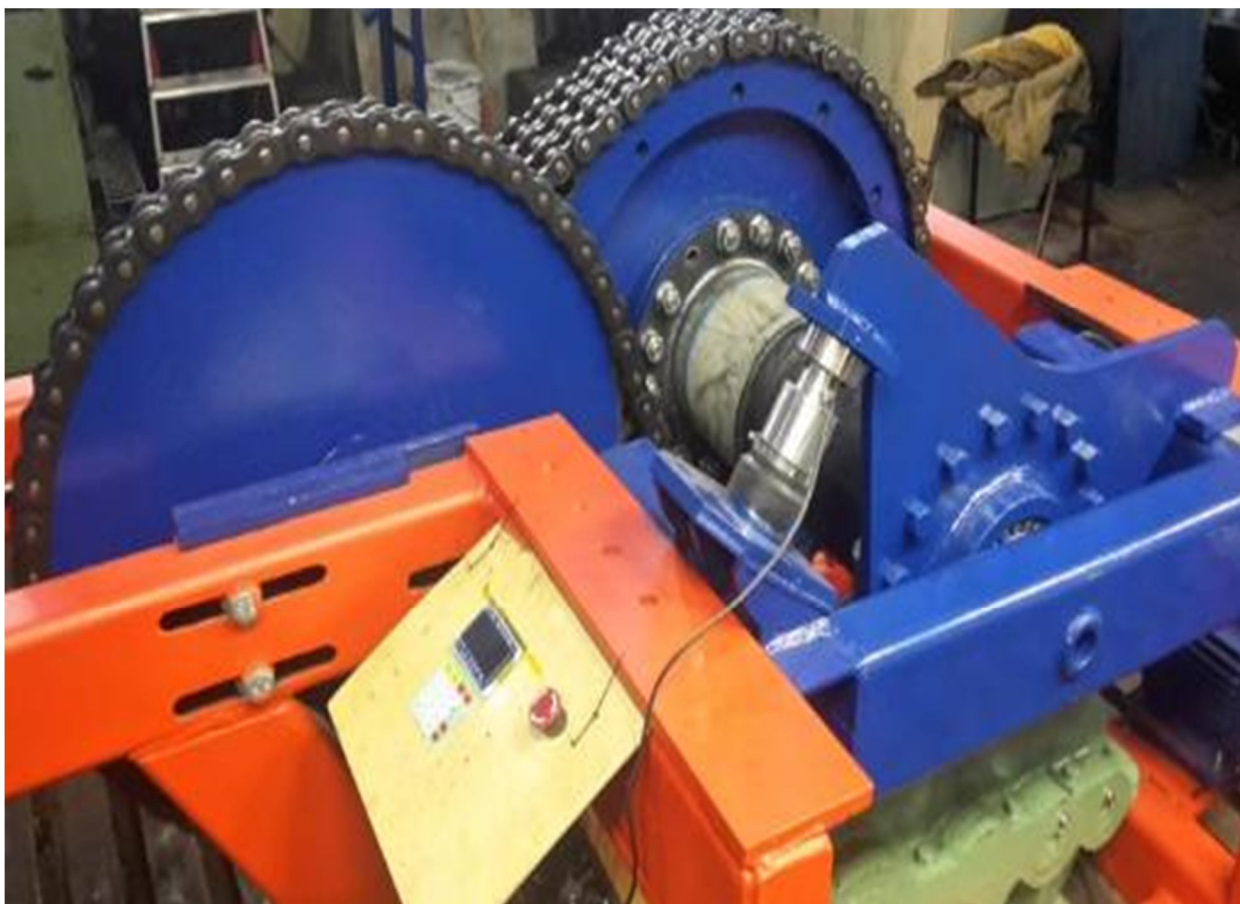


Рис. 3. Общий вид станда ИРС-1 в процессе свинчивания трубы

Fig. 3. General view of IRS-1 stand in the process of pipe making up

7. Свинчивание происходит с равномерной скоростью, причём, после свинчивания наносятся две пары меток на муфте и ниппеле (рис. 4).

8. После выдержки пары при моменте 57 кНм в течение часа замеряется смещение реперных меток, а далее пара ниппель-муфта свинчивается до момента 62 кНм. После последней операции вновь замеряется смещение реперных меток.

