

УДК 622.24.06

DOI: 10.31660/0445-0108-2022-4-93-102

Прорывные технологии в процессах диспергирования буровых технологических жидкостей для бурения и освоения нефтяных и газовых скважин

**Ю. С. Кузнецов¹, А. П. Аверьянов¹, С. Н. Бастриков²,
П. В. Овчинников¹, Д. Р. Султанов^{1*}, В. И. Урманчеев¹**

¹Институт машиноведения им. А. А. Благонравова РАН, Москва, Россия

²Тюменский промышленный университет, Тюмень, Россия

*sultanov.d.r@yandex.ru

Аннотация. В работе приведены результаты комплексных исследований влияния волновых технологий на физико-механические свойства тонкодисперсных монтмориллонитовых суспензий и пересыщенных солевых растворов в лабораторных и промышленных условиях. Показано, что в результате волновой обработки проточными гидродинамическими генераторами вихревого типа с тангенциальными и радиальными каналами и генераторами плоского типа с цилиндрическими телами обтекания динамическое напряжение сдвига глинистых растворов существенно увеличилось, количество частиц раствора размером 1–2 мкм выросло в 2,5 раза. Это означает, что волновая обработка глинистой суспензии приводит к повышению коллоидной фракции, а следовательно, и к повышению качества суспензии, снижению расхода глинопорошка, а также к уменьшению в несколько раз времени приготовления по сравнению с традиционной технологией. В результате волновой обработки пересыщенных солевых растворов степень дисперсности также существенно возросла: размер частиц соли в пересыщенном растворе при применении обычной механической мешалки — от 120 мкм, а после обработки волновым генератором — 1–6 мкм. Показано, что основной вклад в достижение высокой эффективности волновой обработки вносят нелинейные волновые и кавитационные процессы, протекающие в проточной части гидродинамических генераторов.

Ключевые слова: волновые технологии, монтмориллонит, глинистая суспензия, пересыщенный солевой раствор

Для цитирования: Прорывные технологии в процессах диспергирования буровых технологических жидкостей для бурения и освоения нефтяных и газовых скважин / Ю. С. Кузнецов, А. П. Аверьянов, С. Н. Бастриков [и др.]. – DOI 10.31660/0445-0108-2022-4-93-102 // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2022. – № 4. – С. 93–102.

Innovative technologies in dispersion of drilling washing liquids for drilling and development of oil and gas wells

**Yuri S. Kuznetsov¹, Alexey P. Averyanov¹, Sergey N. Bastrikov²,
Pavel V. Ovchinnikov¹, Danir R. Sultanov^{1*},
Vyacheslav I. Urmancheev¹**

¹Mechanical Engineering Research Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

²Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia

*sultanov.d.r@yandex.ru

Abstract. The article presents the results of comprehensive studies of the effect of wave technologies on the physico-mechanical properties of finely dispersed montmorillonite suspensions and supersaturated salt solutions in laboratory and field conditions. It is shown that because of wave processing by flow hydrodynamic vortex-type generators with tangential and radial channels and flat-type generators with cylindrical flow bodies, the dynamic shear stress of clay solutions has increased significantly, the number of solution particles with a size of 1-2 microns has increased 2.5 times. This means that the wave treatment of the clay suspension leads to an increase in the colloidal fraction, and, consequently, to an increase in the quality of the suspension, to a decrease in the consumption of clay powder, as well as to a several-fold reduction in the preparation time compared to traditional technology. As a result of wave treatment of supersaturated salt solutions, the degree of dispersion also increased significantly: the size of salt particles in the supersaturated solution is from 120 microns when using a conventional mechanical stirrer, and after treatment with a wave generator is 1-6 microns. It is shown that the main contribution to the achievement of high efficiency of wave processing is made by nonlinear wave and cavitation processes occurring in the flow part of hydrodynamic generators.

Keywords: wave technologies, montmorillonite, clay suspension, supersaturated salt solution

For citation: Kuznetsov, Yu. S., Averyanov, A. P., Batrikov, S. N., Ovchinnikov, P. V., Sultanov, D. R., & Urmancheev, V. I. (2022). Innovative technologies in dispersion of drilling washing liquids for drilling and development of oil and gas wells. Oil and Gas Studies, (4), pp. 93-102. (In Russian). DOI: 10.31660/0445-0108-2022-4-93-102

Введение

В процессах приготовления большого числа буровых технологических жидкостей важнейшее значение уделяется процессам диспергирования и гомогенизации компонентов в растворе. Основными направлениями при этом являются ускорение процессов диспергирования и повышение дисперсности системы. Проведены лабораторные исследования волновой технологии, существенно увеличивающей дисперсность растворов на основе монтмориллонитовых глин, а также солевых растворов для глушения скважин, с целью ее внедрения в промысловых условиях.

