

УДК 622.244

DOI: 10.31660/0445-0108-2023-6-25-34

### **Экспериментальные и промысловые исследования волновой технологии очистки забоя и кольматации проницаемых пластов**

**Ю. С. Кузнецов<sup>1</sup>, С. Р. Ганиев<sup>1</sup>, Д. Р. Султанов<sup>1\*</sup>, В. Н. Федоров<sup>1</sup>,  
С. Н. Бастриков<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук, Москва, Россия*

<sup>2</sup>*Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия*

\**sultanov.d.r@yandex.ru*

**Аннотация.** В статье приведены результаты натурных экспериментов и промысловых испытаний волновой технологии очистки забоя и кольматации проницаемых пластов. Ускорение сроков строительства скважин и недопущение заколонных перетоков (особенно в газовых скважинах) в настоящее время исключительно актуально. Известно, что разрушение горной породы при знакопеременном движении промывочной жидкости открывает глобальные перспективы в процессах ускорения бурения и обеспечения устойчивости ствола скважины. Это возможно при волновом движении промывочной жидкости. Эксперименты проводились на специальной установке, обеспечивающей подобие скважинным условиям, что позволило моделировать забойные процессы. Созданы и испытаны различные конструкции волновых генераторов для промывочных отверстий долот различных типов и размеров. Экспериментально показано, что волновые технологии способствуют очистке забоя и созданию кольматационного экрана. Благодаря волновому воздействию забойная зона и стенки скважины остались чистыми, проникновение фильтрата бурового раствора в породу существенно уменьшено. Волновая технология очистки забоя и кольматации проницаемых пластов имеет большие перспективы при строительстве нефтяных и газовых скважин. Герметизация заколонного пространства при этом особенно важна при сооружении подземных хранилищ газа.

**Ключевые слова:** волновые технологии, герметизация заколонного пространства, волновая очистка забоя, волновые генераторы, подземные хранилища газа

**Для цитирования:** Экспериментальные и промысловые исследования волновой технологии очистки забоя и кольматации проницаемых пластов / Ю. С. Кузнецов, С. Р. Ганиев, Д. Р. Султанов [и др.]. – DOI 10.31660/0445-0108-2023-6-25-34 // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2023. – № 6. – С. 25–34.

### **Experimental and field studies of wave technology for bottomhole cleaning and clogging of permeable formations**

**Yuri S. Kuznetsov<sup>1</sup>, Stanislav R. Ganiyev<sup>1</sup>, Danir R. Sultanov<sup>1\*</sup>,  
Vyacheslav N. Fedorov<sup>1</sup>, Sergey N. Bastrikov<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Mechanical Engineering Research Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

<sup>2</sup>*Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia*

\**sultanov.d.r@yandex.ru*

*Abstract.* The article presents the results of field experiments and field tests of wave technology for bottomhole cleaning and clogging of permeable formations. Acceleration of well construction time and avoidance of plugging (especially in gas wells) is extremely important nowadays. It is widely acknowledged that rock fractures occur due to the alternating motion of the flushing fluid, and it has significant implications for accelerating drilling processes and maintaining wellbore stability. This can be achieved through the wave motion of the flushing fluid. The experiments were conducted on a specialized installation that simulates downhole conditions, enabling the modeling of downhole processes. We created and tested various designs of wave generators to flush holes of bits with different types and sizes. Experimental evidence suggests that wave technology can aid in bottomhole cleaning and the creation of a colmatation screen. The wave action helps to keep the bottomhole zone and well walls clean, and significantly reduces the penetration of drilling fluid filtrate into the rock. The use of wave technology for bottomhole cleaning and permeable formation ringing shows great potential for oil and gas well construction. The sealing of the borehole space is crucial in the construction of Underground Gas Storage facilities.

