

УДК 621.793.74

**ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ  
РЕЗЬБОВОГО СОЕДИНЕНИЯ СТАЛЬНЫХ НАСОСНО-  
КОМПРЕССОРНЫХ ТРУБ ПРИ НАНЕСЕНИИ МИНЕРАЛЬНОГО  
ПОКРЫТИЯ**

**IMPROVING WEAR RESISTANCE  
OF THREADED JOINTS BETWEEN PUMP-COMPRESSOR STEEL  
PIPES WHEN APPLYING MINERAL COATING**

**Кислов С.В., Кислов В.Г., Балаш П.В., Сказочкин А.В.,  
Бондаренко Г.Г., Тихонов А.Н.**

**ООО «Научно-производственное объединение «Геоэнергетика»,  
Калуга, Российская Федерация**

**Национальный исследовательский университет «Высшая школа  
экономики», Москва, Российская Федерация**

**S.V. Kislov, V.G. Kislov, P.V. Balash, A.V. Skazochkin,  
G.G. Bondarenko, A.N. Tihonov**

**LTD “Research and Production Association “Geoenergetika”, Kaluga,  
the Russian Federation**

**National Research University “Higher School of Economics”, Moscow,  
the Russian Federation**

**e-mail: [geoen@mail.ru](mailto:geoen@mail.ru); [gbondarenko@hse.ru](mailto:gbondarenko@hse.ru)**

**Аннотация.** Новая технология создания минеральных покрытий на металлической поверхности была использована для создания износостойких слоев на резьбовых соединениях стальных насосно-компрессорных труб. Выполнены сравнительные исследования и определен ресурс работы резьбового соединения стальных насосно-

компрессорных труб в исходном состоянии и после нанесения минерального слоя.

Метод определения ресурса резьбового соединения трубы заключался в проведении многократных испытаний на свинчивание-развинчивание замка насосно-компрессорной трубы с регистрацией крутящего момента на каждом этапе испытаний и определением натяга с помощью резьбовых калибров. В рамках настоящих исследований, были выполнены следующие виды измерений:

- замер геометрических параметров профиля резьбовой части НКТ до и после проведения цикла испытаний;
- определение величины натяга в зависимости от количества циклов испытаний;
- замер крутящего момента свинчивания-развинчивания.

По результатам исследований сделаны следующие выводы:

1. У муфт с упрочняющим минеральным покрытием максимальная скорость изнашивания наблюдается на первых 12 циклах и более чем на порядок меньше, чем у муфт без покрытия.
2. Резьбовая часть труб с минеральным покрытием демонстрирует отсутствие этапа приработки.
3. Результаты исследования отношения моментов развинчивания к свинчиванию на резьбовых соединениях труб с минеральным покрытием на всех циклах испытаний демонстрируют стабильную работу резьбового соединения.
4. Упрочняющее минеральное покрытие увеличивает износостойкость резьбового соединения к изнашивающим нагрузкам в 2,5-3,0 раза и может обеспечить прогнозируемое число циклов свинчивания-развинчивания до 100 циклов при соблюдении требований по эксплуатации насосно-компрессорных труб.

**Abstract.** A new technology of developing mineral coatings on metal surfaces was used to create wear-resistant layers on threaded joints between

pump-compressor steel pipes. Comparative studies were conducted, and operational life of threaded joints between pump-compressor steel pipes was determined for the joints before and after applying mineral coating.

The method used to determine operational life of a pipe's threaded joint consisted of performing multiple screwing-loosening tests of pump-compressor pipe's lock registering torque at every test stage and determining tension with the help of screw pitch gages. The following measurements were taken:

- geometrics of pump-compressor pipe's threaded joint's profile before and after the tests were conducted;
- value of tension depending on the quantity of test cycles;
- screwing-loosening torque measurement.

As the result of the tests, it was concluded:

1. The sleeves with a hardening mineral coating the maximum value of wear-and-tear is demonstrated during the first 12 test cycles and is by far less than that of the sleeves without such coating.

