

Лабораторно-стендовые и промысловые исследования волновой и струйной кольматации проницаемой породы

О. Р. Ганиев¹, А. П. Аверьянов¹, С. Р. Ганиев¹, Ю. С. Кузнецов¹,
Р. Ю. Кузнецов¹, В. А. Мнацканов², В. Н. Федоров¹, Н. А. Шамов^{1*},
И. И. Султанова¹, Д. Р. Султанов¹

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

²ООО «Газпром ВНИИГАЗ», Санкт-Петербург

*shamov.na@meil.ru

Аннотация. Кольматация проницаемой породы известна в природе и промышленной деятельности, в частности в строительстве и эксплуатации скважин. В процессе бурения возникает естественная кольматация твердыми частицами бурового раствора и разбуренной горной породы с образованием непрочного проницаемого внутриворонного слоя и рыхлой фильтрационной корки на стенке скважины, которые осложняют последующий спуск и снижают качество цементирования обсадных колонн. Кроме того, не предотвращаются межпластовые перетоки, поглощения буровых и тампонажных растворов, загрязнения пластов фильтратом и твердой фазой на значительное удаление от скважины. Все это приводит к увеличению материальных и финансовых затрат, сроков заканчивания, освоения и ввода в эксплуатацию скважин. Практика строительства скважин показала, что наиболее несложными и эффективными приемами преодоления перечисленных выше проблем служат некоторые виды принудительной кольматации в процессе бурения стволов скважин. Наиболее широкое распространение в нефтегазовой отрасли получили следующие два способа кольматации: гидродинамический струйный и волновой кавитационно-вихревой, созданный на основе достижений теории и практики нелинейной волновой механики многофазных сред.

Цель лабораторно-стендовых и промысловых исследований — установить, какой из указанных выше способов кольматации имеет преимущество перед другим, и на этом основании разработать более эффективные виды техники и технологии кольматации для применения в строительстве скважин.

В ходе наблюдений получены математические модели, описывающие влияние основных исследуемых факторов на результаты волнового и струйного способов репрессивной принудительной кольматации. Установлено положительное влияние на улучшение характеристик глинистых растворов. Отмечается, что растворы приобретают более высокую устойчивость к седиментации их твердой фазы вследствие ее попутного диспергирования. Проведены многочисленные промысловые испытания технологии и техники волнового и струйного способов кольматации, которые подтвердили указанные выше результаты и ожидания. Более эффективный способ кольматации — волновой.

Ключевые слова: волновая кавитационно-вихревая и гидродинамическая струйная, виды кольматации, способы обработки многофазного бурового раствора, давление начала фильтрации через слой кольматации в породе, объемная концентрация и седиментация твердой фазы, интенсивность расходуемой энергии, степень кольматации

Для цитирования: Лабораторно-стендовые и промысловые исследования волновой и струйной кольматации проницаемой породы / О. Р. Ганиев, А. П. Аверьянов, С. Р. Ганиев [и др.]. — DOI 10.31660/0445-0108-2025-3-66-81 // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. — 2025. — № 3. — С. 66–81. — EDN: LOYYUI

Laboratory, bench and field studies wave and jet colmatation of permeable rock

Oleg R. Ganiev¹, Aleksey P. Aver'yanov¹, Stanislav R. Ganiev¹,
Juriy S. Kuznetsov¹, Roman Ju. Kuznetsov¹, Vadim A. Mnacakanov²,
Vyacheslav N. Fedorov¹, Nikolay A. Shamov¹, Irina I. Sultanova¹,
Danir R. Sultanov¹

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

²*Gazprom, Sankt-Peterburg*

**shamov.na@meil.ru*

Abstract. Colmatation is a well-known phenomenon in both natural and industrial processes, particularly in the construction and operation of wells. During drilling, natural colmatation occurs when solid particles from the drilling fluid and cuttings create a weakly permeable internal pore layer and a loose filter cake on the wellbore wall. These formations complicate subsequent casing operations and reduce the quality of cementing. Moreover, they do not prevent interlayer flows, leading to losses of drilling and cementing fluids, as well as contamination of the reservoir with filtrate and solid particles, sometimes extending considerable distances from the well. Consequently, the costs, timeframes, and complexity of well completion, development, and commissioning can increase significantly. Well-construction experience has demonstrated that certain types of forced colmatation during drilling can effectively address these issues. Two methods have emerged as the most widely utilized in the oil and gas industry:

Hydrodynamic jet colmatation

Wave-induced cavitation-vortex colmatation, which is based on advancements in nonlinear wave mechanics of multiphase media.

The primary goal of this laboratory and field research is to determine which of these two colmatation methods is more effective. This comparison will facilitate the development of more efficient techniques and technologies for well construction. This paper presents mathematical models that have been developed based on laboratory bench-scale experiments. These models describe the effects of key parameters on the wave- and jet-induced forced commutation in permeable rock.

The study revealed a positive effect of these treatments on the properties of clay-based drilling fluids. In particular, the fluids demonstrated enhanced resistance to sedimentation of the solid phase, due to simultaneous dispersion during treatment. Extensive field trials of wave and jet colmatation technologies were also conducted, which confirmed the laboratory results and validated initial expectations. Among the two methods, wave-induced colmatation proved to be more effective.