*Keywords:* wave technologies, wellbore sealing, wave wellbore cleaning, wave generators, Underground Gas Storage facilities

*For citation:* Kuznetsov, Yu. S., Ganiyev, S. R., Sultanov, D. R., Fedorov, V. N., & Batrikov, S. N. (2023). Experimental and field studies of wave technology for bottomhole cleaning and clogging of permeable formations. *Oil and Gas Studies*, (6), pp. 25-34. (In Russian). DOI: 10.31660/0445-0108-2023-6-25-34

## **Введение**

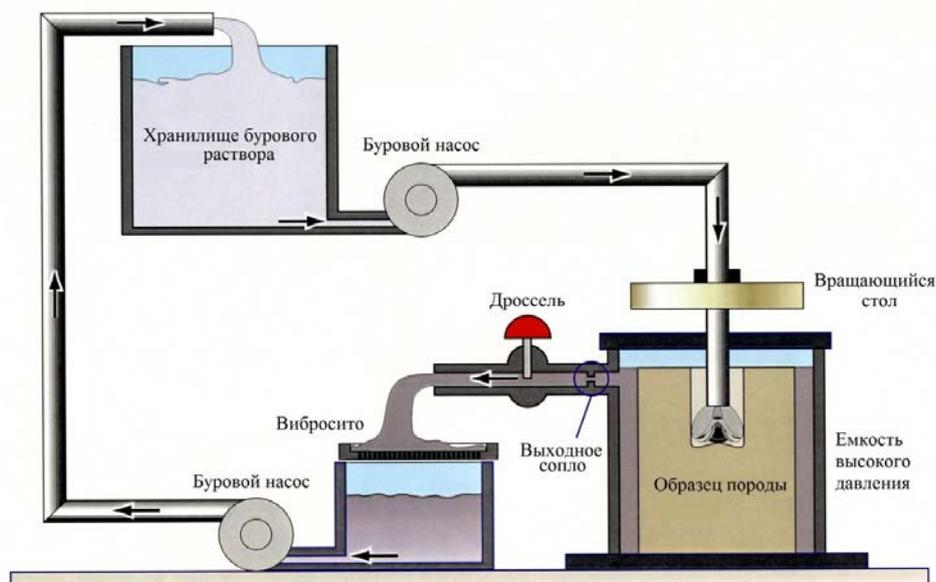
Основная идея волновых технологий [1–7] заключена в том, чтобы преобразовать волновые воздействия в направленное движение, реализующее необходимый технологический процесс.

Априори известно, что разрушение горной породы при знакопеременном движении промывочной жидкости открывает глобальные перспективы в процессах ускорения бурения и обеспечения устойчивости ствола скважины. Это возможно при волновом движении промывочной жидкости.

Из ранних работ авторов этой статьи известно, что волновое движение промывочной жидкости также способствует проникновению частиц выбуренной породы или специальных кольматантов в проницаемые горизонты на малую глубину (кольматация), которое преодолевается в процессе перфорации продуктивного пласта. Это является необходимым условием для герметизации заколонного пространства с целью недопущения перетоков жидкости и газопроявлений в процессе строительства и эксплуатации нефтяных и особенно газовых скважин, включая скважины подземных хранилищ газа.

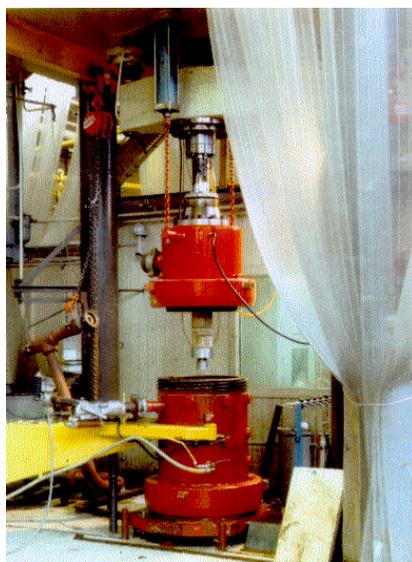
## **Объект и методы исследования**

Коллективом научного центра нелинейной волновой механики и технологии РАН под руководством академика РАН Р. Ф. Ганиева были проведены соответствующие испытания. Волновое воздействие может осуществляться гидродинамическим генератором волн. Эксперименты проводились на специальной установке, обеспечивающей подобие скважинным условиям, что позволило моделировать забойные процессы. Схема установки показана на рисунке 1, общий вид — на рисунке 2.