9. Далее пара выдерживается в течение 30 минут и развинчивается, после чего очищается от смазки для осмотра и измерений.

10. В процессе осмотра выявляется наличие задиров, оценивается износ резь-

бы и степень адгезии смазочного материала.

11. Свинчивание в соответствии с пунктами методики 1-10 повторяется в количестве, необходимом для хорошей статистики.

12. После окончания пятого и десятого циклов производятся обмеры резьбы, результаты которых заносятся в табл. 1. Измерения проводятся в областях 1 и 2 (см. рис. 2). Всего проводится по три набора измерений в каждой области, при этом в каждом наборе фиксируются замеры при углах 0, 90, 180 и 270° относительно реперной метки, показанной на рис.4.



Рис. 4. Метки, нанесенные на свинченные в первый раз трубы

Fig. 4. Marks applied to first-time made up pipes

Таблица 1. Максимальный измеренный зазор, мм

Table 1. Maximum measured gap, mm

Замер / Measuring	Область замеров 1 / Measurement area 1				Область замеров 2 / Measurement area 2			
	0°	90°	180°	270°	0°	90°	180°	270°
1	$d_{1,1,1}$	$d_{1,1,2}$	$d_{1,1,3}$	$d_{1,1,4}$	$d_{2,1,1}$	$d_{2,1,2}$	$d_{2,1,3}$	$d_{2,1,4}$
2	$d_{1,2,1}$	$d_{1,2,2}$	$d_{1,2,3}$	$d_{1,2,4}$	$d_{2,2,1}$	$d_{2,2,2}$	$d_{2,2,3}$	$d_{2,2,4}$
3	$d_{1,3,1}$	$d_{1,3,2}$	$d_{1,3,3}$	$d_{1,3,4}$	$d_{2,3,1}$	$d_{2,3,2}$	$d_{2,3,3}$	$d_{2,3,4}$
Износ	$\Delta d_{1,0}$	$\Delta d_{1,90}$	$\Delta d_{1,180}$	$\Delta d_{1,270}$	$\Delta d_{2,0}$	$\Delta d_{2,90}$	$\Delta d_{2,180}$	$\Delta d_{2,270}$

Замер 1 осуществляется перед началом испытаний, замер 2 после пятого свинчивания, замер 3 после десятого свинчивания, строка 4 – износ резьбы за время испытаний (разница между замером 3 и замером 1).

Полученные данные по значению износа сравниваются с максимально до-

пустимым его значением в соответствии со стандартом API 7G-2, в результате чего устанавливается соответствие резьбового соединения требованиям данного стандарта. Эти сведения в дальнейшем используются при проектировании изделий, эксплуатируемых в экстремальных условиях и состояниях [10-22].

Выводы

В процессе проделанной работы получены следующие основные результаты:

1. Спроектирован и создан новый трибологический стенд модели ИРС-1, позволяющий реализовывать различные методики исследования износа резьбы буровых труб при многократном свинчивании и выдержке под нагрузкой.

2. Разработана частная методика исследования износа резьбы буровых труб при многократном свинчивании и выдержке под нагрузкой.

3. Созданная методика показала свою эффективность при исследовании износа резьбы стальных буровых труб при многократном свинчивании и выдержке под нагрузкой.

4. Разработанная частная методика включает в себя требования стандарта API 7G-2.

Полученные результаты могут быть использованы при создании ресурсосберегающих технологий обработки слитковых, порошковых и нанокпозиционных материалов с различной дисперсностью фазовых и структурных составляющих, эксплуатируемых в экстремальных условиях и состояниях.

Список литературы

1. Семин В.И. Применение современных методик проектирования резьбовых соединений труб нефтегазового сортамента // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. 2012. № 7. С. 6-9.

2. Семин В.И. Совершенствование конструкций резьбовых соединений труб нефтегазового сортамента и забойных двигателей // Вестник Ассоциации буровых подрядчиков. 2013. № 1. С. 33-37.

3. Басович В.С., Буяновский И.Н., Петункин И.В. Влияние момента крепления замковых соединений на эксплуатационные характеристики алюминиевых буровых труб // Бурение и нефть. 2016. № 4. С. 42-47.

4. Мукашев Н.Б. Герметичность резьбовых соединений буровых труб // СЕВЕРГЕОЭКОТЕХ-2013: материалы XIV международной молодежной научной конференции: в 5 ч. Ухта, 2013. С. 122-125.