2. The threaded part of the sleeves with mineral coating shows the absence of a running-in stage.

3. The survey of how screwing corresponds to loosening of the threaded joints of pipes with mineral coating throughout all the test cycles demonstrates a stable operation of threaded joints.

4. The hardening mineral coating increases wear resistance of a threaded joint to wearing loads by 2.5-3 times and is able to provide a predictable number of screwing-loosening cycles up to 100 cycles on condition that pump-compressor pipes' operational requirements are observed.

**Ключевые слова:** резьбовое соединение, износостойкость, минеральное покрытие, муфта, изнашивание, натяг, крутящий момент, насосно-компрессорная труба.

**Key words:** threaded joint, wear resistance, mineral coating, sleeve, wear-and-tear, tension, torque, pump-compressor pipe.

## Введение

Защита материалов от износа и коррозии путем нанесения защитных покрытий или модификации поверхности является одним из важных направлений развития материалов для машиностроения, успешное продвижение по которому позволяет значительно повысить качество и долговечность работы оборудования, существенно увеличить производительность труда, сэкономить материальные, трудовые и энергетические ресурсы.

Наряду с различными методами создания покрытий в настоящее время активно развиваются технологии изменения физико-химических свойств поверхностных слоев металлических деталей методами модифицирования. В частности, находит свою нишу промышленное применение минералов природного происхождения для упрочнения поверхностных слоев конструкционных материалов, благодаря эффектам, в совокупности приводящим к повышению износостойкости, антифрикционным, антикоррозионным и другим специальным свойствам пар трения [1].

В последнее время сделаны попытки использовать минеральные покрытия для защиты от изнашивания и повышения ресурса деталей горного оборудования, а также деталей, узлов и механизмов, используемых при разработке нефтяных и газовых месторождений (различных пар трения, деталей трубопроводных систем и т.д.) [1]. Такие попытки вполне оправданы - по данным статистики, количество поломок, например, насосно-компрессорных труб (НКТ) в ряде случаев достигает 80 процентов от общего числа аварий оборудования для бурения скважин, причем, в большинстве случаев (порядка 50 процентов) являются отказы НКТ, связанные с резьбовым соединением (разрушение, потеря герметичности, вызванные коррозией и другими причинами) [2]. Приобретая НКТ, потребитель часто интересуется именно их сроком службы и способностью противостоять воздействию внешней среды. При этом большое значение уделяется резьбовому соединению - паре «труба-

муфта» [3]. Специалисты отмечают случаи, когда НКТ после нескольких операций свинчивания, уже необходимо ремонтировать: резьбовой конец трубы отрезают, затем нарезают новую резьбу, при этом, как правило, заменяют и муфту [2]. Это свидетельствует об актуальности проблемы повышения коррозионной стойкости и долговечности труб, в частности, нефтяного и газового сортамента.

Одним из направлений повышения долговечности НКТ является повышение коррозионной стойкости резьбы [4-7]. Для защиты резьбовых соединений путем устранения или торможения процессов, протекающих на границе металл-среда и негативно воздействующих на работоспособность материалов, применяют различные виды поверхностной обработки: электролитические, механические, термодиффузионные и другие [6-7]. Каждый из методов защиты имеет свои достоинства и недостатки, а также ограничения применения.

При использовании новой технологии создания минеральных покрытий на поверхности металла [8] образуется модифицированный слой, обладающий высокой твердостью и износостойкостью [9-10]. Учитывая, что толщина модифицированного слоя может варьироваться от 10 нм до десятков микрон, а сама технология не меняет геометрию обрабатываемых деталей, не требует специальных ванн, печей, вакуумных камер или других специальных условий, технология может быть использована для создания локальных износостойких, антифрикционных, антикоррозионных слоев на металлических деталях сложной формы и конфигурации. К таким объектам относятся резьбовые соединения труб, применяемых в различных условиях эксплуатации (соляной туман, морская вода, сероводород, повышенная влажность, абразивная среда), являющихся типичными для нефтяной и газовой промышленности, других отраслей промышленности и различных видов транспорта.