Объект и методы исследования

Общеизвестно, что монтмориллонитовые глины широко применяются в самых разных областях: от строительства глубоких скважин до производства косметических средств и пищевой промышленности. Это обосновано их нетоксичностью, высокой адсорбционной способностью и гидрофильностью, катионообменными свойствами и пр. Эти свойства напрямую зависят от степени дисперсности. Для создания суспензий природных дисперсных материалов (мел, глина, барит и др.) на практике, как правило, применяются различного рода гидравлические и механические гомогенизаторы недостаточной эффективности [1].

В данной статье описаны результаты исследований, проведенных в Научном центре нелинейной волновой механики и технологии Российской академии наук (НЦ НВМТ РАН), являющиеся продолжением и развитием ранее проведенных исследований и опубликованных в 2017 году результатов в работе [2]. В нашей статье выявлена зависимость волновой обработки

глинистой суспензии от ее реологических показателей в результате повышения степени дисперсности.

Была поставлена следующая задача: выявление влияния конструктивных особенностей волновых генераторов на эффективность диспергирования глинистой монтмориллонитовой суспензии.

Схема лабораторного стенда приведена на рисунке 1. Для исследований были использованы экспериментальные волновые генераторы с различной геометрией рабочей камеры двух типов: генераторы вихревого типа и генераторы плоского типа с телами обтекания. В этих типах волновых генераторов используется идея НЦ НВМТ РАН создания кавитационных вихревых высокотурбулентных потоков, генерирующих колебания определенного частотного спектра в обрабатываемых средах [3–5].

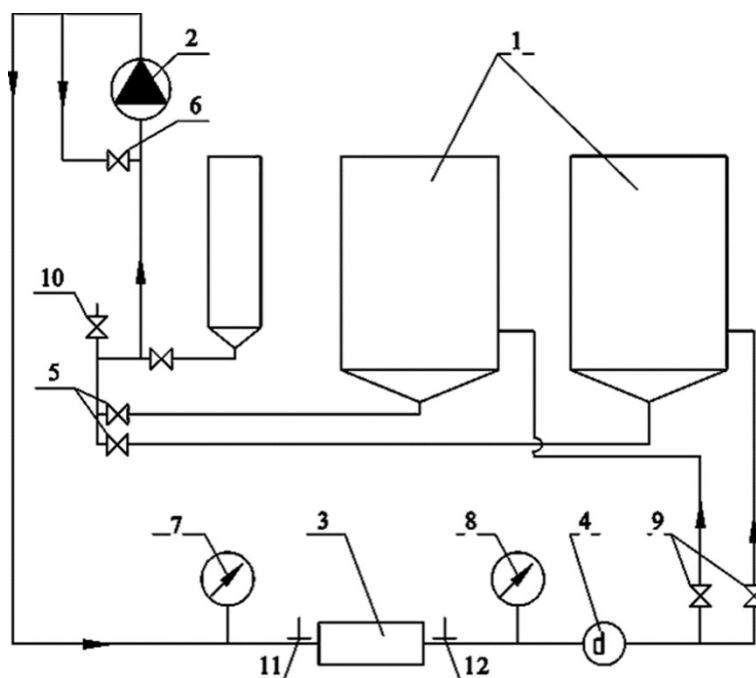
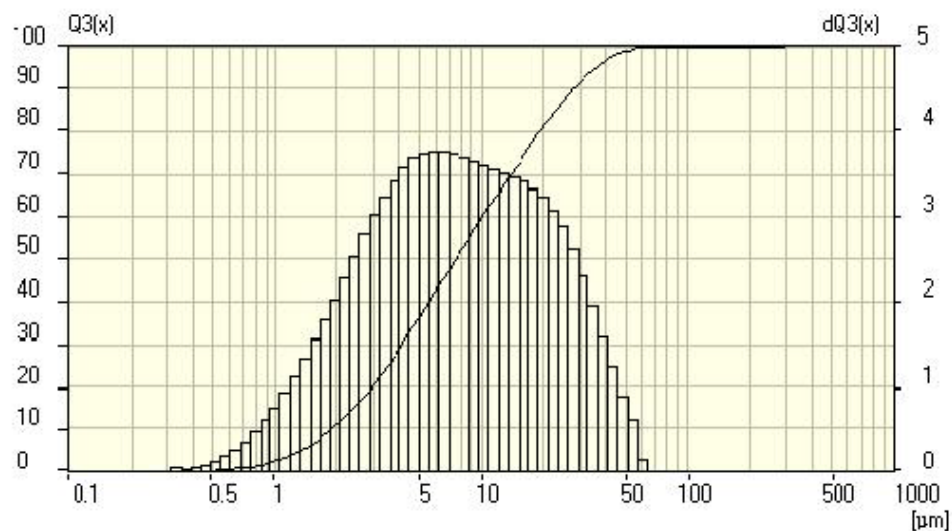