*Рис. 1. Схема экспериментальной установки*

Схема установки для исследования фильтрационных процессов приведена на рисунке 3. Для стенда использовались следующие элементы экспериментальной установки: емкость высокого давления с выходным соплом и дросселем, а также подводящий трубопровод. В средней части емкости высокого давления устанавливалась обечайка из водонепроницаемого материала, внутрь которой запрессовывался цилиндрический образец породы, ось которого проходит через центр отверстия подставки.



*Рис. 2. Общий вид экспериментальной установки*

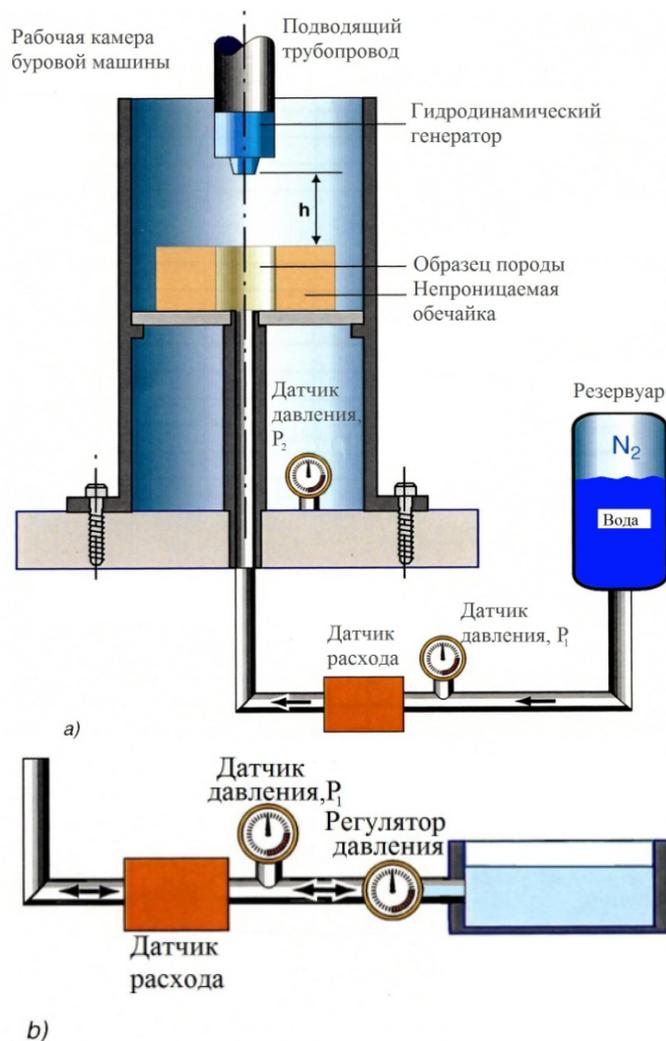


Рис. 3. Схема стенда для исследования фильтрационных процессов

Эксперименты были проведены на гексагональных блоках песчаника размером  $39 \times 80$  см. Эксперименты проводились с учетом контрольного образца, пробуренного по обычной технологии без волнового воздействия. В частности, давление бурового раствора вблизи долота составляло 4,5 МПа.

В случае бурения с волновым генератором эта зона становится более узкой за счет кольматационного экрана, сформированного волновым полем. Для экспериментов были выбраны два типа породы: известняк с проницаемостью около 5 мД и песчаник с проницаемостью 1 000 мД. Как было сказано ранее, экспериментальная установка позволила выполнить бурение в условиях, максимально приближенных к реальным скважинным условиям (давление и объемный расход промывочной жидкости). Часть образцов была пробурена обычным долотом, часть модифицированным.

При проведении экспериментов фиксировались значения скорости проходки, вращательный момент и нагрузки на долото. После экспериментов рабочий и контрольный образцы распиливались, и исследовалась глубина проникновения фильтрата бурового раствора и кольматанта в породу.

### **Результаты**

В результате проведенных экспериментов была доказана эффективность кольматации проницаемой породы в волновом бурении.

Фотография распиленного образца породы, пробуренной при волновом воздействии, приведена на рисунке 4 справа, а контрольного — слева.



*Рис. 4. Распил образцов породы: слева — пробуренной традиционным способом без волнового воздействия, справа — распил образца той же породы, пробуренной при волновом воздействии*

Из приведенных фотографий видно, что проникновение бурового раствора в породу изменилось благодаря волновому воздействию. Толщина слоя проникновения бурового раствора стала тоньше минимум в три раза.