Цель настоящей работы – определение ресурса работы резьбового соединения стальных насосно-компрессорных труб в исходном состоянии

и после создания минерального слоя по технологии, разработанной в НПО «Геоэнергетика» [8, 10].

### Методика эксперимента

Технология создания минеральных слоев состоит во внедрении нанокompозитных минеральных порошков в кристаллическую решетку упрочняемого металла с использованием ультразвуковой установки, а также шариковых и роликовых накаток. Подробности технологического процесса создания минеральных слоев, а также структурные изменения на поверхности и в приповерхностных слоях металлических образцов (хромистые стали, титановые сплавы) описаны в работе [10].

Полная процедура обработки поверхности металлических деталей состоит из нескольких этапов, среди которых можно выделить два основных:

1. Электроискровая обработка и текстурирование поверхности;
2. Легирование предварительно обработанных поверхностей минеральными частицами при помощи ультразвуковой установки.

В результате формируется поверхностный слой, имеющий высокие антифрикционные, износостойкие, противозадирные свойства [1, 9, 10]. Микроструктурные исследования [10] показали, что наблюдается модифицированный слой с четко отличной от объемного, зернистой структурой. Увеличение прочностных характеристик и твердости вероятно обусловлено уменьшением размера зерна и увеличением относительного объема границ зерна. В результате совокупных технологических процедур, изменяющих поверхность, повышается микротвердость поверхностных слоев, повышается износостойкость.

В настоящей работе износостойкий минеральный слой создавался на поверхности резьбового соединения насосно-компрессорных трубы и муфты к ней (труба и муфта гладкая из стали, группы прочности К, диаметр 89 мм, толщина стенки 6,5 мм, ГОСТ 633-80, ГОСТ Р 52203-2004),

исследовали резьбовое соединение в исходном состоянии и с нанесением минерального покрытия.

Метод определения ресурса резьбового соединения насосно-компрессорных труб заключался в проведении многократных испытаний на свинчивание-развинчивание замка насосно-компрессорной трубы с регистрацией крутящего момента на каждом этапе испытаний и определением натяга с помощью резьбовых калибров.

В рамках настоящего исследования были выполнены следующие виды измерений:

Замер геометрических параметров профиля резьбовой части НКТ до и после проведения цикла испытаний;

Определение величины натяга в зависимости от количества циклов испытаний;

Замер крутящего момента свинчивания-развинчивания.

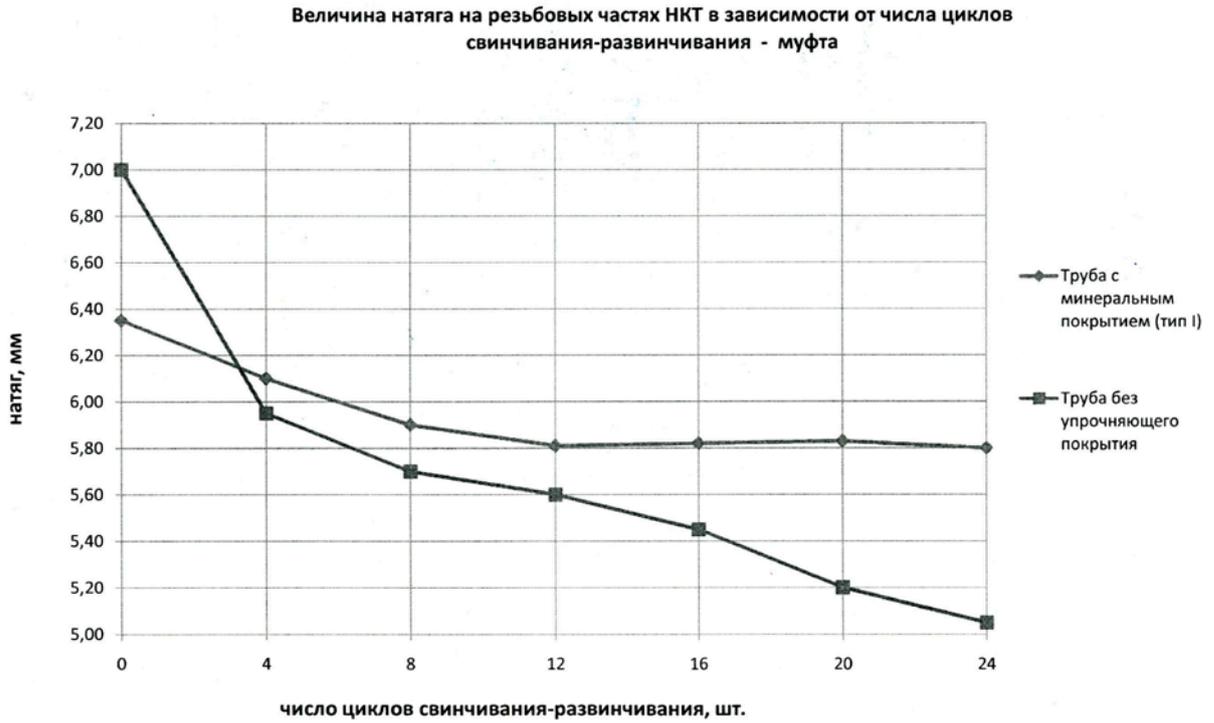
Испытания проводили на специализированном стенде с регистрацией крутящих моментов на этапах свинчивания и развинчивания электронным динамометром ДОУ-3-10И. Смазочная среда – пластичный смазочный материал УСсА в количестве 30 г на 1 цикл испытаний. Скорость свинчивания – 16 об/мин.