5. Кузьминых Д.В. Совершенствование методов повышения долговечности замкового соединения буровой колонны при многократном свинчивании // Севергеоэко-тех-2011: материалы XII международной молодежной научной конференции: в 5 ч. Ухта, 2011. С. 140-145.

6. Вахрушев А.В. Высокомоментные резьбовые соединения буровых труб. Опыт применения // Нефть. Газ. Новации. 2014. № 11 (190). С. 17-20.

7. Семин В.И. Поверхностное упрочнение замковой резьбы методом карбонитрации // Нефтяное хозяйство. 2004. № 12. С. 104-106.

8. Пат. 2624274 Российская Федерация, МПК С21Д 1/09, В23К 26/352. Способ обработки резьбового соединения бурильных труб из титановых сплавов / Астахов А.А., Никитин А.В., Дмитров А.И., Селюта П.П.; заявитель и патентообладатель «АО Центральное конструкторское бюро морской техники «Рубин». №2015149445; заявл. 17.11.2015; опубл. 03.07.2017. Бюл. № 19.

9. Investigation of the pivoting friction of shkh15 steel over R6M5 and 10R6M5-MP steel with the use of mathematical modeling / A.D. Breki, A.G. Kolmakov, A.E. Gvozdev, N.N. Sergeev // Inorganic Materials: Applied Research. 2019. Vol. 10. № 4. P. 927-932.

10. Breki A.D., Gvozdev A.E., Kolmakov A.G. Semiempirical mathematical models of the pivoting friction of SHKh15 steel over R6M5 steel according to the ball-plane scheme with consideration of wear // Inorganic Materials: Applied Research. 2019. Vol. 10. № 4. P. 1008-1013.

11. Журавлев Г.М., Гвоздев А.Е. Обработка сталей и сплавов в интервале температур фазовых превращений. Тула: Изд-во ТулГУ, 2016. 320 с.

12. Журавлев Г.М., Гвоздев А.Е. Пластическая дилатансия и деформационная повреждаемость металлов и сплавов. Тула: Изд-воТулГУ, 2014. 114 с.

13. Mechanism of the hydrogen cracking of metals and alloys, part I (review) / N.N. Sergeev, A.N. Sergeev, S.N. Kutepov, A.E. Gvozdev, A.G. Kolmakov // Inorganic Materials: Applied Research. 2019. Vol. 10. № 1. P. 24-31.

14. Mechanism of the hydrogen cracking of metals and alloys, part II (review) / N.N. Sergeev, A.N. Sergeev, S.N. Kutepov, A.E. Gvozdev, A.G. Kolmakov // Inorganic Materials: Applied Research. 2019. Vol. 10. № 1. P. 32-41.

15. Гвоздев А.Е. Экстремальные эффекты прочности и пластичности в металлических высоколегированных слитковых и порошковых системах. 2-е изд., исправ. и доп. Тула: Изд-во ТулГУ, 2019. 477 с.

16. Физико-механические и коррозионные свойства металлических материалов, эксплуатируемых в агрессивных средах / Н.Н. Сергеев, А.Н. Сергеев, С.Н. Кутепов, А.Е. Гвоздев, М.В. Ушаков, В.В. Извольский. Тула: Изд-во ТулГУ, 2019. 553 с.

17. Пат. 2707374 Российская Федерация, МПК В23К 26/38. Способ формирования упрочненного поверхностного слоя в зоне лазерной резки деталей из легированных конструкционных сталей / Сергеев Н.Н., Минаев И.В., Тихонова И.В., Гвоздев А.Е., Сергеев А.Н., Колмаков А.Г., Кутепов С.Н., Малий Д.В., Голышев И.В.; заявитель и патентообладатель ООО «МЕТАЛЛИКА71». № 2019115250; заявл. 17.05.2019; опубл. 26.11.2019. Бюл. № 33.

18. Пат. № 2695715 Российская Федерация, МПК В23К26/38. Способ формирования упрочненного приповерхностного слоя в зоне лазерной резки деталей / Минаев И.В.,

Сергеев Н.Н., Тихонова И.В., Гвоздев А.Е., Сергеев А.Н., Алявдина Е.С.; заявитель и патентообладатель ООО НПП «ТЕЛАР». № 2018140047; заявл. 14.11.2018; опубл. 25.07.2019. Бюл. № 21.