Keywords: wave cavitation-vortex and hydrodynamic jet, types of colmatation, multiphase drilling fluid treatment methods, filtration onset pressure through the colmatation layer in the rock, volume concentration and sedimentation of the solid phase, intensity of energy consumption, degree of colmatation

For citation: Ganiev, O. R., Aver'yanov, A. P., Ganiev, S. R., Kuznetsov, Ju. S., Kuznetsov, R. Ju. Mnasakanov, V. A. ... & Sultanov, D. R. (2025). Laboratory, bench and field studies wave and jet colmatation of permeable rock. *Oil and Gas Studies*, (3), pp. 66-81. (In Russian). DOI: 10.31660/0445-0108-2025-3-66-81

Введение

Многие виды кольматации при бурении скважин предупреждают нефтегазовые проявления, поглощения буровых и цементных растворов, улучшают их реологические характеристики, способствуют повышению качества цементирования скважин. Наиболее широкое распространение в нефтегазовой отрасли получили два вида принудительной кольматации. К ним относятся волновая кавитационно-вихревая, созданная на основе достижений теории и практики нелинейной волновой механики многофазных сред [1–3], и гидродинамическая струйная [4]. Следует отметить существенную роль нелинейных волновых явлений в технологии приготовления достаточно качественных и доступных буровых растворов [1–3, 5] за счет использования продуктов разбуривания глинистых пропластков и их диспергирования непосредственно в скважинах.

Цель лабораторно-стендовых и промысловых исследований — установить, какой из указанных выше способов кольматации имеет преимущества перед другим, и на основании результатов исследований и промысловых испытаний разработать более эффективные виды техники и технологии кольматации для применения в строительстве скважин.

Исследуемые параметры, показатели, характеристики

Объемная концентрация твердой фазы кольматационного раствора

$$C_k = \frac{V_g}{V_w + V_g} \times 100\%,$$

где V_g — объем твердой фазы раствора; V_w — объем дисперсионной фазы.

Интенсивность расходуемой на кольматацию энергии

$$I = \frac{\Delta P_n Q}{S_k},$$

где ΔP_n — равные перепады давления на волновом излучателе и гидродинамической насадке; Q — равные расходы растворов через них; S_k — эффективная площадь пятна контакта с проницаемой породой, она существенно больше у вихревого потока от излучателя из-за его конструктивных особенностей, чем у струи из гидромониторной насадки.

V_f — объем фильтрата кольматационного раствора, выделившийся через образец породы за время проведения его кольматации.

Степень эффективности кольматации исследуемого образца проницаемой песчаной породы

$$\Psi_k = \frac{k_0 - k_k}{k_0} \times 100\%,$$

где k_0 , k_k — соответственно исходная и конечная проницаемости после кольматации породы, которые определялись по известной методике.

Показатель седиментации растворов (седиментационной устойчивости)

$$S_c = \frac{V_0 - V_p}{V_0} \times 100\%,$$

где V_0 — общий объем налитого в мерный сосуд раствора; V_p — объем раствора ниже уровня расслаивания.

Проведение исследований на экспериментальном стенде

В качестве кольматационной среды использовались растворы куганакской глины различной плотности с низкими гидрофильными свойствами, но близкие к природным глинам разбурываемых пропластков скважин.

Наблюдения подтвердили, что растворы куганакской глины после 6-часовой волновой кавитационно-вихревой обработки (ВКВО) имеют более высокую устойчивость к седиментации твердой фазы бурового раствора, чем после применения гидродинамической струи (ГДСО) (рис. 1, табл. 1).

Процессы седиментации твердой фазы растворов после ВКВО существенно замедлились по сравнению с ГДСО, а показатели седиментации значительно снизились, что свидетельствует о более высокой седиментационной устойчивости. При этом раствор плотностью $1\,130\text{ кг/м}^3$ после кавитационно-вихревого диспергирования твердой фазы принял вид пастообразной массы, которая не изменяла своего состояния в течение более чем месяца отстаивания в резервуаре, но обладала высокой текучестью и относительно низкой вязкостью. В глинистых растворах в процессе проведения экспериментальных исследований никакие структурно-стабилизирующие химреагенты не применялись. Этим преднамеренно ухудшались начальные коагулирующие свойства исследуемых растворов, но подчеркивалось значительное влияние на них процесса ВКВО.

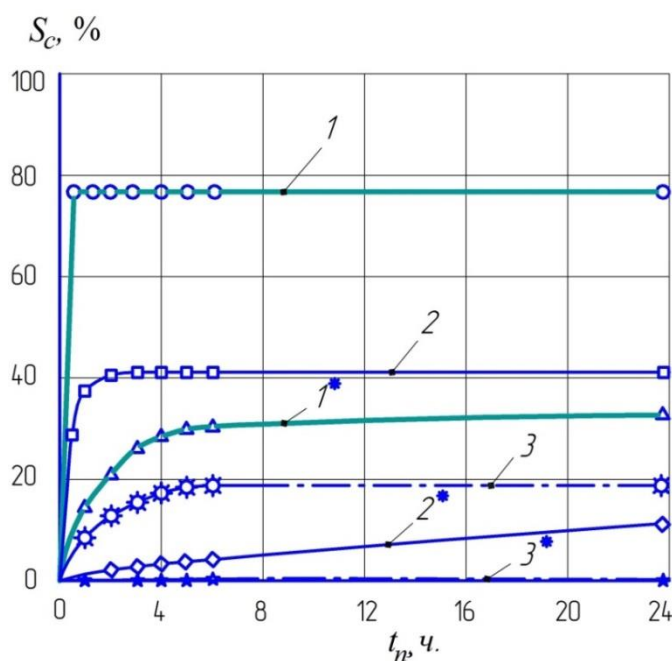


Рис. 1. Кинетика седиментации частиц твердой фазы растворов:

- 1 — плотностью $1\,020\text{ кг/м}^3$ после ГДСО;
- 1* — плотностью $1\,020\text{ кг/м}^3$ после ВКВО;
- 2 — плотностью $1\,070\text{ кг/м}^3$ после ГДСО;
- 2* — плотностью $1\,070\text{ кг/м}^3$ после ВКВО;
- 3 — плотностью $1\,130\text{ кг/м}^3$ после ГДСО;
- 3* — плотностью $1\,130\text{ кг/м}^3$ после ВКВО

Таблица 1

Изменение седиментационной устойчивости глинистых растворов

Плотность раствора, кг/м ³	После ВКВО		После ГДСО	
	Длительность седиментации, час.	Показатель седиментации, %	Длительность седиментации, час.	Показатель седиментации, %
1 020	6	33,0	0,5	77
1 070	24	11,0	3,0	42
1 130	480	0,2	6,0	19

Результаты исследований подвергнутого волновой обработке и гидромеханическому перемешиванию раствора глины плотностью 1 070 кг/м³ приведены в таблице 2.

Таблица 2

Результаты измерений частиц твердой фазы раствора

Выходной параметр	Вид обработки раствора	Диаметр частиц твердой фазы, мкм							
		≤ 2	2–4	4–6	6–12	12–33	33–40	40–50	50–70
Доля частиц твердой фазы, %	ГДСО	4	4	32	16	3	1	2	38
	ВКВО	4	4	42	18	5	13	6	8

После ВКВО доля частиц в растворе размерами 4–12 мкм составляла 60 %, 50–70 мкм — 8 % от общего числа частиц. В то время как после ГДСО она составляла соответственно 48 и 38 %.

Также проводились исследования с целью установления факта образования в образцах проницаемой породы слоя кольматации при отсутствии перепада давления, то есть репрессии на них. Степень кольматации при ВКВО была иногда довольно заметной (от 22 до 99 %), то есть частицы кольматанта перемещались в поровых каналах породы и образовывали в них кольматационные пробки. Такое перемещение частиц можно объяснить нелинейными волновыми процессами.

При описании такого первого выходного параметра, как степень кольматации при ВКВО, была выбрана следующая математическая модель с 82 %-ной долей объясненной вариации (коэффициент корреляции 0,90):

$$\Psi_k = 49,1 + 10,33C_k + 9,78I + 62,88\Delta P_n - 45,43k_0 - 1,2C_k^2 - 1,07I^2 - 30,21\Delta P_n^2 + 25,42k_0^2.$$

Степень кольматации при ГДСО была описана с 70 %-ной долей объясненной вариации (коэффициент корреляции 0,84) следующей моделью:

$$\Psi_k = 60,9 + 5,19C_k + 0,134I + 35,8\Delta P_n - 6k_0 - 0,5C_k^2 - 0,0004I^2 - 14,2\Delta P_n^2.$$

Второй выходной параметр, объем выделившегося в процессе кольматации фильтрата при ВКВО, описывался моделью с 88 %-ной долей вариации (коэффициент корреляции 0,93):

$$V_f = -21 - 0,71C_k + 8,2I + 54\Delta P_n + k_0 - 0,069I^2 - 33,2\Delta P_n^2 + 4,6k_0^2.$$

Объем выделившегося фильтрата при ГДСО определился с 92 %-ной долей вариации (коэффициент корреляции 0,96) и описывался моделью:

$$V_f = -3,68 - 0,52C_k + 0,097I + 57,3\Delta P_n - 0,0003I^2 - 35,9\Delta P_n^2 + 1,42k_0^2.$$

Третий выходной параметр — давление начала фильтрации через закольматированный образец породы при ВКВО — выступает важным оценочным фактором прочности слоя кольматации к гидродинамическим нагрузкам. Этот параметр был описан зависимостью с 82 %-ной долей вариации (коэффициент корреляции 0,90):

$$P_p = 3,97 + 0,13C_k - 0,89I + 1,98\Delta P_n - 4,93k_0 - 0,017C_k^2 + 0,068I^2 - 0,91\Delta P_n^2 + 3,66k_0^2.$$

Давление начала фильтрации через закольматированный образец породы при ГДСО описывается с 69 %-ной долей вариации (коэффициент корреляции 0,83):

$$P_p = 0,49 + 0,14C_k + 84 \times 10^{-5}I + 0,44\Delta P_n - 0,75k_0 - 0,019C_k^2 - 46 \times 10^{-7}I^2 - 0,17\Delta P_n^2 + 0,31k_0^2.$$

На рисунках 2–5 представлены графики некоторых зависимостей величины давления начала фильтрации от статического перепада давления на образце породы, объемной концентрации кольматанта, его исходной проницаемости, интенсивности расходуемой энергии.