## **Результаты и их обсуждение**

Замер величины натяга

Результаты замера величины натяга, полученного на трубах и муфтах, представлены на рисунке 1.

А)



Б)

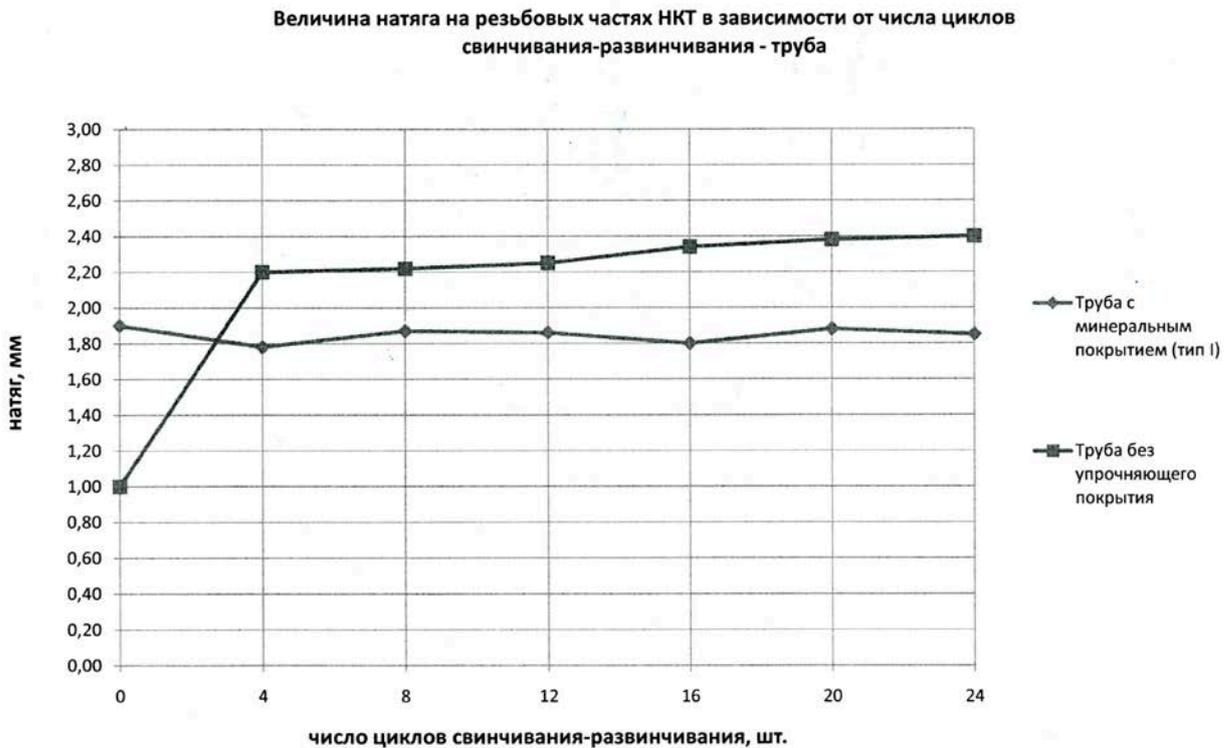


Рисунок 1. Величина натяга на резьбовых частях НКТ в зависимости от числа циклов свинчивания-развинчивания: А) муфта; Б) труба

Анализ полученных данных показывает, что предельно допустимый натяг муфты и трубы в исходном состоянии без упрочняющего покрытия достигается через 24 цикла свинчивания-развинчивания. При этом максимальный износ наблюдается на обеих резьбовых частях при первых 4-х циклах для трубы и при 6-ти циклах для муфты. Далее скорость изнашивания резьбы уменьшается и составляет 39 мкм/цикл для муфты и 11 мкм/цикл для трубы.

