



## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ БУРОВЫХ СНАРЯДОВ ДЛЯ СООРУЖЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ПЕРЕХОДОВ ТРУБОПРОВОДОВ РАЗЛИЧНОГО НАЗНАЧЕНИЯ В СЛОЖНЫХ ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

Д.Ю. СЕРИКОВ<sup>1</sup>, Н.Д. ЦХАДАЯ<sup>2</sup>, Д.А. БОРЕЙКО<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup> ФГАОУ ВО «Российский государственный университет нефти и газа  
(национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина»  
65, корпус 1, проспект Ленинский, г. Москва, 119991, Россия

<sup>2</sup> Российская академия естественных наук  
29/16, пер. Сивцев Вражек, 119002, г. Москва, Россия

<sup>3</sup> ФГБОУ ВО «Ухтинский государственный технический университет»  
13, ул. Первомайская, 169300, г. Ухта, Республика Коми, Россия

### АННОТАЦИЯ

**Введение.** При строительстве подземных переходов нефтегазопроводов методом наклонно-направленного бурения возникает задача повышения эффективности процесса бурения, особенно в условиях повышенного гидравлического сопротивления и дифференциального давления на забое. В статье рассматривается проблема и предложенное решение в виде новой конструкции калибратора-эжектора.

**Цель.** Совершенствование технологии и применение новой конструкции калибратора-эжектора, оснащенного эжекционными системами очистки скважины, для повышения эффективности наклонно-направленного бурения.

**Материалы и методы.** При решении проблемы повышения эффективности и экологичности процесса расширения пилотных скважин при строительстве подземных переходов нефтегазопроводов основное внимание уделяется использованию обратной промывки и новой конструкции калибратора-эжектора.

**Результаты.** Показано, что использование одного и того же инструмента на разных этапах бурения возможно и снижает затраты и время на сооружение переходов. Внедрение данных технологий способствует улучшению управления процессом бурения и снижению негативного воздействия на окружающую среду, что делает их важным шагом в развитии технологий наклонно-направленного бурения.

**Ключевые слова:** буровой снаряд, калибратор-эжектор, расширитель, эжекционная насадка, буровой раствор, буровой агрегат, буровое долото, гидродинамические параметры, компьютерное моделирование, скоростной поток, давление.

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Финансирование:** исследование не имело спонсорской поддержки.

**Для цитирования:** Сериков Д.Ю., Цхадая Н.Д., Борейко Д.А. Совершенствование буровых снарядов для сооружения подземных переходов трубопроводов различного назначения в сложных горно-геологических условиях. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка.* 2024;66(4):112—119. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2024-66-4-112-119>

Статья поступила в редакцию 17.11.2024

Принята к публикации 14.12.2024

Опубликована 23.12.2024

\* Автор, ответственный за переписку

# IMPROVED DRILLING RIGS FOR UNDERGROUND VARIOUS-PURPOSE PIPELINES IN DIFFICULT MINING AND GEOLOGICAL CONDITIONS

DMITRY YU. SERIKOV<sup>1</sup>, NIKOLAY D. TSKHADAYA<sup>2</sup>, DMITRY A. BOREYKO<sup>3,\*</sup>

<sup>1</sup> National University of Oil and Gas “Gubkin University”  
65, bld. 1, Leninsky ave., Moscow 119991, Russia

<sup>2</sup> Russian Academy of Natural Sciences  
29/16, Sivtsev Vrazhek lane, Moscow 119002, Russia

<sup>3</sup> Ukhta State Technical University  
13, Pervomaiskaya str., Ukhta 169300, Komi Republic, Russia

## ABSTRACT

**Background.** When constructing underground crossings of oil and gas pipelines using directional drilling, the task of enhancing the drilling efficiency becomes urgent. In particular, this concerns the conditions of increased hydraulic resistance and differential pressure. To solve this problem, we propose a new calibrator-ejector design.

**Aim.** To improve the existing drilling technology by applying a new calibrator-ejector design. The proposed device is equipped with ejection systems for cleaning the borehole, thus increasing the efficiency of directional drilling.