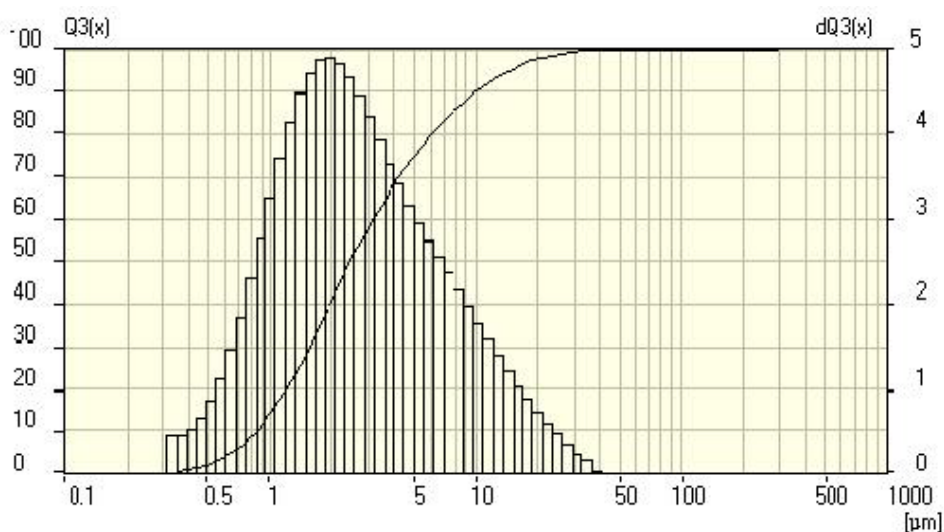
Рис. 1. **Принципиальная схема лабораторного стенда [2]:** 1 — емкости с жидкостью; 2 — насос; 3 — проточный генератор; 4 — расходомер; 5 — входные вентили; 6 — вентили рециркуляции насоса; 7 — манометр $P_{ВХ}$; 8 — манометр $P_{ВЫХ}$; 9 — выходные вентили; 10 — дренаж; 11 — датчик температуры; 12 — датчик переменного давления

В экспериментах использовалась бентонитовая глина Даш-Салахлинского месторождения Республики Азербайджан, которая в своем составе имеет от 80 до 95 % монтмориллонита. На рисунке 2 а приведена гранулометрическая характеристика суспензии, приготовленной с помощью высокоскоростной механической мешалки. Для получения характера

распределения частиц суспензии по размерам был использован прибор FRITSCH ANALYSETTE 22, использующий метод лазерной дифракции.



а



б

Рис. 2. Гранулометрическая характеристика суспензии [2]: а) до волновой обработки; б) после волновой обработки

Результаты и обсуждение

Методика эксперимента заключалась в следующем. Затворенную водой монтмориллонитовую глину обычным способом (без специальной обработки) прокачивали насосом через волновой генератор. В процессе эксперимента, исходя из спектральных характеристик колебаний в обрабатываемой среде, определяли оптимальный режим волновой обработки. Результаты эксперимента показали существенное увеличение степени

дисперсности суспензии. При этом средний (медианный) размер минеральных частиц монтмориллонита существенно уменьшился от 5–10 до 1–3 мкм (рис. 2 б). Естественно, такое изменение дисперсности повлияло на существенный рост реологических характеристик (рис. 3).