У муфт с упрочняющим минеральным покрытием максимальная скорость изнашивания наблюдается на первых 12-ти циклах и составляет 37,5 мкм/цикл, что более чем на порядок меньше, чем у муфт без покрытия (383,3 мкм/цикл на 6-ти циклах). Далее скорость изнашивания резьбы муфт резко снижается до 4-5 мкм/цикл. При сохранении этой скорости изнашивания прогнозируемое число циклов свинчивания-развинчивания превысит 100 циклов.

Резьбовая часть труб с минеральным покрытием демонстрирует отсутствие этапа приработки. На протяжении 24 циклов испытаний скорость изнашивания составляет 4-5 мкм/цикл, что соответствует аналогичному показателю стабильной работы муфт с таким же покрытием.

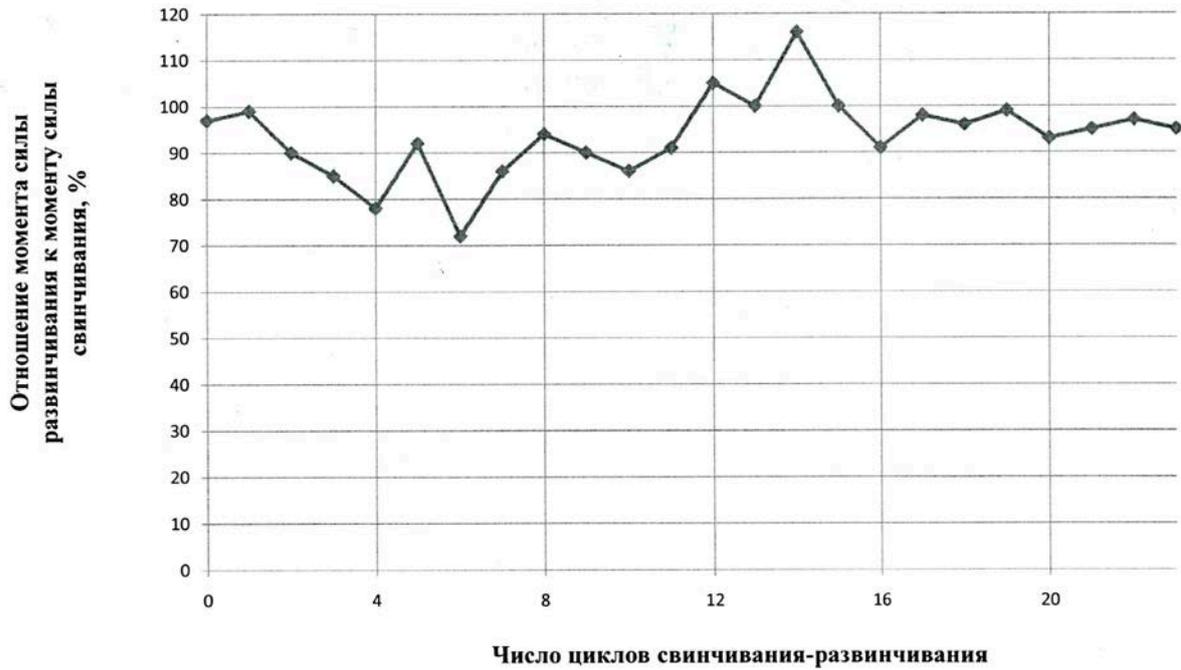
Замер крутящих моментов свинчивания и развинчивания