19. Исследование производительности процесса получения порошков методом электроэрозионного диспергирования / Е.В. Агеев, Б.А. Семенихин, Е.В. Агеева, Р.А. Латыпов, Н.А. Пивовар // Известия Курского государственного технического университета. 2010. № 4 (33). С. 76-82.

20. Использование твердосплавных электроэрозионных порошков для получения износостойких покрытий при восстановлении и упрочнении деталей машин и инструмента / Е.В. Агеев, А.А. Давыдов, Е.В. Агеева, А.С. Бондарев, Е.П. Новиков // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. 2013. № 1. С. 32-38.

21. Оценка влияния жидкого смазочного композиционного материала с наночастицами геомодификатора на трение в подшипниковом узле / А.Д. Бреки, О.В. Толочко, Н.Е. Стариков, Д.А. Провоторов, Н.Н. Сергеев, Е.В. Агеев, Гвоздев А.Е. // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. 2015. № 3 (16). С. 17-23.

References

1. Semin V.I. Primenenie sovremennykh metodik proektirovaniya rez'bovykh soedinenii trub neftegazovogo sortamenta [Application of modern methods for designing threaded connections of oil and gas pipes]. *Stroitel'stvo neftyanykh i gazovykh skvazhin na sushe i na more = Construction of Oil and Gas Wells on Land and at Sea*, 2012, no. 7, pp. 6-9 (In Russ.).

2. Semin V.I. Sovershenstvovanie konstruktsii rez'bovykh soedinenii trub neftegazovogo sortamenta i zaboinykh dvigatelei [Improving the design of threaded connections of oil and gas pipes and downhole engines]. *Vestnik Assotsiatsii burovykh podryadchikov = Bulletin of the Association of Drilling Contractors*, 2013, no. 1, pp. 33-37 (In Russ.).

3. Basovich V.S., Buyanovsky I.N., Petunkin I.V. Vliyanie momenta krepneniya zamkovykh soedinenii na ekspluatatsionnye kharakteristiki alyuminievykh buril'nykh trub [Influence of the moment of fastening of lock connections on the performance characteristics of aluminum drill pipes]. *Burenie i nef't = Drilling and Oil*, 2016, no. 4, pp. 42-47 (In Russ.).

4. Mukashev N.B. [Tightness of threaded connections of drill pipes]. *SEVERGEOEKOTEKh-2013. Materialy XIV mezhdunarodnoi molodezhnoi nauchnoi konferentsii*. [SEVERGEOEKOTEKh-2013. Materials of the XIV international youth scientific conference]. Ukhta, 2013, pp. 122-125 (In Russ.).

5. Kuzminykh D.V. [Improvement of methods for increasing the durability of the lock connection of the drill string during multiple screwing]. *Severgeokotekh-2011. Materialy XII mezhdunarodnoi molodezhnoi nauchnoi konferentsii* [Severgeokotekh-2011. Materials of the XII international youth scientific conference]. Ukhta, 2011, pp. 140-145 (In Russ.).

6. Vakhrushev A.V. Vysokomomentnye rez'bovye soedineniya buril'nykh trub. Opyt primeneniya [high-Torque threaded connections of drill pipes. Experience of application]. *Neft'. Gaz. Novatsii = Oil. Gas. Innovations*, 2014, no. 11 (190), pp. 17-20 (In Russ.).

7. Semin V.I. Poverkhnostnoe uprochnenie zamkovoï rez'by metodom karbonitratsii [Surface hardening of the lock thread by carbonitration method]. *Neftyanoe khozyaistvo = Oil Economy*, 2004, no. 12, pp. 104-106 (In Russ.).

8. Astashov A. A., Nikitin A.V., Dmitrov A. I., Selyuta P.P. *Sposob obrabotki rez'bovogo soedineniya buril'nykh trub iz titanovykh splavov* [Method for processing threaded connections of drill pipes made of titanium alloys]. Patent RF, no. 2624274, 03.07.2017. (In Russ.).

9. Breki A.D., Kolmakov A.G., Gvozdev A.E., Sergeev N.N. Investigation of the pivoting friction of shkh15 steel over R6M5 and 10R6M5-MP steel with the use of mathematical modeling. *Inorganic Materials: Applied Research*, 2019, vol. 10, no 4, pp. 927-932.

