ISSN 2712-8008
Том / Volume 25 №4 2025
Домашняя страница журнала: https://ered.pstu.ru/index.php/geo
НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЕ

УДК 622
Статья / Article
© ПНИПУ / PNRPU, 2025

Применение волнового генератора при цементировании скважин

В.М. Гиматдинов[1], Д.Р. Султанов[2], А.С. Жиркеев[3], М.В. Кузьмина[3], А.Х. Сафаров[3], И.Г. Фаттахов[3]

[1]ПАО «Татнефть» им. В.Д. Шашина (Российская Федерация, 423450, г. Альметьевск, ул. Ленина, 75а)
[2]Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН (ИФЗ РАН) (Российская Федерация, 123242, г. Москва, ул. Б. Грузинская, 10, стр. 1)
[3]Институт «ТатНИПИнефть» ПАО «Татнефть» им. В.Д. Шашина (Российская Федерация, 423462, г. Альметьевск, ул. Советская, 186А)

Using a Wave Generator in Well Cementing

Vladislav N. Gimatdinov[1], Danir R. Sultanov[2], Alexander S. Zhirkeev[3], Marina V. Kuzmina[3], Albert Kh. Safarov[3], Irik G. Fattakhov[3]

[1]PJSC TATNEFT named after V.D. Shashin (75a Lenina st., Almetyevsk, 423450, Russian Federation)
[2]Schmidt Institute of physics of the Earth of the Russian academy of sciences (Build. 1, 10 B. Gruzinskaya st., Moscow, 123242, Russian Federation)
[3]TatNIPIneft R&D Institute of the PJSC TATNEFT named after V.D. Shashin (186a Sovetskaya st., Almetyevsk, 423462, Russian Federation)

Получена / Received: 02.06.2025. Принята / Accepted: 31.10.2025. Опубликована / Published: 21.11.2025

Ключевые слова:
цементный камень, пористость, микроструктура, волновая обработка, генератор, пластичность и седиментационная устойчивость, кавитационно-волновой вихревой излучатель, высокоскоростные турбулентные течения, активизация частично гидратированного цемента.

Добыча углеводородов неизбежно сопровождается задачами сохранения надежной изоляции продуктивного горизонта от других проницаемых горизонтов. Переход большинства нефтяных месторождений России к финальной стадии разработки означает падение рентабельности на одну скважину, поэтому важной задачей является сохранение эффективности эксплуатационного этапа в жизненном цикле действующего фонда скважин и максимизация их межремонтного периода для снижения затрат на одну скважину. Все это означает, что вопрос повышения качества цементирования скважин является достаточно острым, поэтому поиск методов воздействия на цементный раствор и, как следствие, на цементный камень и его рабочие характеристики, становится особенно актуальным за последний несколько лет.
В настоящее время ремонтный фонд по месторождениям юго-востока Татарстана составляет 500–600 скважин в год. Следует отметить, что основными видами осложнений являются заколонные межпластовые перетоки, которые, помимо экологических рисков, ведут к резкому росту обводненности скважинной продукции, делают добычу нефти нерентабельной. Более того, на борьбу с заколонными перетоками обычно затрачивается 20–50 % от стоимости строительства скважины в год. К причинам заколонных перетоков, возникающих еще во время ожидания затвердевания цемента, относится неверно подобранное водоцементное отношение суспензии, высокая проницаемость, чрезмерная водоотдача, преждевременное загустевание цементного раствора. Для устранения причин возникновения заколонных перетоков применяются методы, которые можно условно разделить на 2 группы: изменение или модификация компонентного состава цементного раствора с помощью специальных добавок и химических реагентов либо усовершенствование технологии закачки.
Первая группа оказывает влияние на показатели цементного раствора, при этом решая проблемы низкой степени вытеснения бурового раствора, малой прочности цементного камня, зарождения усадочных и термодеструкционных процессов. Ко второй группе относится применение технологического оборудования, с помощью которого возможно модернизировать сам процесс цементирования либо элементы технологической оснастки таким образом, чтобы межколонное пространство было заполнено цементным раствором в максимальном объеме. В данной работе рассматривается метод из второй группы, при котором цементный раствор перед закачкой подвергается волновой обработке.

Keywords:
cement stone, porosity, microstructure, wave treatment, generator, plasticity and sedimentation stability, cavitation-wave vortex emitter, high-speed turbulent flows, activation of partially hydrated cement.