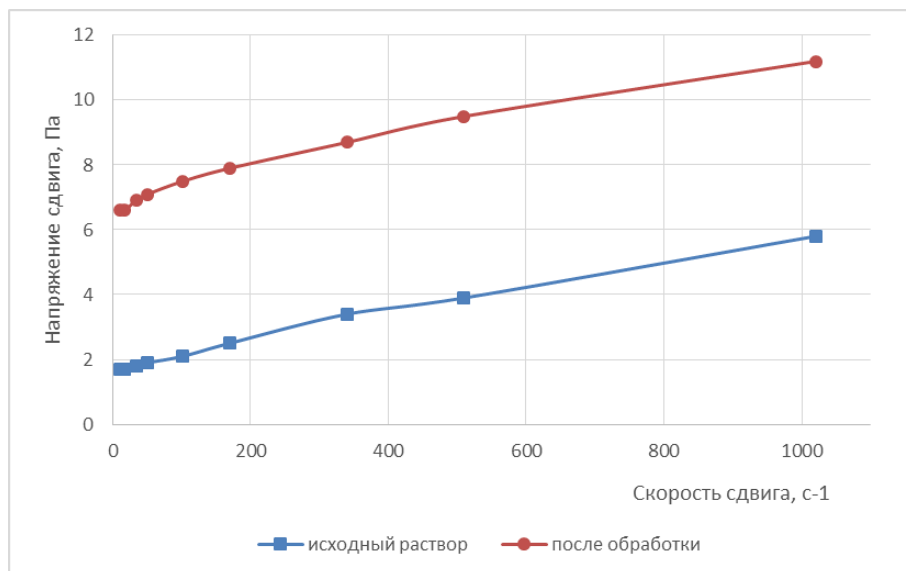


Рис. 3. Реологические кривые глинистой суспензии до и после обработки [2]

Кроме того, оно коренным образом изменяет технологию получения буровых промывочных растворов с уменьшением расхода реагентов. Меньший размер частиц твердой фазы способствует применению технологии создания прочного малопроницаемого коьматационного экрана в проницаемой породе. Это, в свою очередь, ограничивает проникновение фильтрата бурового раствора в продуктивный пласт, предупреждает осложнения в технологических процессах строительства скважины. Кроме того, существенно повышается качество первичного вскрытия и разобщения продуктивных пластов.

Промысловые испытания полученных результатов лабораторных экспериментов проводились в заводских условиях в цехе приготовления буровых растворов ПАО «Татнефть».

Схема гидравлической обвязки волновых генераторов приведена на рисунке 4.

При этом проводились отборы проб бурового раствора через определенные промежутки времени и определялись технологические показатели (реологические характеристики).

Результаты испытаний доказали, что волновая обработка повышает такие реологические показатели, как динамическое напряжение сдвига и условная вязкость.

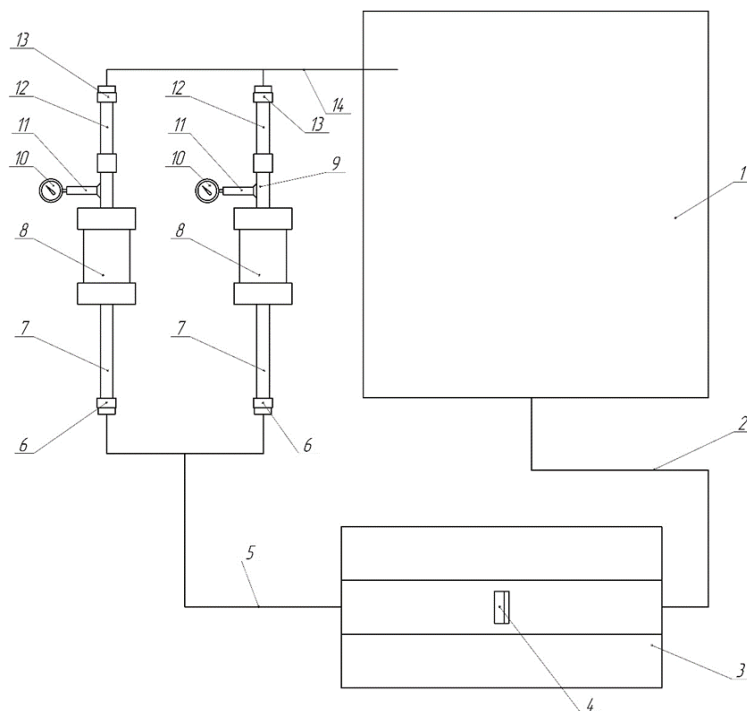


Рис. 4. Схема гидравлической обвязки проточного генератора в процессе приготовления глинистого бурового раствора [2]: 1 — 50-кубовая емкость; 2 — линия всасывания насоса; 3 — буровой насос; 4 — манометр насоса; 5 — нагнетательная линия; 6 — быстросъемное соединение; 7 — патрубок (НКТ 60Н/60Н); 8 — генератор; 9 — переходник (НКТ 60Н/60Н); 10 — манометр; 11 — демпфер манометра; 12 — патрубок (НКТ 60Н/60Н); 13 — быстросъемное соединение; 14 — выкидная линия