**Materials and methods.** The problem of increasing the efficiency and environmental friendliness of the process of pilot borehole expansion during the construction of underground crossings of oil and gas pipelines was solved by using reverse circulation and proposing a new design of the calibrator-ejector device.

**Results.** The possibility of using the same tool at different stages of drilling is shown. This reduces the financial and time expenditures for the construction of crossings. The implementation of the proposed technologies facilitates management of the drilling process and reduces its negative impact on the environment, thus contributing to the development of directional drilling technologies.

**Keywords:** drilling projectile, calibrator-ejector, expander, ejection nozzle, drilling fluid, drilling unit, drill bit, hydrodynamic parameters, computer simulation, high-speed flow, pressure

**Conflict of interest:** the authors declare no conflict of interest.

**Financial disclosure:** no financial support was provided for this study.

**For citation:** Serikov D.Yu., Tskhadaya N.D., Boreyko D.A. Improved drilling rigs for underground various-purpose pipelines in difficult mining and geological conditions. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2024;66(4):112–119. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2024-66-4-112-119>

*Manuscript received 17 November 2024*

*Accepted 14 December 2024*

*Published 23 December 2024*

\* Corresponding author

При прокладке нефтегазопроводов нередко встает задача прохождения участков, требующих подземного размещения трубопровода. К ним относятся различные водные преграды, горные массивы, строительные сооружения и т.д. В этом случае наиболее экологичным, экономичным и безопасным способом преодоления этих мест является метод наклонно-направленного бурения [4].

Метод наклонно-направленного бурения позволяет минимизировать время сооружения подземного перехода нефтегазопровода. Применение данного метода ограничивается лишь сложностью бурения отдельных категорий пород и техническими возможностями применяемого бурового оборудования.

Наклонно-направленное бурение скважин для прокладки нефтегазопроводов осуществляется

путем использования специальных агрегатов и различного бурового оборудования в несколько этапов. В начале производят бурение пилотной скважины небольшого диаметра на всю длину перехода. Затем проводят ее расширение до формирования требуемого технологического диаметра, большего диаметра трубопровода. Далее происходит калибровка и зачистка стенок скважины с целью обеспечения беспрепятственного протаскивания трубопровода [2].

Как правило, бурение пилотной скважины осуществляется обычными буровыми долотами различных типоразмеров, выбор типа и размера которых зависит в основном от твердости и абразивности разбуриваемых пород.

Расширение пилотной скважины уже осуществляется при помощи расширителей специальных конструкций, позволяющих наиболее эффективно разрушать породу в условиях проходки наклонно-направленных скважин большого диаметра [3].

На сегодняшний день существует множество конструкций буровых агрегатов, а также долот и шарошечных расширителей, предназначенных именно для формирования наклонно-направленных стволов для прокладки нефтегазопроводов. Однако необходимость дальнейшего их совершенствования все еще является достаточно актуальной задачей. Особенно в условиях введенных беспрецедентных санкций в отношении нашей страны и ухода с рынка множества иностранных производителей, специализирующихся на изготовлении данного вида оборудования.

На сегодняшний день повышение эффективности работы буровых агрегатов и породоразрушающего инструмента при сооружении подземных переходов нефтегазопроводов является одной из основных задач, стоящих перед производителями данного вида бурового оборудования. Один из вариантов ее решения может быть реализован за счет разработки и создания новых конструкций бурового инструмента, обеспечивающего увеличение механической скорости бурения и проходки на инструмент. Немаловажным фактором, способствующим увеличению указанных показателей бурения, является качественная работа системы промывки как инструмента, так и всей призабойной зоны в целом [1].