Таким образом, показано, что создание кольматационного экрана препятствует образованию фильтрационной корки на стенках породы, что, в свою очередь, предупреждает такие осложнения, как сальникообразование, затяжки, прихваты (в том числе дифференциальные). Кроме того, кольматационный экран обеспечивает качественное разобщение проницаемых пластов в процессе цементирования.

В настоящее время широкое применение нашли долота типа PDC с промывкой забоя через специальную систему промывочных отверстий. В этой связи были разработаны волновые генераторы, встроенные в промывочные отверстия такого типа долот. Для проведения экспериментальных исследований было использовано долото SSP 215.9 DHD 516 A01 со встроенными волновыми генераторами. Спектр колебаний волнового генератора в процессе бурения породы приведен на рисунке 5.

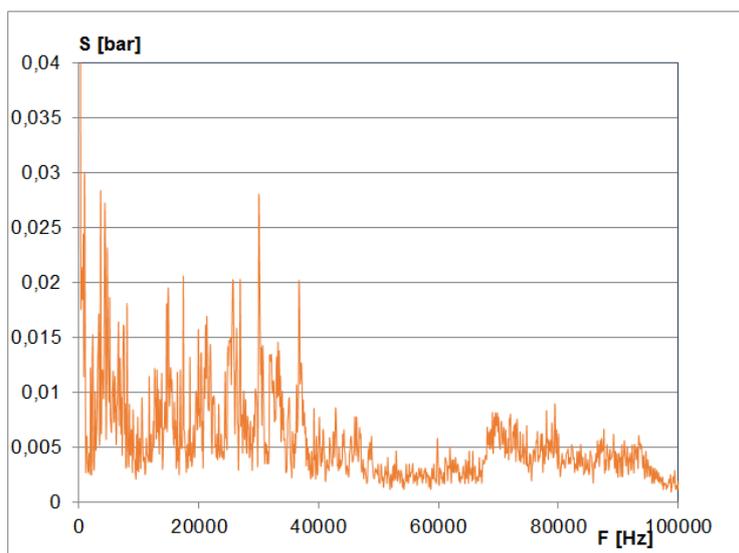


Рис. 5. Спектр колебаний волнового генератора в процессе бурения породы

Лабораторные данные с определенной поправкой совпадают с данными математического моделирования, которое провели ранее (рис. 6).

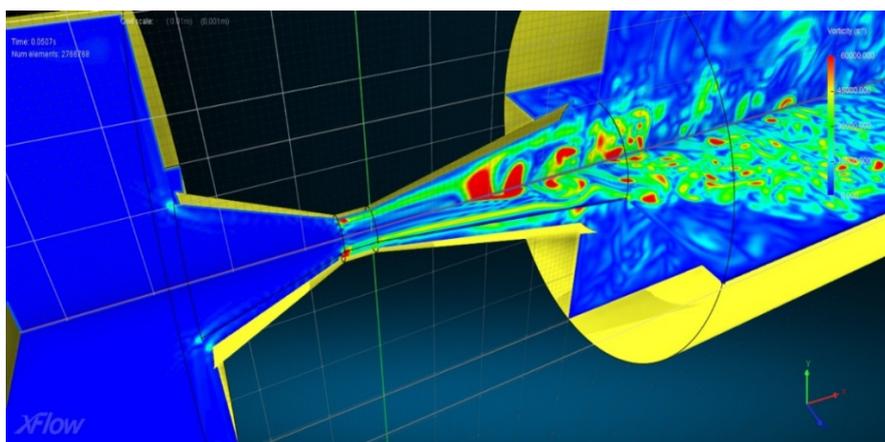


Рис. 6. Распределение ротора скорости (завихренность) в объеме генератора и за ним

Промысловые экспериментальные исследования были проведены на скважине 376 Б Татсуксинского месторождения.

Бурение производили с промывкой глинистым раствором при расходе 37,4 л/с при среднем давлении в нагнетательной линии буровых насосов 162 атм. Сравнение показателей, полученных при опытном бурении, и показателей в сопоставимом интервале бурения соседней скважины 443 Б того же куста приведено в таблице.