10. Breki A.D., Gvozdev A.E., Kolmakov A.G. Semiempirical mathematical models of the pivoting friction of SHKh15 steel over R6M5 steel according to the ball-plane scheme with consideration of wear. *Inorganic Materials: Applied Research*, 2019, vol. 10, no. 4, pp. 1008-1013.

11. Zhuravlev G.M., Gvozdev A.E. *Obrabotka staley i splavov v intervale temperatur fazovykh prevrashchenii* [Processing of steels and alloys in the temperature range of phase transformations]. Tula, Tula State University Publ., 2016. 320 p. (In Russ.).

12. Zhuravlev G.M., Gvozdev A. E. *Plasticheskaya dilatatsiya i deformatsionnaya povrezhdaemost' metallov i splavov* [Plastic dilatancy and deformational damage of metals and alloys]. Tula, Tula State University Publ., 2014. 114 p. (In Russ.).

13. Sergeev N.N., Sergeev A.N., Kutepov S.N., Gvozdev A.E., A.G. Kolmakov Mechanism of the hydrogen cracking of metals and alloys, part I (review). *Inorganic Materials: Applied Research*, 2019, vol. 10, no. 1, pp. 24-31.

14. Sergeev N.N., Sergeev A.N., Kutepov S.N., Gvozdev A.E., Kolmakov A.G. Mechanism of the hydrogen cracking of metals and alloys, part II (review). *Inorganic Materials: Applied Research*, 2019, vol. 10, no. 1, pp. 32-41.

15. Gvozdev A. E. *Ekstremal'nye efekty prochnosti i plastichnosti v metalliche-skikh vysokolegirovannykh slitkovykh i poroshkovykh sistemakh* [Extreme effects of strength and plasticity in metal high-alloy ingot and powder systems]. Tula, Tula State University Publ., 2019. 477 p. (In Russ.).

16. Sergeev N.N., Sergeev A.N., Kutepov S.N., Gvozdev A.E., Ushakov M.V., Izvol'sky V.V. *Fiziko-mekhanicheskie i korrozionnye svoystva metallicheskih materialov, ekspluatiruemyykh v agressivnykh sredakh* [Physical-mechanical and corrosion properties of metal materials operated in aggressive environments]. Tula, Tula State University Publ., 2019. 553 p. (In Russ.).

17. Sergeev N. N., Minaev I. V., Tikhonova I. V., Gvozdev A. E., Sergeev A. N., Kolmakov A. G., Kutepov S. N., Maliy D. V., Golyshev I. V. *Sposob formirovaniya uprochnennogo poverkhnostnogo sloya v zone lazernoi rezki detalei iz legirovannykh konstruksionnykh stalei* [Method for forming a hardened surface layer in the zone of laser cutting of parts made of alloyed structural steels]. Patent RF, no.2707374, 2019 (In Russ.).

18. Minaev I. V., Sergeev N. N., Tikhonova I. V., Gvozdev A. E., Sergeev A. N., Al'yavdina E. S. *Sposob formirovaniya uprochnennogo pripoverkhnostnogo sloya v zone lazernoi rezki detalei* [Method for forming a hardened near-surface layer in the zone of laser cutting of parts]. Patent RF, no. 2695715, 2019 (In Russ.).

19. Ageev E. V., Semenikhin B. A., Ageeva E. V., Latypov R. A., Pivovarov N. A. *Issledovanie proizvoditel'nosti protsessa polucheniya poroshkov metodom elektroerozionnogo dispergirovaniya* [Research of productivity of the process of obtaining powders by the method of electroerosive dispersion]. *Izvestiya Kurskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Proceedings of the Kursk State Technical University*, 2010, no. 4 (33), pp. 76-82 (In Russ.).

20. Ageev E. V., Davydov A. A., Ageeva E. V., Bondarev A. S., Novikov E. P. *Ispol'zovanie tverdospлавnykh elektroerozionnykh poroshkov dlya polucheniya iznosostoykikh pokrytii pri vosstanovlenii i uprochnenii detalei mashin i instrumeta* [Use of hard-alloy electroerosive powders for obtaining wear-resistant coatings when restoring and strengthening machine parts and tools]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Tekhnika i tekhnologii = Proceedings of the Southwest State University. Series: Engineering and Technologies*, 2013, no. 1, pp. 32-38 (In Russ.).