Бурение пилотных наклонно-направленных скважин в процессе строительства подземных переходов нефтегазопроводов осуществляется обычными буровыми долотами, за которыми, как правило, устанавливаются калибрующе-центрирующие

устройства, обеспечивающие выравнивание стенок скважины и препятствующие возникновению радиальных колебаний породоразрушающих инструментов. Также их использование способствует улучшению управляемости долота и обеспечивает более точное формирование проектного профиля ствола наклонно-направленной скважины. Однако применение калибрующе-центрирующих устройств в связке с долотом неизбежно ведет к повышению гидравлического сопротивления в области работы инструмента и, как следствие, увеличению дифференциального давления на забое. Одним из эффективных способов его снижения является применение различных эжекционных систем, размещаемых как непосредственно в долоте, так и в сопутствующем ему вспомогательном инструменте. Эжекционные системы работают по принципу струйных насосов, что позволяет им существенно интенсифицировать процесс удаления разрушенной породы от забоя и дальнейшего ее перемещения по затрубному пространству в сторону дневной поверхности. Кроме того, использование эжекционных систем, размещенных непосредственно в зоне работы породоразрушающего инструмента, позволяет снизить дифференциальное давление на забое. Многолетний опыт применения различных эжекционных систем при бурении нефтяных и газовых скважин показал, что их использование позволяет увеличить механическую скорость бурения и проходку на инструмент. Однако реализовать весь потенциал данных систем в буровом инструменте так и не удалось. Это связано с тем, что эжекционные системы размещались либо непосредственно в самом долоте, что не позволяло сделать их достаточно мощными ввиду ограниченного пространства для их размещения, либо устанавливались отдельно, над долотом, и выполняли только эжектирующую функцию.

Учитывая все вышеперечисленные факты, было предложено разместить эжекционные устройства в теле наддолотного калибратора, совместив в нем сразу несколько функций: калибровки стенки скважины, центрирования и стабилизации долота и струйного насоса, позволяющего интенсифицировать процесс промывки забоя и удаления шлама в межтрубное пространство.

В результате проведенных исследований была разработана новая конструкция калибратора-эжектора, оснащенного эжекционными системами очистки скважины (рис. 1). Для проведения предварительных гидравлических испытаний была создана экспериментальная модель калибратора-эжектора диаметром 215,9 мм, а также



Рис. 1. Модель калибратора эжектора в сборе с буровым шарошечным долотом, изготовленная с помощью 3D-технологий

Fig. 1. Model of the calibrator of the ejector assembly with a drilling ball bit, made using 3D technologies

шарошечное долото аналогичного диаметрального размера, с использованием 3D-технологий (рис. 1).

Принцип совместной работы калибратора-эжектора и долота в процессе бурения пилотной скважины (рис. 2) заключается в следующем. Под воздействием крутящего момента и осевой нагрузки на долото, передаваемых посредством колонны буровых труб, зубчатое вооружение долота разрушает породу забоя. Одновременно с этим сквозь внутреннее пространство бурильных труб и промывочную систему породоразрушающего инструмента прокачивается буровой раствор, который очищает вооружение долота и поверхность забоя. Как отмечалось ранее, непосредственно за долотом устанавливается калибратор-эжектор, также включающий в себя систему промывки в виде трех струйных насосов, расположенных в его межлопастных пространствах. Отличительными особенностями этой конструкции являются наличие подпорной насадки, расположенной внутри центрального ствола калибратора-эжектора (рис. 3), и трех эжекционных каналов с насадками, направленных в сторону от поверхности забоя.

Буровой раствор, перемещаясь сквозь внутреннее пространство калибратора-эжектора, дости-

гает его внутренней подпорной насадкой (рис. 3), создающей определенное гидравлическое сопротивление, которое заставляет часть общего объема промывочной жидкости двигаться в специальные эжекционные каналы. Пройдя сквозь эжекционные каналы и насадки, буровой раствор попадает в наружные эжекционные камеры открытого типа. Отличительной особенностью их конструкции является тот факт, что их внутренние поверхности образованы корпусом калибратора и двумя смежными его лопастями, а наружной частью является непосредственно стенка скважины. В эжекционных камерах высокоскоростные потоки бурового раствора, истекающие из эжекционных насадок, смешиваются с более медленными потоками бурового раствора, обогащенного шламом, перемещающимися от поверхности забоя сквозь межлопастные пространства калибратора (рис. 3). В результате взаимодействия этих потоков формируются три общих эжектированных потока, обладающих значительно большей гидравлической энергией, способствующих значительной интенсификации процесса промывки как инструмента, так и всей призабойной зоны в целом [5].