Критерием оценки при соответствии труб по максимальному крутящему моменту является ограничение по величине момента развинчивания, который не должен превышать момент свинчивания более чем на 30%.

Результаты замера крутящего момента на трубах в состоянии поставки и с упрочняющим покрытием представлены на рисунке 2.

А)

График значений отношения максимальных крутящих моментов  
 развинчивания к свинчиванию по циклам испытаний трубы в состоянии поставки



Б)

График значений отношения максимальных крутящих моментов  
 развинчивания к свинчиванию по циклам испытаний трубы с упрочняющим покрытием

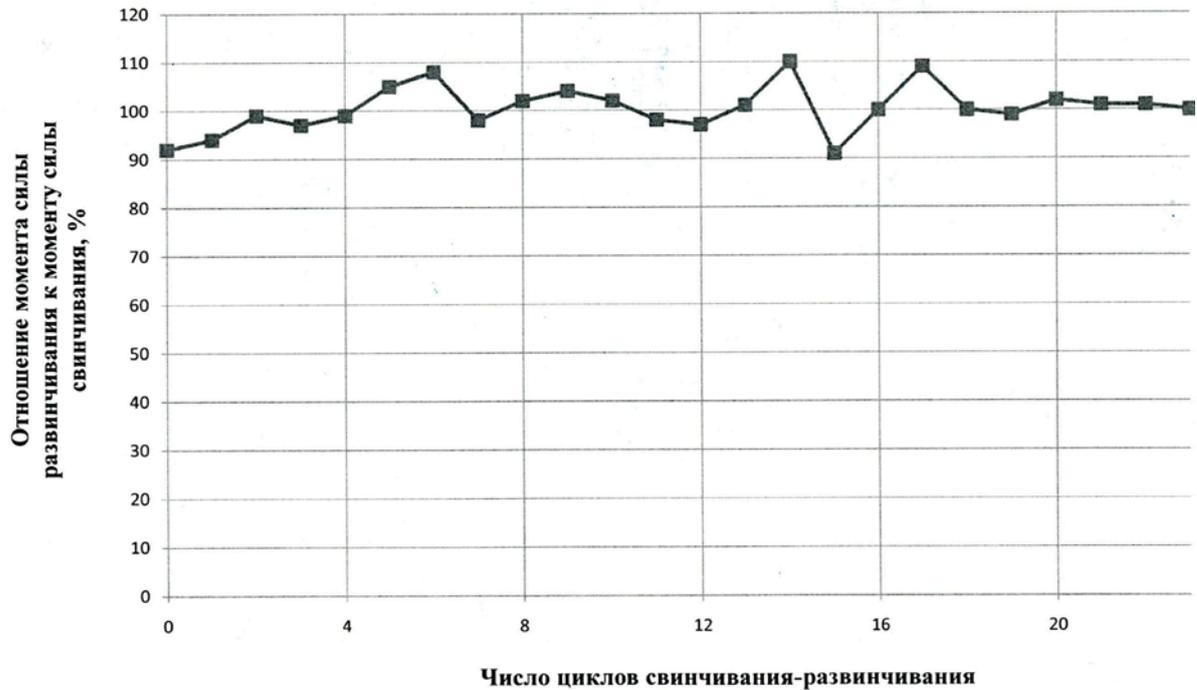


Рисунок 2. Графики значений отношения максимальных крутящих моментов развинчивания к свинчиванию по циклам испытаний:  
 А) трубы в состоянии поставки, Б) трубы с упрочняющим покрытием

На трубах в состоянии поставки после 12-го цикла испытаний наблюдается превышение момента развинчивания над свинчиванием, которое на 15-м цикле испытаний достигает 16%. Затем крутящие моменты стабилизируются и имеют примерно одинаковую величину.