Hydrocarbon production inevitably involves maintaining reliable isolation of the productive horizon from other permeable horizons. As most Russian oil fields enter the final stages of development, permeability per well declines. Therefore, maintaining the efficiency of the operational phase of the life cycle of existing wells and maximizing their turnaround time to reduce costs per well is an important task. All this means that improving the quality of well cementing is a pressing issue, and the search for methods to improve the cement slurry and, consequently, the cement stone and its performance characteristics has become particularly relevant in recent years.
Currently, the workover well stock at fields in southeastern Tatarstan amounts to 500-600 wells per year. It should be noted that the main types of complications are behind-the-casing crossflows, which, in addition to environmental risks, lead to a sharp increase in water cut in the wellbore, making oil production unprofitable. Moreover, behind-the-casing flow control typically accounts for 20-50% of the annual well construction cost. Causes of behind-the-casing flow, which occur while waiting for cement to set, include an incorrectly selected water-to-cement ratio in the slurry, high permeability, excessive fluid loss, and premature thickening of the cement slurry. To eliminate the causes of behind-the-casing flow, methods are used that can be roughly divided into two groups: changing or modifying the component composition of the cement slurry using special additives and chemical reagents, or improving the pumping technology.
The first group affects the performance of the cement slurry, addressing issues such as low drilling fluid displacement, low cement strength, and the onset of shrinkage and thermal degradation processes. The second group involves the use of process equipment that can be used to modernize the cementing process itself or process tooling components to ensure the annular space is filled with cement slurry to the maximum volume. This paper examines a method from the second group, in which the cement slurry is subjected to wave treatment before injection.

Гиматдинов Владислав Николаевич – начальник отдела буровых растворов (e-mail: v.n.gimatdinov@mail.ru, тел.: +007 (855) 959 27 04).
Султанов Данир Ризифович – кандидат технических наук, старший научный сотрудник (e-mail: Sultanov.d.r@yandex.ru, тел.: +007 (968) 366 83 33).
Жиркеев Александр Сергеевич – кандидат технических наук (e-mail: jirkeev@tatnipi.ru, тел.: +007 (917) 855 83 45).
Кузьмина Марина Валентиновна – инженер II категории (e-mail: kuzmina-mv@tatnipi.ru, тел.: +007 (986) 720 81 36).
Сафаров Альберт Хамитович – доктор технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории разработки биотехнологий отдела интенсификации притока (e-mail: SafarovAH@tatnipi.ru, тел.: +007 (855) 331 08 00, доб. 53406).
Фаттахов Ирик Галиханович – доктор технических наук, доцент, директор по повышению нефтеотдачи пластов, волновым и биотехнологиям (e-mail: fattakhovig@tatneft.ru, тел.: +007 (855) 331 08 00, доб. 53221).

Vladislav N. Gimatdinov – Head of Drilling Fluids Department (tel.: +7 (855) 959 27 04, e-mail: v.n.gimatdinov@mail.ru)
Danir R. Sultanov (Author ID in Scopus: 57201114582, ORCID: 0009-0003-9495-0997) – PhD in Engineering, Senior Research Fellow (tel.: +7 (968) 366 83 33, e-mail: Sultanov.d.r@yandex.ru)
Alexander S. Zhirkeev (Author ID in Scopus: 8884732000, ORCID: 0009-0009-5851-7487) – PhD in Engineering, Head of Sector of the Well Operation and Repair Department (tel.: +7 (917) 855 83 45, e-mail: jirkeev@tatnipi.ru)
Marina V. Kuzmina (ORCID 0009-0005-0770-5278) – 2nd category Engineer (tel.: +7 (986) 720 81 36, e-mail: kuzmina-mv@tatnipi.ru). The contact person for correspondence
Albert Kh. Safarov (Author ID in Scopus: 7004636709, ORCID: 0000-0002-6275-3046, Doctor in Engineering, Associate Professor, Leading Researcher at the Biotechnology Development Laboratory of the Inflow Stimulation Department (tel.: +7 (855) 331 08 00, e-mail: SafarovAH@tatnipi.ru)
Irik G. Fattakhov (Author ID in Scopus: 48560997700, ORCID: 0000-0002-3086-4323) – Doctor in Engineering, Associate Professor, Director of Enhanced Oil Recovery, Wave and Biotechnology (tel.: +7 (855) 331 08 00, e-mail: fattakhovig@tatneft.ru)

Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом:
Применение волнового генератора при цементировании скважин/ В.Н. Гиматдинов, Д.Р. Султанов, А.С. Жиркеев, М.В. Кузьмина, А.Х. Сафаров, И.Г. Фаттахов // Недропользование. – 2025. – Т.25, №4. – С. 323–329. DOI: 10.15593/2712-8008/2025.4.6

Please cite this article in English as:
Gimatdinov V.N., Sultanov D.R., Zhirkeev A.S., Kuzmina M.V., Safarov A.Kh., Fattakhov I.G. Using a wave generator in well cementing. *Perm Journal of Petroleum and Mining Engineering*, 2025, vol.25, no.4, pp. 323-329. DOI: 10.15593/2712-8008/2025.4.6

Введение

До недавнего времени для увеличения механических и прочностных свойств цементного камня применялись модификаторы реологии, пеногасители, понизители водоотдачи наряду с наполнителями: глинопорошками, кварцевым песком, магнитоуправляемыми элементами, оксидом графена, расширяющими добавками [1–10]. Все это оказывает положительное влияние на те или иные свойства цементного камня [11–15]. Однако в качестве комплексного, эффективного и экономичного метода воздействия на цементный раствор в 2023 г. было предложено осуществлять волновую обработку (активацию) цементной суспензии перед его закачкой в скважину. Стендовые испытания, при которых отрабатывался процесс цементирования, проводились на базовых цементных смесях из портландцемента бездобавочного ПЦТ I-G-CC-1 и портландцемента тампонажного облегченного со специальными добавками, средней плотности 1,50 г/см^3 для низких и нормальных температур, а также на цементных смесях на основе вышеуказанных базовых смесей, модифицированных добавками.

Плотность, растекаемость, водоотделение, прочность на изгиб/сжатие через 48 ч твердения и время загустевания в атмосферных условиях образцов проб цементного раствора измерялись согласно ГОСТ34532-2019. Время загустевания при температуре 30 °С и давлении 15,0 МПа, прочность через 24 ч, определенная на ультразвуковом анализаторе при температуре 30 °С и давлении 15,0 МПа, и водоотдача образцов проб цементного раствора измерялись согласно ISO 10426-2:2003. Сроки схватывания цемента образцов проб цементного раствора измерялись согласно ГОСТ 310.3-76 [16–19].

Существует ряд исследований, которые подтверждают положительный эффект на свойства цемента, его пористость и микроструктуру от применения механической вибрации или воздействия волнами давления. Авторы исследования объясняют это тем, что волны давления создают существенные сдвиговые напряжения на частицах цемента. Сдвиговое напряжение в первую очередь влияет на фазы индукции и схватывания процессов гидратации цемента [20, 21]. Иными словами, положительный эффект обусловливается тем, что волновая обработка обеспечивает возникновение таких режимов движения среды, при которых происходит разрушение оболочек из гидратированных продуктов на поверхностях цементных зерен, появление новых центров кристаллизации, увеличение степени дисперсности суспензии, интенсивное перемешивание. Лабораторные эксперименты, подтверждающие это, показывают, что при правильном подборе характеристик волн в процессе приготовления тампонажных растворов можно существенно повышать их пластичность, седиментационную устойчивость, увеличивать на 30–40 % прочность цементного камня и управлять временем схватывания, что позволяет добиваться самого главного при тампонировании – герметичности заколонного пространства [22–27].

Практическая реализация волновой обработки тампонажных цементов

На практике метод волновой обработки реализуется следующим образом. Цементный раствор, замешанный в цементосмесительном агрегате, подается через выкидную линию на фильтр волнового

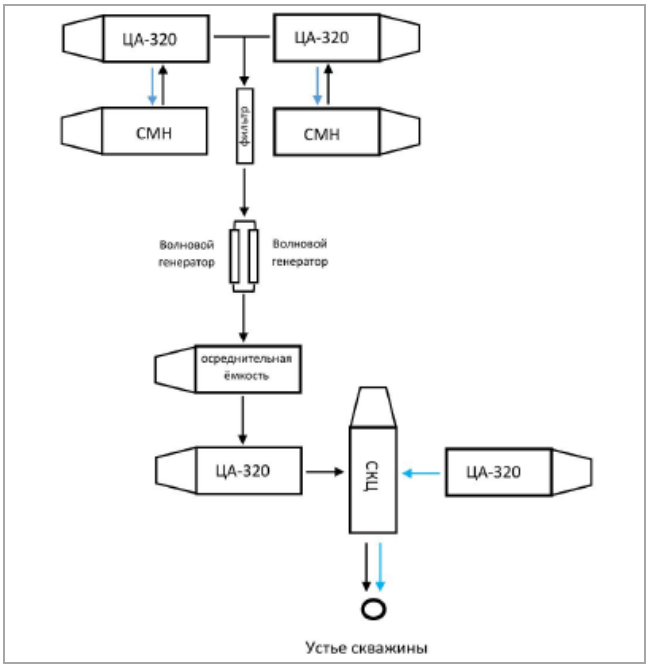


Рис. 1. Схема обвязки при цементировании дополнительных колонн с применением волновых генераторов