Как было указано ранее, по завершении формирования ствола пилотной скважины осуществляется процесс дальнейшего расширения ее

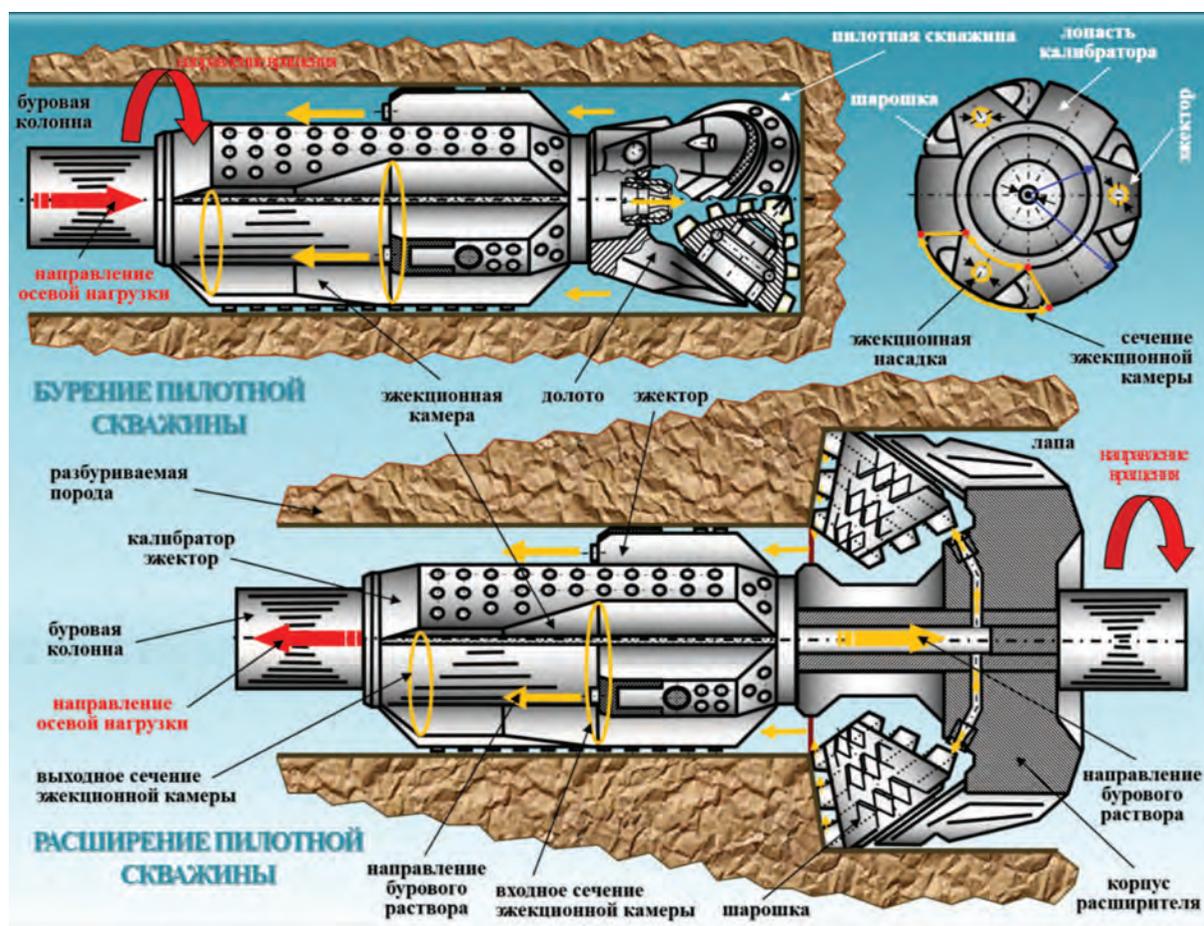


Рис. 2. Схемы компоновок буровых агрегатов для формирования пилотной скважины и последующего ее расширения