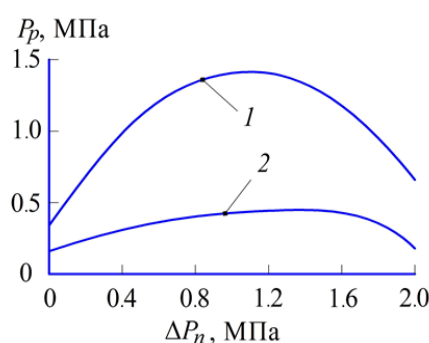


Рис. 2. Влияние перепада давления на образце породы на величину давления начала фильтрации: 1 — $P_p = 0,34 + 1,98\Delta P_n - 0,91\Delta P_n^2$ после волновой кольматации; 2 — $P_p = 0,16 + 0,44\Delta P_n - 0,17\Delta P_n^2$ после струйной

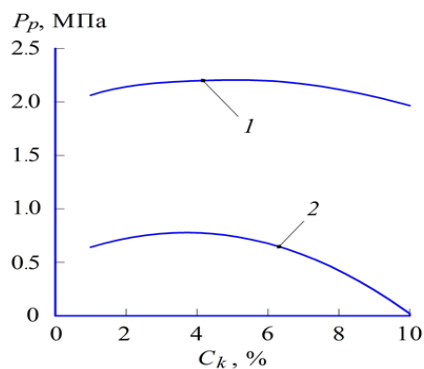


Рис. 3. Влияние объемной концентрации колюматанта на величину давления начала фильтрации: 1 – $P_p = 1,95 + 0,13C_k - 0,017C_k^2$ после волновой колюматации; 2 – $P_p = 0,52 + 0,14C_k - 0,019C_k^2$ после струйной

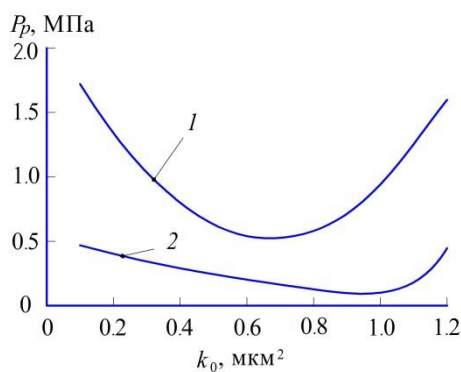


Рис. 4. Влияние исходной проницаемости породы на величину давления начала фильтрации: 1 – $P_p = 2,18 - 4,93k_0 + 3,66k_0^2$ после волновой колюматации; 2 – $P_p = 0,54 - 0,75k_0 + 0,31k_0^2$ после струйной

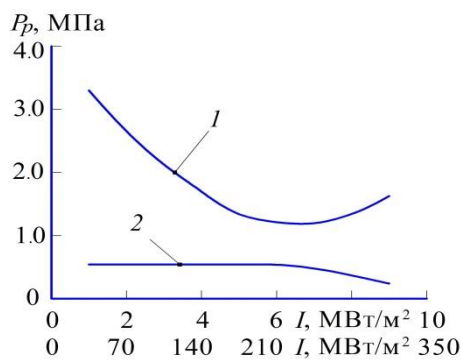


Рис. 5. Влияние интенсивности энергии на величину давления начала фильтрации: 1 – $P_p = 4,11 - 0,89I + 0,068I^2$ после волновой колюматации; 2 – $P_p = 0,53 + 0,84 \times 10^{-3}I - 0,46 \times 10^{-5}I^2$ после струйной

Они получены при фиксированных значениях таких факторов, как $C_k = 7,8 \%$, $k_0 = 0,2 \text{ мкм}^2$, $\Delta P_n = 0,8 \text{ МПа}$, $I = 8 \text{ МВт/м}^2$ при волновой кольматации; $C_k = 7,8 \%$, $k_0 = 0,2 \text{ мкм}^2$, $\Delta P_n = 0,8 \text{ МПа}$, $I = 280 \text{ МВт/м}^2$ при струйной кольматации (при равной энергии).

Использование попутной волновой кольматации в процессах бурения скважин

На рисунке 6 представлена схема функционирования наддолотного устройства для ВКВО и кольматации проницаемой породы скважины, далее оно обозначено как волновой кольмататор типа УОК [6].

В его корпусе 1 установлен радиально-ориентированный к стенке 2 ствола скважины волновой кавитационно-вихревой патрубок 3, в котором выполнена двухсторонняя вихревая камера 4 с одним или более входными тангенциальными каналами 5. При этом наиболее эффективное расстояние h между обоими торцами вихревого патрубка и стенкой скважины, а также диаметр d вихревой камеры определяются исходя из следующих соотношений:

$$h = (0,9 - 1,1)\sqrt{S}; \quad d = (2,6 - 3,3)\sqrt{S};$$

где S — суммарная площадь проходных сечений всех тангенциальных каналов.