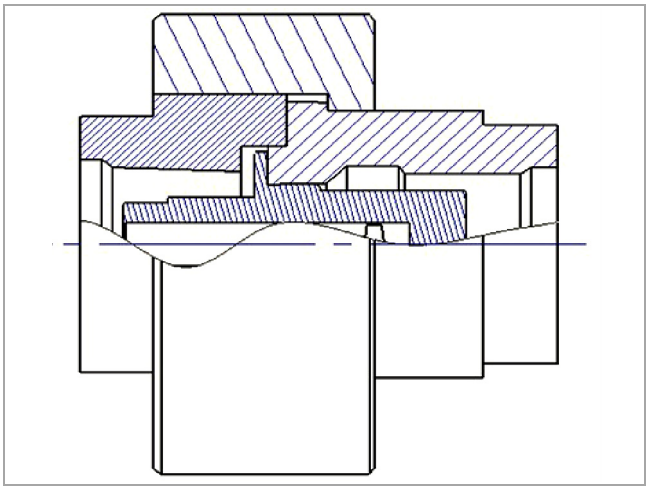


Рис. 2. Схематическое изображение генератора волновой обработки тампонажного цемента

генератора, откуда движется через волновой генератор. Обработанный тампонажный раствор подается на устье скважины и через цементировочную устьевую головку продавливается на забой скважины.

Технически волновой генератор представляет собой сужающуюся трубку с прямоугольным профилем и квадратной горловиной, расположенную внутри цилиндрической полости. Конструкционно волновой генератор состоит из корпуса, верхней и нижней муфт. В корпусе установлен кавитационно-волновой вихревой излучатель. Тампонажный раствор поступает в волновой генератор под давлением не менее 5 МПа. В результате высокоскоростных турбулентных течений в потоке цементного раствора возникают разрывы сплошности, которые при схлопывании образуют ударные волны. Схематическое изображение генератора представлено на рис. 2.

Экономическая эффективность от применения волновой обработки рассчитывалась при сравнении стоимости использования цемента марки РТМ-50 ПВ, который обеспечивает расширение раствора в период затвердевания камня и имеет ту же область применения, что и ПЦТ I-G-CC-1, со стоимостью

Таблица 1

Экономический расчет эффективности от применения волновой обработки

№ п/п	Наименование	Ед. изм.	Требуемый объем		Стоимость за 1 т, тыс. руб.	Полная стоимость, тыс. руб.	
			без волновой обработки	с волновой обработкой		без волновой обработки	с волновой обработкой
1	Цемент марки РТМ-50 ПВ	т	1,2	–	37,28	44,74	–
2	Цемент марки ПЦТ I-G-CC-1	т	–	1,200	8,05	–	9,06
3	Понизитель водоотдачи	т	–	0,06	469,79	–	28,18
4	Пластификатор	т	–	0,024	254,5	–	6,1
5	Пеногаситель	т	–	0,01	88,55	–	0,8
Итого						44,74	42,12

модифицированного дополнительным вводом химреагентов тампонажного раствора, который подвергается волновой обработке. Для сравнения в качестве базового принимается реальный случай, когда для цементирования затрубного пространства между стенками скважины диаметром 295 мм и эксплуатационной колонной диаметром 245 мм, спущенной в скважину, с высотой подъема цемента за трубами 180 м требуется 1,2 т сухого цемента. После расчета становится очевидно, что при замене расширяющегося цемента РТМ-50 ПВ на ПЦТ I-G-CC-1, в который дополнительно вводят понизитель водоотдачи, пластификатор и пеногаситель и обрабатывают с помощью генератора, возможно сэкономить до 2,62 тыс. руб. за каждые 200 м или до 6 тыс. рублей на одну скважину (табл. 1). В год при месячной нагрузке 6–7 строящихся скважин экономия может составлять до 0,432–0,5 млн руб.