Fig. 2. Layout diagrams of drilling units for the formation of a pilot well and its subsequent expansion

диаметральных размеров шарошечными расширителями специальных конструкций. При этом, в отличие от первого этапа, когда буровой агрегат перемещает породоразрушающий инструмент «от себя», при осуществлении второго этапа расширения ствола происходит путем перемещения буровым агрегатом породоразрушающего инструмента «на себя». Как показывает практика, в большинстве случаев процесс промывки, как правило, является прямоточным (невозвратным), т.е. с одной стороны перехода на другую. Это существенно ухудшает эффективность удаления разбуренной породы вследствие большего диаметра уже расширенного участка скважины, не говоря уже об экологическом аспекте этого процесса. В связи с этим при расширении пилотной скважины предлагается использовать процесс обратной промывки, аналогичный такому при бурении вертикальных нефтегазовых скважин,

т.е. подачу бурового раствора внутри буровой колонны к породоразрушающему инструменту и возвращение его обратно на дневную поверхность по затрубному пространству. Это позволит использовать все наработки по очистке, восстановлению бурового раствора, существенно снизить его расход и значительно улучшить экологичность процесса сооружения подземных переходов нефтегазопроводов.

При расширении пилотной скважины с использованием обратной системы промывки можно применять тот же калибратор-эжектор, уже использованный на первом этапе бурения. В данном случае он устанавливается перед шарошечным расширителем и выполняет не только функции калибратора и струйного насоса, но и переднего стабилизатора и направляющего аппарата шарошечного расширителя (рис. 2). Таким образом, один и тот же инструмент (калибратор-эжектор)