**Сравнительные показатели при бурении сопоставимых интервалов**

Скважины	Интервал бурения, м	Проходка, м	Нагрузка на долото, т	Расход промыв. жидкости, л/с	Давление промыв. жидкости, атм	Средняя механич. скорость, м/ч
376 Б	947–238	291	9,4	37,4	162	29,3
443 Б	882–1248	366	11,0	35,7	129	22,1

Анализ результатов опытного бурения показывает, что при близких значениях расхода промывочной жидкости (37,4 и 35,7 л/с) перепад давления в насадках-генераторах опытного долота был значительно выше, чем в насадках обычного долота. К сожалению, невозможно более точно оценить величины перепада давления в обоих случаях ввиду того, что неизвестны потери давления в каждом элементе сложной циркуляционной системы бурильной скважинной компоновки. Тем не менее в опытной скважине была достигнута существенно более высокая механическая скорость проходки на 32,6 %, чем в соседней скважине в сравнимом интервале. Такая разница в величинах заведомо превосходит уровень статистической погрешности.

**Выводы**

Промысловые испытания убедительно показали работоспособность генераторов по созданию волнового поля непосредственно в зоне работы долота. Испытания подтверждают теоретические предпосылки ускоренного отрыва разбуренных частиц от материнской породы и возможности избирательной кольматации порового пространства проницаемых пород либо частицами выбуренной породы, соразмерными с открывающимися порами в волновом поле, либо специальным буровым раствором с кольматирующими свойствами. Эти процессы протекают наиболее эффективно в волновом поле определенных расчетных параметров.

Волновая технология дает возможность получить следующие преимущества.

- Для ряда пород может быть повышена скорость проходки.
- Кольматация ствола скважины улучшит качество цементирования и крепления скважины, снизит вероятность возникновения заколонных перетоков и риска негерметичности крепи скважины.
- Меньшее количество бурового раствора и его фильтрата будет проникать в продуктивный пласт, что в результате обеспечит лучшую продуктивность скважины.

Наши предшествующие теоретические и лабораторные исследования показали, что эффективность кольматации при воздействии волновым полем увеличивается на несколько порядков.

Экспериментально показано, что волновые технологии способствуют очистке забоя и созданию кольматационного экрана. Благодаря волновому воздействию забойная зона и стенки скважины остались чистыми, проникновение фильтрата бурового раствора в породу существенно уменьшено.

#### **Список источников**

1. Ганиев, Р. Ф. Динамика частиц при воздействии вибраций / Р. Ф. Ганиев, Л. Е. Украинский. – Киев : Наукова думка, 1975. – 169 с. – Текст : непосредственный.
2. Колебательные явления в многофазных средах и их использование в технологии / Р. Ф. Ганиев, Н. И. Кобаско, В. В. Кулик [и др.] ; под редакцией Р. Ф. Ганиева. – Киев : Техника, 1980. – 142 с. – Текст : непосредственный.
3. Волновая техника и технология. Научные основы, промышленные испытания и их результаты, перспективы использования / Под редакцией Р. Ф. Ганиева. – Москва : Логос, 1993. – 126 с. – Текст : непосредственный.
4. Украинский, Л. Е. Волновая технология в нефтяной промышленности / Л. Е. Украинский ; под редакцией Р. Ф. Ганиева. – Уфа : РНТИК «Баштехинформ», 1999. – 46 с. – Текст : непосредственный.
5. Проблемы и перспективы волновой технологии многофазных систем в нефтяной и газовой промышленности = Issues and perspectives of wave technology for multiphase system in oil and gas industry / Р. Ф. Ганиев, Л. Е. Украинский, В. Е. Андреев, Ю. А. Котенев ; под редакцией Р. Ф. Ганиева. – Санкт-Петербург : Недра, 2008. – 214 с. – Текст : непосредственный.
6. Ганиев, О. Р. Экспериментальное исследование по интенсификации фильтрации призабойных зон скважин с помощью волновых воздействий / О. Р. Ганиев, Р. Ф. Ганиев, Л. Е. Украинский. – Текст : непосредственный // Проблемы механики : сборник статей. К 90-летию со дня рождения А. Ю. Ишлинского / Под редакцией Д. М. Климова. – Москва : Физматлит, 2003. – С. 215–220.
7. Украинский, Л. Е. Использование эффектов нелинейной волновой механики в нефтегазовой промышленности / Л. Е. Украинский. – Текст : непосредственный // Технологии нефтегазового комплекса. Специализированное издание. – ООО «Гротек», 2004. – № 1. – С. 24–29.