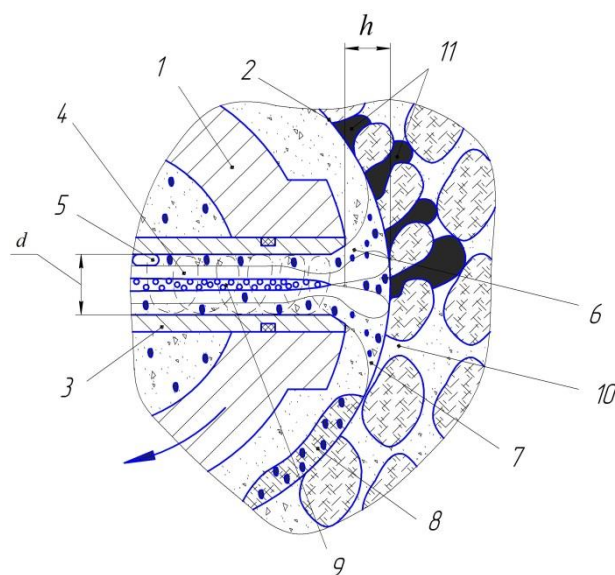


Рис. 6. Схема работы волнового кольмататора

Вращающиеся в вихревой камере потоки кольматационного раствора преобразуются в веерообразные конические течения 6, затем превращающиеся в касательно направленные к стенке ствола потоки 7, способствующие

шие очистке зоны кольматации от фильтрационной корки 8. В вихревом потоке приосевой зоны разряжения 9 вихревого патрубка возникают и схлопываются парогазовые каверны, дробящие и активирующие частицы твердой фазы, образуя седиментационно устойчивый буровой раствор. На очищенной от корки поверхности ствола в волновом поле поровые каналы и трещины 10 закупориваются активированной дисперсной фазой бурового раствора.

Процесс кольматации происходит при репрессии на пласт и многоцикловом воздействии кольмататора на породу стенки скважины при его вращательно-поступательном перемещении. Таким образом, создается практически непроницаемый устойчивый слой кольматации 11.

Применение технологии ВКВО в процессе приготовления буровых растворов в лабораторно-стендовых и скважинных условиях

Результаты исследований [7–9] влияния ВКВО растворов куганакской глины на экспериментальном стенде на их параметры без добавления химреагентов приведены в таблице 3, где СНС — статическое напряжение сдвига. Вследствие улучшения реологических свойств у трех видов растворов наблюдалось снижение в 1,5–2,5 раза темпа гидроабразивного износа стального кавитационно-вихревого патрубка, что было вызвано постепенным измельчением твердой фазы во всем объеме кольматационного промывочного раствора, часть которого проистекала через тангенциальные каналы вихревой камеры, направленной на образец, имитирующий проницаемую горную породу.

Таблица 3

Результаты ВКВО растворов из порошка куганакской глины на стенде

Плотность раствора, кг/м ³	Замедление седиментации твердой фазы	Увеличение эффективной вязкости	Повышение СНС _{1/10} , дПа	Снижение фильтратоотдачи	Снижение доли крупных частиц
1020	в 39 раз	в 7 раз	от 0 до 1/1	в 1,7 раза	в 3 раза
1070	в 15 раз	в 3,6 раза	от 0 до 12/15	в 10 раз	в 5 раз
1130	в 80 раз	в 2,9 раза	от 0 до 50/54	в 10 раз	в 5 раз

В 1998 году в Чернушинском филиале ЗАО «Лукойл-Бурение-Пермь» куста № 8 Маскудынской площади при бурении стволов скважин происходили существенные поглощения промывочной. По этой причине в циркуляционной системе не успевал нарабатываться сколько-нибудь седиментационно-устойчивый раствор попутной природной глины. В таблице 4 приведены результаты наблюдений за попутным с кольматацией процессом ВКВО буровых растворов при использовании волновых кольмататоров типа УОК-295.3 и

УОК-215.9 в качестве диспергаторов наработанной в процессе разбуривания природной глины даже без добавок соответствующих стабилизаторов.

Таблица 4

Результаты наблюдений за попутным с кольматацией процессом ВКВО буровых растворов природной глины из шлама пропластков скважины

Скважина	Тип устройства для ВКВО	Плотность раствора, кг/м ³		Условная вязкость, с		Фильтрато-отдача, см ³ /30	
		в начале	в конце	в начале	в конце	в начале	в конце
№ 467	УОК-295.3	1020	1080	15	16	12	8,0
	УОК-215.9	1030	1130	15	16	12	6,0
№ 471	УОК-295.3	1140	1160	16	18	12	9,0
№ 491	УОК-295.3	1030	1140	15	16	12	6,0

На скважине № 2-М Михайловского участка Курганской области в ОАО «Красноленинскнефтегазгеология» в 2008 году с применением кольмататора УОК-295.3 прорабатывался пробуренный роторной компоновкой ствол под техническую колонну с замером параметров раствора, полученного наработкой природной глины (табл. 5).

Таблица 5

Результаты наблюдений за попутным с кольматацией процессом ВКВО глинистого шлама

Период замеров	Плотность раствора, кг/м ³	Условная вязкость, с	Фильтрато-отдача, см ³ /30	СНС _{1/10} , дПа	Толщина корки фильтрационной, мм
В начале процесса	1150	38	8	18/33	0,5
В середине процесса	1180	49	6	21/42	0,5
В конце бурения	1220	53	5	21/42	0,5

Наблюдаемые в начале бурения осложнения в виде обвалов, сужений, каверн и даже прихватов инструмента прекратились по мере увеличения глинистой фазы. Использование волнового кольмататора типа УОК-295,3 дало возможность устранить возникновение подобных осложнений при бурении других скважин.