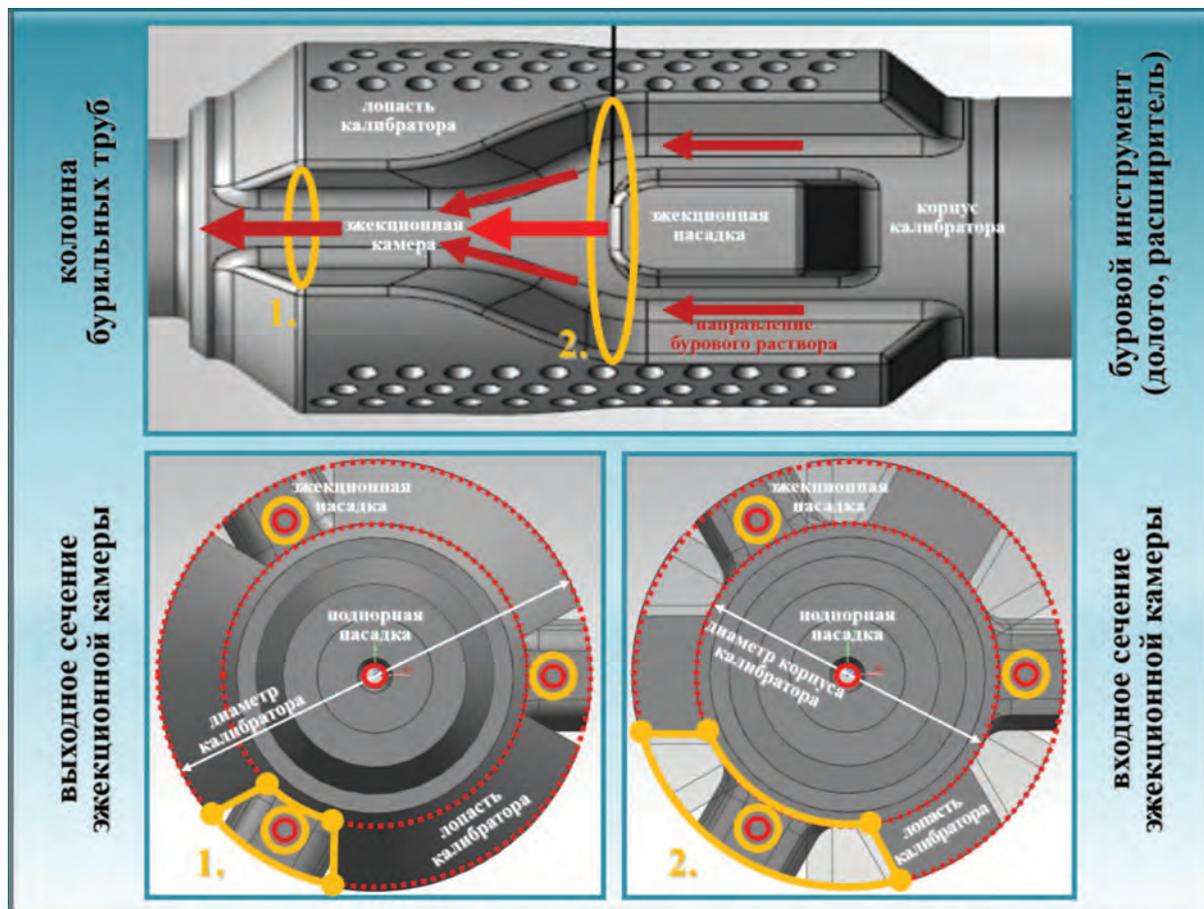


Рис. 3. Вид эжекционной камеры и ее входного и выходного сечений  
 Fig. 3. View of the ejection chamber and its inlet and outlet sections

может использоваться как при первоначальном бурении пилотной скважины, так и впоследствии при ее расширении.

Данные калибраторы-эжекторы могут использоваться при бурении совместно не только с шарошечными долотами, но и с любыми другими видами и типами породоразрушающих инструментов.

Использование калибратора-эжектора новой конструкции в буровых агрегатах и системы обратной промывки скважины при ее расширении позволит снизить время и стоимость строительства подземных переходов нефтегазопроводов, а также улучшить экологические аспекты при их сооружении.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Буримов Ю.Г., Копылов А.С., Орлов А.В. Бурение верхних интервалов глубоких скважин большого диаметра. М., 1975. 231 с.
2. Вафин Д.Р., Сансай А.Н., Шаталов Д.А. Технико-экономические границы применения метода наклонно-направленного бурения в строительстве подводных переходов магистральных трубопроводов. Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. 2017. Т. 7. № 3. С. 66—73.
3. Лурье М.В., Мастобаев Б.Н., Ревель-Мороз П.А., Соценко А.Е. Проектирование и эксплуатация нефтепроводов. Учебник для нефтегазовых вузов. М.: Издательский дом «Недра». 2019. 434 с.
4. Мустафин Ф.М., Быков Л.И., Васильев Г.Г., Лаврентьев А.Е. и др. Технология сооружения газонефтепроводов. Под ред. Г.Г. Васильева. Т. 1. Уфа: Нефтегазовое дело, 2007. 632 с.
5. Мягков К.А., Сериков Д.Ю. Исследование влияния геометрических параметров эжекционной камеры на эффективность работы бурового калибрующего эжекционного агрегата. Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. 2020. № 4. С. 19—25.