### References

1. Ganiev, R. F., & Ukrainskiy, L. E. (1975). Dinamika chastits pri vozdeystvii vibratsiy. Kiev, Naukova dumka Publ., 169 p. (In Russian).
2. Ganiev, R. F., Kobasko, N. I., Kulik, V. V., Lakiza, V. D., Malyshev, P. A., Puchka, G. N., & Tsapenko, A. S. (1980). Kolebatel'nye yavleniya v mnogofaznykh sredakh i ikh ispol'zovanie v tekhnologii. Kiev, Tekhnika Publ., 142 p. (In Russian).
3. Ganiev, R. F. (Ed.) (1993). Volnovaya tekhnika i tekhnologiya. Nauchnye osnovy, promyshlennye ispytaniya i ikh rezul'taty, perspektivy ispol'zovaniya. Moscow, Logos, 126 p. (In Russian).
4. Ukrainskiy, L. E. (1999). Volnovaya tekhnologiya v neftyanoy promyshlennosti. Ufa, RNTIK "Bashtekhinform" Publ., 46 p. (In Russian).
5. Ganiev, R. F., Ukrainskiy, L. E., Andreev, V. E., & Kotenev, Yu. A. (2008). Issues and perspectives of wave technology for multiphase system in oil and gas industry. St. Petersburg, Nedra Publ., 214 p. (In Russian).
6. Ganiev, O. R., Ganiev, R. F., & Ukrainskiy, L. E. (2003). Eksperimental'noe issledovanie po intensifikatsii fil'tratsii prizaboynykh zon skvazhin s pomoshch'yu volnovykh vozdeystviy. Problemy mekhaniki : sbornik statey. K 90-letiyu so dnya rozhdeniya A. Yu. Ishlinskogo. Moscow, Fizmatlit Publ., pp. 215-220. (In Russian).
7. Ukrainskiy, L. E. (2004). Ispol'zovanie effektiv nelineynoy volnovoy mekhaniki v neftegazovoy promyshlennosti. Tekhnologii neftegazovogo kompleksa. Specializirovannoe izdanie, (1), Grotek Publ., pp. 24-29. (In Russian).

### Информация об авторах / Information about the authors

**Кузнецов Юрий Степанович**, доктор технических наук, профессор, заведующий лабораторией, Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук, г. Москва

**Ганиев Станислав Ривнерович**, кандидат технических наук, главный научный сотрудник, Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук, г. Москва

**Султанов Данир Ризифович**, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук, г. Москва, [sultanov.d.r@yandex.ru](mailto:sultanov.d.r@yandex.ru)

**Федоров Вячеслав Николаевич**, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник, Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук, г. Москва

**Yuri S. Kuznetsov**, Doctor of Engineering, Professor, Head of Laboratory, Mechanical Engineering Research Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow

**Stanislav R. Ganiyev**, Candidate of Engineering, Chief Researcher, Mechanical Engineering Research Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow

**Danir R. Sultanov**, Candidate of Engineering, Senior Researcher, Mechanical Engineering Research Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, [sultanov.d.r@yandex.ru](mailto:sultanov.d.r@yandex.ru)

**Vyacheslav N. Fedorov**, Doctor of Engineering, Professor, Chief Researcher, Mechanical Engineering Research Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow

**Бастриков Сергей Николаевич,**  
доктор технических наук, действительный член Российской академии естественных наук, профессор кафедры бурения нефтяных и газовых скважин, Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень

**Sergey N. Bastrikov,** Doctor of Engineering, Full Member of the Russian Academy of Natural Sciences, Professor at the Department of Drilling Oil and Gas Wells, Industrial University of Tyumen

Статья поступила в редакцию 08.11.2023; одобрена после рецензирования 11.12.2023; принята к публикации 13.12.2023.

The article was submitted 08.11.2023; approved after reviewing 11.12.2023; accepted for publication 13.12.2023.