Максимальное значение отношения моментов развинчивания к свинчиванию на резьбовых соединениях труб с минеральным покрытием на всех циклах испытаний не превысило 108%, что говорит о стабильной работе резьбового соединения.

### **Выводы**

1. В настоящей работе были использованы возможности новой технологии минеральных покрытий образовывать локальные модифицированные слои на металлических деталях сложной формы и конфигурации, не меняя геометрических размеров деталей. В частности, к таким объектам относятся резьбовые соединения труб, применяемые в нефтегазовой отрасли и других отраслях промышленности. В работе выполнены сравнительные исследования и определен ресурс работы резьбового соединения стальных насосно-компрессорных труб в исходном состоянии и после нанесения минерального слоя.

2. По результатам испытаний у муфт с упрочняющим минеральным покрытием максимальная скорость изнашивания наблюдается на первых 12 циклах и более чем на порядок меньше, чем у муфт без покрытия.

3. Резьбовая часть труб с минеральным покрытием демонстрирует отсутствие этапа приработки.

4. Результаты исследования отношения моментов развинчивания к свинчиванию на резьбовых соединениях труб с минеральным покрытием на всех циклах испытаний демонстрируют стабильную работу резьбового соединения.

5. Упрочняющее минеральное покрытие увеличивает износостойкость резьбового соединения к изнашивающим нагрузкам в 2,5-3,0 раза и может

обеспечить прогнозируемое число циклов свинчивания-развинчивания до 100 циклов при соблюдении требований по эксплуатации насосно-компрессорных труб.

### Список используемых источников

1 Грушев В.В., Лазарев С.Ю. Промышленное применение минеральных покрытий и ультразвуковой обработки. Чита: ЗабГУ, 2012. 144 с.

2 Прокофьев А.А. Технологическое повышение коррозионной стойкости резьб насосно-компрессорных труб: автореф. дис.... канд. техн. наук, Московский государственный индустриальный университет. Москва, 2013. 24 с.

3 Сароян А.Е., Субботин М.А. Эксплуатация колонн насосно-компрессорных труб. М.: Недра, 1985. 217 с.

4 Маталин А.А. Технология машиностроения. Л.: Машиностроение, 1985. 496 с.

5 Похмурский В.И. Коррозионная усталость металлов. М.: Металлургия, 1985. 207 с.

6 Суслов А.Г., Дальский А.М. Научные основы технологии машиностроения. М.: Машиностроение, 2002. 684 с.

7 Улиг Г.Г., Ревин Р.У. Коррозия и борьба с ней. Введение в коррозионную науку и технику: пер. с англ./ под ред. А.М. Сухотина. Л.: Химия, 1989. 456 с.

8 Способ формирования комбинированного минерального поверхностного слоя на металлических деталях, защищающего их от воздействия агрессивных сред и с заданными триботехническими свойствами/ Кислов С.В., Кислов В.Г., Лазарев С.Ю.: пат. на изобретение №2421548 от 20.06.2011 , заявка 2009142259/02, дата подачи 18.11.2009.

9 Исследование триботехнических характеристик поверхностных покрытий при трении металла по металлу без смазки/ Елагина О.Ю.[и др.] // Перспективные материалы, 2013. №7. С. 56-60.

10 Эффективные минеральные покрытия для упрочнения поверхности металлических материалов/Кислов С.В.[и др.]// Металлы, 2015. № 4. С. 56-63.

## References

1 Grushev V.V., Lazarev S.Yu. Promyshlennoe primeneniye mineral'nyh pokrytii i ul'trazvukovoi obrabotki. Chita: ZabGU, 2012. 144 s. [in Russian].

2 Prokof'ev A.A. Tehnologicheskoe povysheniye korrozionnoi stoikosti rez'b nasosno-kompressornykh trub: avtoref. dis. kand. tehnikeskikh nauk, Moskovskii gosudarstvennyi industrial'nyi universitet. Moskva, 2013. 24 s. [in Russian].