## REFERENCES

1. Burimov Yu.G., Kopylov A.S., Orlov A.V. Drilling of the upper intervals of large-diameter deep wells. Moscow, 1975. 231 p. (In Russ.).
2. Vafin D.R., Sapsay A.N., Shatalov D.A. Technical and economic limits to the application of the horizontal direction drilling method in the construction of under-water transitions of main pipelines. Science and technologies: oil and oil products pipeline transportation. 2017. Vol. 7. No. 3. P. 66—73 (In Russ.).
3. Lurie M.V., Mastobaev B.N., Revel-Moroz P.A., Soschenko A.E. Design and operation of oil pipelines. Textbook for oil and gas universities. Moscow: Nedra Publishing House. 2019. 434 p. (In Russ.).
4. Mustafin F.M., Bykov L.I., Vasiliev G.G., Lavrentiev A.E., et al. Technology of construction of gas and oil pipelines. Ed. G.G. Vasilyev. T. 1. Ufa: Oil and gas business, 2007. 632 p. (In Russ.).
5. Myagkov K.A., Serikov D.Yu. Study of the influence of the ejection chamber geometric parameters on the efficiency of operation of the drilling calibrating ejection unit. Construction of oil and gas wells on land and sea. 2020. No. 4. P. 19—25 (In Russ.).

## ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Сериков Д.Ю. — разработал концепцию и подготовил текст статьи, окончательно утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Цхадая Н.Д. — разработал концепцию и подготовил текст статьи, окончательно утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Борейко Д.А. — разработал концепцию и подготовил текст статьи, окончательно утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Dmitry Y. Serikov — collected material, developed the concept and prepared text of the article, finally approved the published version of the article and agree to take responsibility for all aspects of the work.

Nikolay D. Tskhadaya — collected material, developed the concept and prepared text of the article, finally approved the published version of the article and agree to take responsibility for all aspects of the work.

Dmitry A. Boreyko — collected material, developed the concept and prepared text of the article, finally approved the published version of the article and agree to take responsibility for all aspects of the work.

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Сериков Дмитрий Юрьевич** — доктор технических наук, профессор кафедры машин и оборудования нефтяной и газовой промышленности ФГОУ ВО «РГУ нефти и газа (НИУ) имени И. М. Губкина». 65, корпус 1, проспект Ленинский, г. Москва 119991, Россия  
e-mail: [serrico@rambler.ru](mailto:serrico@rambler.ru)  
SPIN-код: 9412-8310  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3256-580X>

**Цхадая Николай Денисович** — доктор технических наук, профессор, действительный член Российской академии естественных наук. 29/16, пер. Сивцев Вражек, г. Москва 119002, Россия  
e-mail: [president@ugtu.net](mailto:president@ugtu.net)  
Scopus: 6507722245  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2332-1117>

**Dmitry Yu. Serikov** — Dr. of Sci. (Tech.), Professor of the Department of Machinery and Equipment of the Oil and Gas Industry of the National University of Oil and Gas “Gubkin University”. 65, bld. 1, Leninsky ave., Moscow 119991, Russia  
e-mail: [serrico@rambler.ru](mailto:serrico@rambler.ru)  
SPIN-code: 9412-8310  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3256-580X>

**Nikolay D. Tskhadaya** — Dr. of Sci. (Tech.), Professor, Full Member of the Russian Academy of Natural Sciences. 29/16, Sivtsev Vrazhek lane, Moscow 119002, Russia  
e-mail: [president@ugtu.net](mailto:president@ugtu.net)  
Scopus: 6507722245  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2332-1117>

**Борейко Дмитрий Андреевич\*** — кандидат технических наук, доцент, проректор по научной работе, доцент кафедры бурения, машин и оборудования нефтяных и газовых промыслов ФГБОУ ВО «Ухтинский государственный технический университет».  
13, ул. Первомайская, г. Ухта 169300, Республика Коми, Россия  
e-mail: [dboreiko@ugtu.net](mailto:dboreiko@ugtu.net)  
SPIN-код: 5370-1326  
Scopus: 56912272500  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0248-4526>

**Dmitry A. Boreyko\*** — Cand. of Sci. (Tech.), Associate Professor, Vice-Rector for Research, Associate Professor of the Department of Drilling, Mechanical Engineering and Development of Oil and Gas Fields, Ukhta State Technical University.  
13, Pervomaiskaya str., Ukhta 169300, Komi Republic, Russia  
e-mail: [dboreiko@ugtu.net](mailto:dboreiko@ugtu.net)  
SPIN-code: 5370-1326  
Scopus: 56912272500  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0248-4526>

\* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author