Экспериментальные исследования и промысловые наблюдения показали, что в результате кавитационно-волнового приготовления буровых растворов происходило замедление седиментации и снижение абразивности твердой фазы. Это приводило к увеличению вязкости и статического напряжения сдвига (СНС), снижению фильтратоотдачи раствора.

Испытания технологии и техники ВКВО при бурении в промышленных условиях осуществлялись при расходах от 0,005 до 0,006 м³/с и перепаде давления на устройстве от 3 до 4 МПа.

В ПО «Нижневартовскнефтегаз» в 1987 году и ТОО «Бургылау» (Казахстан) в 2005 году в результате использования волновой кольматации заметно повысилось качество цементирования обсадных колонн вследствие снижения недоподъема тампонажного раствора в заколонном пространстве скважин (табл. 6).

Использование кольматации заметно снизило или предупредило возникновение нефтегазопроявлений (табл. 7) при проведении спускоподъемных операций (СПО).

Также применение волновой кольматации позволило более эффективно предотвратить поглощения бурового раствора (табл. 8).

Таблица 6

Результаты влияния кольматации стволов скважин на высоту подъема цементного раствора

Скважина	Месторождение, предприятие	Технология вскрытия пласта	Недоподъем цементного раствора до устья, м
№ 35117	Самотлорское, ПО «Нижневартовск-Нефтегаз»	С волновой кольматацией	25
№ 12495			85
№ 35131		Контрольные, без кольматации	555
№ 12891			580
№ 371	Узеньское, ТОО «Бургылау»	С волновой кольматацией	0 (полный подъем)
№ 7760			32
Контрольные		Без кольматации	до 400

Таблица 7

Результаты влияния кольматации на устранение или снижение нефтегазовых проявлений

Скважины с кольматацией, месторождение или площадь	Тип кольмататора, дата работы	Нефтегазовые проявления	
		С кольматацией	На скважинах без кольматации
№№ 35117, 12495, Самотлорское	Волновой, 1987	Газовый фактор: 1,3 % при бурении, 3,5 % при СПО	Газовый фактор: 5,6 % при бурении, 17,6 % при СПО
№№ 6062, 6183, Варьеганское	Волновой, 1991	Газопроявления не наблюдались	Небольшие газопроявления
№№ 467, 471, 491, Маскудынская	Волновой, 1997	Нефтепроявления не наблюдались	Нефтепроявления
№ 101, «Находкинское»	Волновой, 2005	Простои до 15–20 мин.	Простои скважины до 3 суток
№ 131, Татышлинская	Волновой, 2010	Проявления не наблюдались	Проявления нефти и сероводорода

Результаты влияния кольматации на поглощения растворов

Скважина с кольматацией, месторождение или площадь	Тип кольмататора, дата работы	Поглощение бурового раствора	
		С кольматацией	На скважинах без кольматации
№№ 35117, 12495 Самотлорское	Волновой, 1987	Не наблюдались	До 10 м ³ /час
8081, 1К Самотлорское	Волновой, 1991	Не наблюдались	До 15 м ³ за СПО
№№ 50446, 6062, 5417, 6183 Варьеганское	Волновой, 1991	Не наблюдались	До 15 м ³ за СПО
№ 4559 «Варьеганское»	Волновой, 1991	Не наблюдались	С потерей циркуляции
№№ 467, 471, 491 Маскудьянская	Волновой, 1997	Не наблюдались	С потерей циркуляции
№ 131 Татышлинская	Волновой, 2010	Прекратились	До 6 м ³ /ч

Кроме того, с помощью волновой кольматации в процессе бурения удалось прекратить или упредить возникновение обвалов породы, сужений и каверн, прихватов инструмента на перечисленных ниже объектах:

- №№ 35117, 12495, 35131, 12891 месторождения Самотлорское;
- №№ 467, 468, 471, 491 площади Маскудьянская; № 2-М Михайловского участка Курганской области;
- № 1 площади Геленджикская Краснодарского края;
- № 131 площади Татышлинская республики Башкортостан.

Сравнительные скважинные испытания технологии и техники волновой и струйной кольматации

В 1991 году на скважине № 6118 куста № 98 месторождения Варьеганское из-за интенсивного поглощения бурового раствора и интервале 1 300–1 550 м были вынуждены перейти с турбинного способа бурения на роторный с облегченным раствором, содержащим наполнитель (древесный опил), но поглощения полностью не прекратились.

При бурении следующей скважины № 4559 того же куста также под эксплуатационную колонну в компоновке с турбобуром ЗТСШ-195 был применен волновой кольмататор УОК-215.9. Без осложнений скважина была пробурена на глубину 2 236 м с заданными ограничениями скорости спуска инструмента 0,5 м/с после вскрытия интервала поглощения. Но ночная смена буровой бригады нарушила требования регламента по спуску, произведя его с недопустимой скоростью 2,5–3,0 м/с, даже без проработки с кольматацией интервала поглощения. Вследствие частичного разрушения породы ствола со

слоем кольматации в глинопесчанике из-за интенсивного скобления инструментом и значительного по величине «поршневого» эффекта во время промежуточной промывки произошла потеря циркуляции раствора в скважине.

При использовании струйного кольмататора с двумя гидродинамическими мониторами, в котором две сходящиеся струи бурового раствора направлены под углом вверх к друг другу, в процессе бурения следующей скважины того же куста даже в условиях снижения плотности раствора и скорости спуска инструмента до 0,5 м/с, на глубине 1 400 м произошли потеря циркуляции раствора и его поглощение.