3 Saroyan A.E., Subbotin M.A. Ekspluatatsiya kolonn nasosno-kompressornykh trub. M.: Nedra, 1985. 217 s. [in Russian].

4 Matalin A.A. Tehnologiya mashinostroeniya. L.: Mashinostroenie, 1985. 496 s. [in Russian].

5 Pohmurskii V.I. Korrozionnaya ustalost' metallov. M.: Metallurgiya, 1985. 207 s. [in Russian].

6 Suslov A.G., Dal'skii A.M. Nauchnye osnovy tehnologii mashinostroeniya. M.: Mashinostroenie, 2002. 684 s. [in Russian].

7 Ulig G.G., Revi R.U. Korroziya i bor'ba s nei. Vvedeniye v korrozionnuyu nauku i tehniku: per. s angl./ pod red. A.M. Suhotina. L.: Himiya, 1989. 456 s.

8 Sposob formirovaniya kombinirovannogo mineral'nogo poverhnostnogo sloya na metallicheskih detalyah, zashishayushego ih ot vozdeistviya agressivnykh sred i s zadannymi tribotekhnicheskimi svoistvami/ Kislov S.V., Kislov V.G., Lazarev S.Yu. Patent na izobretenie №2421548 ot 20.06.2011 g., zayavka 2009142259/02, data podachi 18.11.2009 g. [in Russian].

9 Issledovanie tribotekhnicheskikh harakteristik poverhnostnykh pokrytii pri trenii metalla po metallu bez smazki/ Elagina O.Yu. [i dr.] // Perspektivnye materialy, 2013. №7. S. 56-60. [in Russian].

10 Effektivnye mineral'nye pokrytiya dlya uprochneniya poverhnosti metallicheskih materialov/Kislov S.V. [i dr.]// Metally, 2015. № 4. S.56-63. [in Russian].

### **Сведения об авторах**

#### **About the authors**

Кислов С. В., генеральный директор, ООО «Научно-производственное объединение «Геоэнергетика», г. Калуга, Российская Федерация

S.V. Kislov, General Director, LTD "Research and Production Association "Geoenergetika", Kaluga, the Russian Federation

e-mail: geoen@mail.ru

Кислов В. Г., технический директор, ООО «Научно-производственное объединение «Геоэнергетика», г. Калуга, Российская Федерация

V.G. Kislov, Technical Director, LTD "Research and Production Association "Geoenergetika", Kaluga, the Russian Federation

e-mail: geoen@mail.ru

Балаш П. В., канд. экон. наук, 1-й заместитель генерального директора, ООО «Научно-производственное объединение «Геоэнергетика», г. Калуга, Российская Федерация

P. V. Balash, Candidate of Economic Sciences, 1-st deputy CEO LTD "Research and Production Association "Geoenergetika", Kaluga, the Russian Federation

e-mail: pvbalash@gmail.com

Сказочкин А. В., канд. физ.-мат. наук, заместитель генерального директора по развитию и инновациям, ООО «Научно-производственное объединение «Геоэнергетика», г. Калуга, Российская Федерация

A. V. Skazochkin, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Deputy General Director for Development and Innovations, LTD "Research and Production Association "Geoenergetika", Kaluga, the Russian Federation

e-mail: avskaz@rambler.ru

Бондаренко Г. Г., д-р физ.-мат. наук, профессор, заведующий лабораторией «Радиационная физика твердого тела», Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», г. Москва, Российская Федерация

G. G. Bondarenko, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Head of the Laboratory "Radiation Physics of a Solid Body", National Research University "Higher School of Economics", Moscow, the Russian Federation

e-mail: gbondarenko@hse.ru

Тихонов А. Н., д-р техн. наук, профессор, директор Московского института электроники и математики, Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», г. Москва, Российская Федерация

A. N. Tikhonov, Doctor of Engineering, Professor, Director of the Moscow Institute of Electronics and Mathematics, National Research University "Higher School of Economics", Moscow, the Russian Federation

e-mail: atikhonov@hse.ru