Такие же исследования проведены с генераторами вихревого типа. При этом было обработано 50 м³ глинистой суспензии, результаты исследований показали повышение вязкости и статического напряжения сдвига, что свидетельствует о повышении дисперсности суспензии.

Таким образом, результаты лабораторных экспериментов и промышленных испытаний доказали высокую эффективность волновой технологии приготовления буровых промывочных жидкостей.

Кроме того, в продолжение исследований в области волновой технологии приготовления буровых технологических жидкостей была разработана технология приготовления бурового раствора с кольматирующими свойствами с использованием блока приготовления раствора (БПР) в условиях буровой.

Для этого в обвязку БПР была включена конструкция — блок волновых генераторов БВГП.001, в корпусе которого были установлены два волновых генератора с телами обтекания. Общий вид блока БВГП.001 представлен на рисунках 5 и 6.

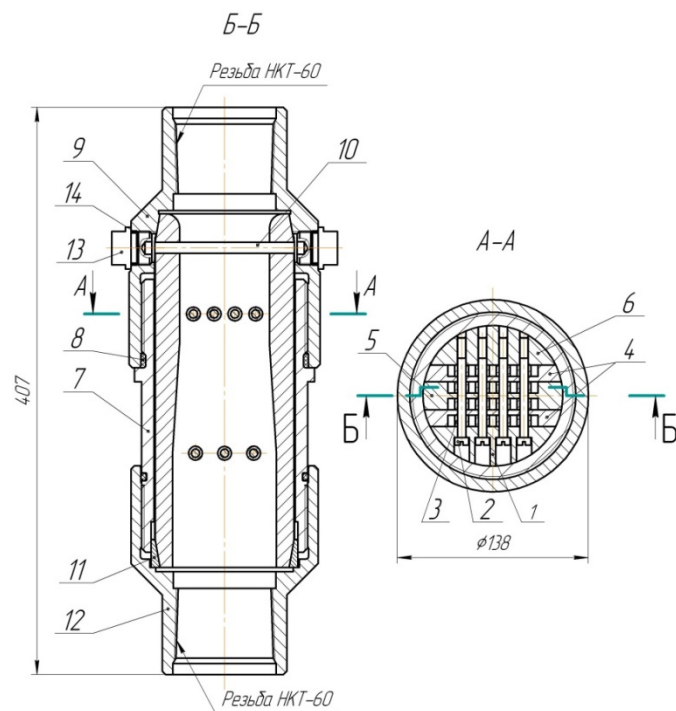


Рис. 5. Волновой генератор для приготовления раствора с кольматирующими свойствами

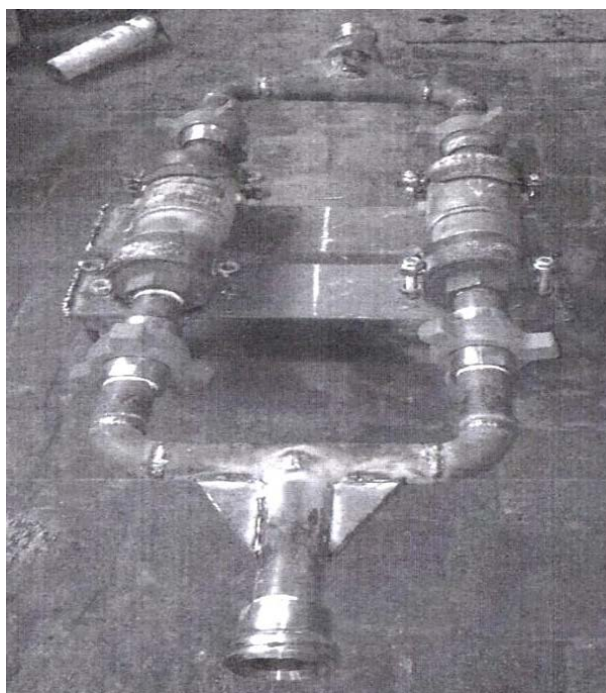


Рис. 6. Общий вид блока волновых генераторов БВГП.001

Генераторы во время проведенных промысловых испытаний обеспечили расчетные технологические режимы волновой обработки приготавливаемого бурового раствора с приданием ему коагулирующих свойств за счет эффективного диспергирования твердой фазы суспензии. Проведенные испытания в условиях буровой показали высокую эффективность волнового приготовления бурового раствора с коагулирующими свойствами, а также практичность разработанной технологии в целом.