Выводы и рекомендации

1. Из приведенных выше данных наблюдений, полученных при кольматации образцов искусственного песчаника, затем созданных на их основе зависимостей и математических моделей после обработки экспериментальных данных, а также результатов сравнительных скважинных испытаний следует, что кавитационно-волновой способ кольматации показал себя существенно эффективнее гидродинамического струйного.

2. Даже при отсутствии репрессии на образцах породы вследствие нелинейных волновых процессов происходит перемещение частиц глины растворов в поровые каналы породы и образование в них более-менее прочных пробок кольматанта.

3. Установлено, что использование в технологиях приготовления буровых растворов и проведение кавитационно-волнового диспергирования твердой фазы при разбурировании глинистых пропластков повышает седиментационную устойчивость растворов, улучшает их антифрикционные свойства, создает в 3–4 раза более прочный к колебаниям давления в скважине слой кольматации в проницаемых горных породах.

4. Применение техники и технологии волновой обработки промывочной жидкости и кольматации при бурении скважин позволило повысить качество последующего цементирования обсадных колонн, устранить нефтегазопроявления, увеличить суточный дебит скважин предупредить возникновение поглощений растворов, обвалов горных пород, прихватов бурового инструмента и обсадных колонн, и в целом снизить затраты на бурение скважин.

Список источников

1. Ганиев, Р. Ф. Нелинейная волновая механика и технология. Волновые и колебательные явления в основе высоких технологий / Р. Ф. Ганиев, Л. Е. Украинский. – Изд. 2-е, дополн. – Москва : Институт компьютерных исследований; Научно-издательский центр «Регулярная и хаотическая динамика». – 2011. – 780 с. – Текст : непосредственный.

2. Ганиев, Р. Ф. Волновые машины и технологии (Введение в волновую технологию) / Р. Ф. Ганиев. – Москва : Регулярная и хаотическая динамика, 2008. – 192 с. – Текст : непосредственный.

3. Wave technology in mechanical engineering: industrial applications of wave and oscillation phenomena / R. F. Ganiev, S. R. Ganiev, V. P. Kasilov, A. P. Pustovgar. – John Wiley & Sons, 2015. – 156 p. – Text : direct.
4. Мавлютов, М. Р. Управляемая кольматация призабойной зоны пластов при бурении и заканчивании скважин / М. Р. Мавлютов, Ю. С. Кузнецов, В. Н. Поляков. – Текст : непосредственный // Нефтяное хозяйство. – 1984. – № 6. – С. 7–10.
5. Маслов, В. В. Исследование кавитационной технологии приготовления буровых технологических жидкостей / В. В. Маслов, Е. А. Коновалов, Р. В. Плаксин. – Текст : непосредственный // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2006. – № 6. – С. 38–42.
6. Патент № 2313655 Российская Федерация, МПК E21B 37/02, E21B 33/13. Устройство для очистки и кольматации ствола скважины (варианты) : № 2006116200/03 : заявл. 2006.05.12 : опубл. 2007.12.27 / Шамов Н. А.; патентообладатель : Шамов Николай Александрович. – 17 с. – Текст : непосредственный.
7. Украинский, Л. Е. Исследования процессов репрессивно-волновой кольматации образцов искусственной породы / Л. Е. Украинский, И. Г. Устенко, Н. А. Шамов. – DOI 10.31857/S0235711923010121. – Текст : непосредственный // Проблемы машиностроения и надежности машин». – 2023. – № 1. – С. 3–15.
8. Ukrainskiy, L. E. Studies of Repression-Wave Colmatation of Artificial Rock Samples / L. E. Ukrainskiy, I. G. Ustenko, N. A. Shamov. – Text : direct // Journal of Machinery Manufacture and Reliability. – 2023. – Vol. 52, Issue 1. – P. 1–10.
9. Шамов, Н. А. Экспериментальные исследования процессов волновой кольматации проницаемой породы / Н. А. Шамов. – Текст : непосредственный // Проблемы машиностроения и автоматизации. – 2014. – № 2. – С. 34–39.

References

1. Ganiev, R. F., & Ukrainskiy, L. E. (2011). Non-Linear Wave Mechanics and Technologies. Moscow. Institut komp'yuternykh issledovanyu Publ., 780 p. (In Russian).
2. Ganiev, R. F. (2008). Volnovye mashyny i tekhnology (Introduction to Wave Technology). Moscow. Reguliarnaia i khaotichnaia dinamika Publ., 192 p. (In Russian).
3. Ganiev, R. F., Ganiev, S. R., Kasilov, V. P., & Pustovgar, A. P. (2015). Wave technology in mechanical engineering: industrial applications of wave and oscillation phenomena. John Wiley & Sons, 156 p. (In English).
4. Mavlyutov, M. R., Kuznetsov, Yu. S., & Polyakov, V. N. (1984). Upravlyemaya kol'matatsiya prizaboynoy zony plastov pri bureny i zakanchivany skvazhin. Oil industry, (6), pp. 7-10. (In Russian).
5. Maslov, V. V., Kononov, E. A., & Plaksin, R. V. (2006). Issledovanie kavitatsionnoy tekhnology prigotovleniya burovyykh technologyicheskikh zhidkostey. Construction of oil and gas wells on land and sea, (6), pp. 38-42. (In Russian).
6. Shamov, N. A. Ustroystvo dlya ochistki i kol'matatsii stvola skvazhiny (varianty). Pat. RF 2313655. No 2006116200/03. Applied: 2006.05.12. Published: 2007.12.27, 17 p. (In Russian).
7. Ukrainskiy, L. E., Ustenko, I. G., & Shamov, N. A. (2023). Issledovaniya processov repressionno-volnovoy kol'matatsii obrascov iskusstvennoy породы.