21. Breki A.D., Tolochko O. V., Starikov N. E., Provotorov D. A., Sergeev N. N., Ageev E. V., Gvozdev A. E. *Otsenka vliyaniya zhidkogo smazochnogo kompozitsionnogo materiala s nanocha-stitsami geomodifikatora na trenie v podshipnikovom uzle* [Evaluation of the influence of a liquid lubricating composite material with nanoparticles of a geomodifier on friction in a bearing unit]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Tekhnika i tekhnologii = Proceedings of the Southwest State University. Series: Engineering and Technologies*, 2015, no. 3 (16), pp. 17-23 (In Russ.).

Информация об авторах / Information about the Authors

Яхимович Валерий Александрович, ведущий инженер научно-исследовательского и образовательного центра «Везерфорд-Политехник», ФГАОУ ВО «СПбПУ Петра Великого», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация, e-mail: valera_spb@inbox.ru

Бреки Александр Джалюльевич, кандидат технических наук, доцент высшей школы машиностроения, ФГАОУ ВО «СПбПУ Петра Великого», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация, e-mail: albreki@yandex.ru

Альхименко Алексей Александрович, директор научно-технологического комплекса «Новые технологии и материалы», ФГАОУ ВО «СПбПУ Петра Великого», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация, e-mail: 9586435@mail.ru

Куракин Максим Константинович, инженер отдела по взаимодействию с оборонно-промышленным комплексом, ФГАОУ ВО «СПбПУ Петра Великого», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация, e-mail: kurakin@spbstu.ru

Ляшенко Даниил Владимирович, инженер научно-исследовательского и образовательного центра «Везерфорд-Политехник» ФГАОУ ВО «СПбПУ Петра Великого», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация, e-mail: liashenko@spbstu.ru

Агеев Евгений Викторович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры технологии материалов и транспорта ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», г. Курск, Российская Федерация, e-mail: ageev_ev@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3862-8624>

Кутепов Сергей Николаевич, кандидат педагогических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Тульский государственный педагогический университет им. Л.Н. Толстого», г. Тула, Российская Федерация, e-mail: kutepov.sergei@mail.ru

Гвоздев Александр Евгеньевич, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник, ФГБОУ ВО «Тульский государственный педагогический университет им. Л.Н. Толстого», г. Тула, Российская Федерация, e-mail: gwozdew.alexandr2013@yandex.ru

Valeriy A. Yakhimovich, Leading Engineer of the Research and Educational Center Weatherford-Polytechnic, Peter the Great SPbPu, Saint Petersburg, Russian Federation, e-mail: valera_spb@inbox.ru

Aleksandr D. Breki, Cand. of Sci. (Engineering), Associate Professor, Higher School of Mechanical Engineering, Peter the Great SPbPu, Saint Petersburg, Russian Federation, e-mail: albreki@yandex.ru

Aleksey A. Alkhimenko, Director of the Scientific and Technological Complex «New technologies and materials», Peter the Great SPbPu, Saint Petersburg, Russian Federation, e-mail: 9586435@mail.ru

Maksim K. Kurakin, Engineer of the Department for Interaction with the Military-Industrial Complex, Peter the Great SPbPu, Saint Petersburg, Russian Federation, e-mail: kurakin@spbstu.ru

Daniil V. Lyashenko, Engineer of the Research and Educational Center Weatherford-Polytechnic, Peter the Great SPbPu, Saint Petersburg, Russian Federation e-mail: liashenko@spbstu.ru

Evgeny V. Ageev, Dr. of Sci. (Engineering), Professor, Professor of the Department of Materials and Transport Technology, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: ageev_ev@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3862-8624>

Sergey N. Kutepov, Cand. of Sci. (Engineering), Associate Professor, Department of Technology and service, Tula State Pedagogical University named after L. N. Tolstoy, Tula, Russian Federation, e-mail: kutepov.sergei@mail.ru

Aleksandr E. Gvozdev, Dr. of Sci. (Engineering), Professor, Professor, Chief Researcher, Tula State Pedagogical University named after L. N. Tolstoy, Tula, Russian Federation, e-mail: gwozdew.alexandr2013@yandex.ru