Широкие технологические возможности открываются с применением волновой технологии при приготовлении различных технологических жидкостей. В том числе нами проведены исследования пересыщенного седиментационно-устойчивого солевого раствора повышенной плотности для глушения скважин.

Проведена оценка влияния волновой обработки пересыщенного солевого раствора на степень дисперсности нерастворившихся кристаллов соли. Исследования проводили на гидродинамическом стенде, схема которого приведена на рисунке 1. Для волновой обработки использовались экспериментальные волновые генераторы вихревого типа с тангенциальными каналами.

Методика эксперимента заключалась в следующем. Пересыщенный раствор NaCl подвергался волновой обработке в проточных генераторах в различных режимах с целью поиска оптимального режима по спектральным характеристикам колебаний в потоке суспензии в генераторе. В результате волновой обработки степень дисперсности существенно возросла: размер частиц соли в пересыщенном растворе при применении обычной механической мешалки — от 120 мкм (рис. 7 а), а после обработки волновым генератором — 1–6 мкм (рис. 7 б).

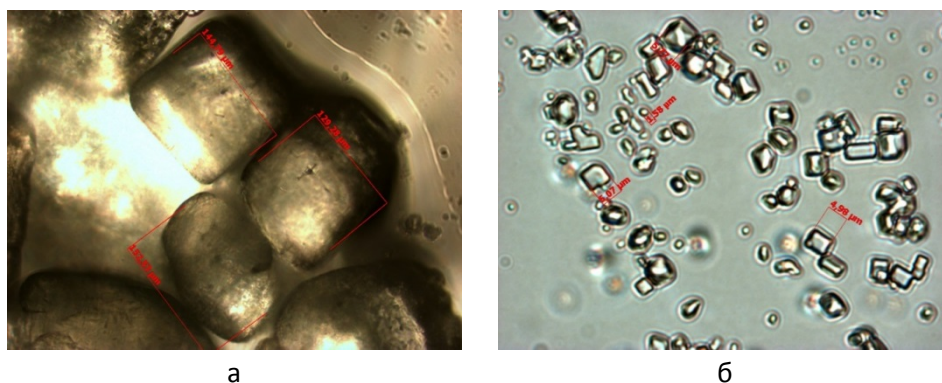


Рис. 7. Микрофотографии суспензии: а) до волновой обработки;
б) после волновой обработки

Повышение дисперсности суспензии привело к повышению седиментационной устойчивости солевого раствора. В свою очередь, это позволяет получить высокостабильный пересыщенный солевой раствор по-

вышенной плотности, достаточной для качественного глушения низкодебитных скважин. Высокая дисперсность суспензии и меньший размер частиц твердой фазы также открывают возможности получения экономически выгодных растворов для глушения высокодебитных скважин путем повышения плотности раствора до требуемых величин с добавлением в него различных утяжелителей.

Выводы

1. Волновая технология приготовления буровых промывочных жидкостей показала свою перспективность и экономическую целесообразность в отличие от существующих способов их приготовления.

2. Технология волновой обработки солевых композиций показала свою эффективность и перспективность с точки зрения повышения дисперсности, стабильности и их плотности, что открывает большие перспективы получения экономически выгодных растворов для глушения нефтяных и газовых скважин.