Probemy mashinostroeniya i nadezhnosti mashin, (1), pp. 3–15. (In Russian). DOI: 10.31857/S0235711923010121

8. Ukrainskiy, L. E., Ustenko, I. G., & Shamov, N. A. (2023). Studies of Repression-Wave Colmatation of Artificial Rock Samples. Journal of Machinery Manufacture and Reliability, 52 (1). Pp. 1–10. (In English).

9. Shamov, N. A. (2014). Experimental research of permeable rock wave colmatation. Probemy mashinostroeniya i avtomatisatsii, (2), pp. 34–39. (In Russian).

Информация об авторах / Information about the authors

Ганиев Олег Ривнерович, доктор технических наук, член-корр. РАН, директор Научного центра НВМТ, Институт машиноведения им. А. А. Благонравова РАН, Москва

Аверьянов Алексей Петрович, доктор технических наук, главный научный сотрудник, лаборатория технологии бурения и освоения скважин Научного центра НВМТ, Институт машиноведения им. А. А. Благонравова РАН, Москва

Ганиев Станислав Ривнерович, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, лаборатория технологии бурения и освоения скважин Научного центра НВМТ, Институт машиноведения им. А. А. Благонравова РАН, Москва

Кузнецов Юрий Степанович, доктор технических наук, заведующий лабораторией технологии бурения и освоения скважин Научного центра НВМТ, Институт машиноведения им. А. А. Благонравова РАН, Москва

Кузнецов Роман Юрьевич, доктор технических наук, ведущий научный сотрудник, лаборатория технологии бурения и освоения скважин Научного центра НВМТ, Институт машиноведения им. А. А. Благонравова РАН, Москва

Мнацаканов Вадим Александрович, доктор технических наук, начальник ЦТСиРС ООО «Газпром ВНИИГАЗ», Санкт-Петербург

Oleg R. Ganiev, Doctor of Engineering, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Director of NWMTC of RAS, Mechanical Engineering Research Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow

Aleksey P. Aver'yanov, Doctor of Engineering, Chef Researcher, Laboratory of Technologies of Drilling and Development of NWMTC of RAS, Mechanical Engineering Research Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow

Stanislav R. Ganiev, Candidate of Engineering, Leading Researcher, Laboratory of Drilling and Well Development Technology of NWMTC of RAS, Mechanical Engineering Research Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow

Juriy S. Kuznetsov, Doctor of Engineering, Head of the Laboratory of Technologies Of Drilling And Development Of Wells of NWMTC of RAS, Mechanical Engineering Research Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow

Roman Ju. Kuznetsov, Doctor of Engineering, Id. Researcher, Laboratory of Technologies of Drilling And Development of NWMTC of RAS, Mechanical Engineering Research Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow

Vadim A. Mnacakanov, Doctor of Engineering, Head of The CCSiRS ООО "Gazprom", Sankt-Peterburg

Федоров Вячеслав Николаевич, доктор технических наук, гл. научный сотрудник, лаборатория технологии бурения и освоения скважин Научного центра НВМТ, Институт машиноведения им. А. А. Благонравова РАН, Москва

Шамов Николай Александрович, доктор технических наук, гл. научный сотрудник, лаборатория колебаний и волновых процессов Научного центра НВМТ, Институт машиноведения им. А. А. Благонравова РАН, shamov.na@mail.ru, Москва

Султанова Ирина Игоревна, кандидат технических наук, младший научный сотрудник, лаборатория технологии бурения и освоения скважин Научного центра НВМТ, Институт машиноведения им. А. А. Благонравова РАН, Москва

Султанов Данир Ризифович, кандидат технических наук, ст. научный сотрудник, лаборатория технологии бурения и освоения скважин Научного центра НВМТ, Институт машиноведения им. А. А. Благонравова РАН, Москва

Vyacheslav N. Fedorov, Doctor of Engineering, Researcher, Laboratory of Technologies of Drilling And Development of Wells of NWMTC of RAS, Mechanical Engineering Research Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow

Nikolay A. Shamov, Doctor of Engineering, Researcher, Laboratory of Oscillations and Wave Processes of NWMTC of RAS, Mechanical Engineering Research Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow

Irina I. Sultanova, Candidate of Engineering, Junior Researcher, Laboratory of Technologies of Drilling and Development of NWMTC of RAS, Mechanical Engineering Research Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow

Danir R. Sultanov, Candidate of Engineering, Laboratory of Technologies of Drilling and Development of Wells of NWMTC of RAS, Mechanical Engineering Research Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow

Статья поступила в редакцию 24.03.2025; одобрена после рецензирования 16.04.2025; принята к публикации 21.04.2025.

The article was submitted 24.03.2025; approved after reviewing 16.04.2025; accepted for publication 21.04.2025.