Список источников

1. Гайдаров, М. М.-Р. Дезинтеграторная технология приготовления буровых растворов и технологических жидкостей / М. М.-Р. Гайдаров, С. А. Кравцов. – Текст : непосредственный // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2007. – № 10. – С. 29–33.
2. Волновая технология приготовления буровой промывочной жидкости / В. Ю. Артамонов, А. П. Пустовгар, Д. Р. Султанов [и др.] // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2017. – № 11. – С. 31–34.
3. Ганиев, Р. Ф. Волновые машины и технологии (введение в волновую технологию) / Р. Ф. Ганиев. – Москва : Научно-издательский центр РХД, 2008. – 192 с. – Текст : непосредственный.
4. Ганиев, Р. Ф. Нелинейная волновая механика и технологии / Р. Ф. Ганиев, Л. Е. Украинский. – Москва : Научно-издательский центр РХД, 2008. – 712 с. – Текст : непосредственный.
5. Ганиев, Р. Ф. Нелинейные резонансы и катастрофы. Надежность, безопасность и бесшумность / Р. Ф. Ганиев. – Москва : Научно-издательский центр РХД, 2013. – 592 с. – Текст : непосредственный.

References

1. Gaydarov, M. M.-R., & Kravtsov, S. A. (2007). Dezintegratornaya tekhnologiya prigotovleniya burovykh rastvorov i tekhnologicheskikh zhidkostey. Construction of Oil and Gas Wells on Land and Sea, (10), pp. 29-33. (In Russian).
2. Artamonov, V. Yu., Pustovgar, A. P., Sultanov, D. R., Koshelev, A. T., Kuznetsov, Yu. S., & Ganiev, S. R. (2017). Wave technology of preparation of drilling washing liquid. Construction of Oil and Gas Wells on Land and Sea, (11), pp. 31-34. (In Russian).

3. Ganiev, R. F. (2008). Volnovye mashiny i tekhnologii (vvedenie v volnovuyu tekhnologiyu). Moscow, Nauchno-izdatel'skiy tsentr RKhD Publ., 192 p. (In Russian).
4. Ganiev, R. F., & Ukrainskiy, L. E. (2008). Nelineynaya volnovaya mekhanika i tekhnologii. Moscow, Nauchno-izdatel'skiy tsentr RKhD Publ., 712 p. (In Russian).
5. Ganiev, R. F. (2013). Nelineynye rezonansy i katastrofy. Nadezhnost', bezopasnost' i besshumnost'. Moscow, Nauchno-izdatel'skiy tsentr RKhD Publ., 592 p. (In Russian).

Информация об авторах

Кузнецов Юрий Степанович,
доктор технических наук, профессор,
ведущий научный сотрудник, Институт
машиноведения им. А. А. Благонравова РАН, г. Москва

Аверьянов Алексей Петрович,
доктор технических наук, главный
научный сотрудник, Институт машино-
ведения им. А. А. Благонравова РАН,
г. Москва

Бастриков Сергей Николаевич,
доктор технических наук, профессор
кафедры бурения, Тюменский инду-
стриальный университет, г. Тюмень

Овчинников Павел Васильевич,
доктор технических наук, главный
научный сотрудник, Институт машино-
ведения им. А. А. Благонравова РАН,
г. Москва

Султанов Данир Ризифович,
кандидат технических наук, научный
сотрудник, Институт машиноведения
им. А. А. Благонравова РАН, г. Москва,
sultanov.d.r@yandex.ru

Урманчев Вячеслав Исмаилович,
доктор технических наук, главный
научный сотрудник, Институт машино-
ведения им. А. А. Благонравова РАН,
г. Москва

Information about the authors

Yuri S. Kuznetsov, Doctor of Engi-
neering, Professor, Leading Researcher,
Mechanical Engineering Research Insti-
tute of the Russian Academy of Sciences,
Moscow

Alexey P. Averyanov, Doctor of
Engineering, Chief Researcher, Mechani-
cal Engineering Research Institute of the
Russian Academy of Sciences, Moscow

Sergey N. Bastrikov, Doctor of En-
gineering, Professor at the Department of
Drilling Oil and Gas Wells, Industrial
University of Tyumen

Pavel V. Ovchinnikov, Doctor of
Engineering, Chief Researcher, Mechani-
cal Engineering Research Institute of the
Russian Academy of Sciences, Moscow

Danir R. Sultanov, Candidate of
Engineering, Researcher, Mechanical En-
gineering Research Institute of the Russian
Academy of Sciences, Moscow, sul-
tanov.d.r@yandex.ru

Vyacheslav I. Urmanceev, Doctor
of Engineering, Mechanical Engineering
Research Institute of the Russian Academy
of Sciences, Moscow

Статья поступила в редакцию 07.06.2022; одобрена после рецензирования 22.06.2022; принята к публикации 30.06.2022.

The article was submitted 07.06.2022; approved after reviewing 22.06.2022; accepted for publication 30.06.2022.