Еще одно важное преимущество волновой обработки – возможность подбора оптимального состава цементного раствора в зависимости от выдвигаемых требований к свойствам цементного камня путем регулирования концентрации либо рецептуры затворяемой смеси.

К недостаткам данного оборудования относится сравнительно быстрый износ фильтра. Поскольку первоначально конструкция 146-миллиметрового корпуса фильтра грубой очистки присоединялась через резьбу, не предназначенную для частых операций по свинчиванию и развинчиванию, при цементировании скважины произошло разрушение корпуса фильтра вдоль резьбового соединения. Более того, общая длина фильтра составляла около 3 м, что делало его транспортировку затруднительной. После модернизации конструкции фильтра габаритные размеры были уменьшены до 2 м. Изображение волнового генератора вместе с фильтром представлено на рис. 3.

Помимо генераторов производства НЦ НВМТ РАН, существует лабораторное оборудование компании Hielscher по ультразвуковому перемешиванию тонкодисперсного высокопрочного бетона. Активация цементных систем является достаточно известной областью исследования как для гражданского строительства, так и для нужд нефтяной промышленности [28–33]. Активизация частично гидратированного цемента в электромагнитных активаторах позволяет увеличить степень их дисперсности, которая напрямую влияет на характеристики цементного камня [34–39]. С этой же целью были разработаны механический активатор-измельчитель цемента (RU 2 371 403 C9), передвижная дезинтеграторная установка (RU 2 346 744 C2) и электромагнитный активатор порошковых материалов ((19) RU 202 025 U1). Роторно-пульсационные аппараты предназначены для приготовления высокодиспергированных, гомогенизированных жидкостей эмульсий и суспензий, например, водных суспензий бентонита [40–45], однако теоретически их также можно использовать и для получения гомогенизированного тампонажного раствора.



Рис. 3. Фото генератора (снизу) с фильтром (сверху), применяемого для волновой обработки двухходовой кран для выкидной линии для проведения испытания



Рис. 4. Стендовые испытания волнового генератора

В среднем на обработку каждых 4 тыс. т цемента требуется 1 генератор.

Стендовые испытания волнового генератора были проведены на производственной базе предприятия по производству тампонажных работ, волновой генератор в работе представлен на рис. 4. Волновой генератор в комплектации с фильтром, а также все необходимые средства для обвязки со специальной техникой и информацию по рекомендуемым режимам испытаний волнового генератора предоставило предприятие-изготовитель. Обвязку техники для испытаний проводили согласно схеме, приведенной на рис. 1. В этой схеме обвязки использовали специальную технику – два смесителя (цементо-смесительная головка СМН) и станция контроля цементирования СКЦ. В процессе испытаний давление на входе волнового генератора многократно фиксировалось (табл. 2). При проведении первого испытания использовался фильтр генератора старой конструкции, при всех последующих испытаниях использовали фильтр генератора новой конструкции с уменьшенными габаритами. После волновой обработки бездобавочного раствора улучшились свойства как цементного теста, так и цементного камня: увеличилась растекаемость и снизилось водоотделение и время загустевания. Прочность цементного камня на сжатие и изгиб при исследовании на прессе также незначительно увеличилась.

Бездобавочный цемент, который модифицировали введением понизителя водоотдачи, пеногасителем и пластификатором, имел следующие результаты испытаний: на термобарическом консистометре время загустевания до консистенции 30 Вс снизилось практически на четверть по сравнению с цементом, который не подвергался волновой обработке, также снизилась водоотдача. В то же время прочность цементного камня на сжатие и изгиб после волновой

Таблица 2

Физико-механические показатели тампонажных цементов

Основные сведения и наименование характеристики (показателя)	ПЦТ I-G-CC-1		ПЦТ I-G-CC-1 с добавками*		ПЦТ-III-Об5-50		РТМ-50ПВ	
	до	после	до	после	до	после	до	после
В/Ц	0,44		0,44		0,83			
Давление на входе генератора, атм	–	110-120	–	90-120	–	60-90	–	–
Плотность, г/см^3	1,84	1,81	1,80	1,84	1,49	1,50	1,90	–
Растекаемость, мм	187	225	260	260	260	230	260	–
Водоотделение, мл	6,5	6	0	0	3,7	0,7	0	–
Прочность на изгиб/сжатие через 48 ч твердения, МПа	5,2/36,9	5,8/42,4	4,4/23,7	5,7/30,8	1,8/6,5	2,0/8,6	6,6/–	–
Время загустевания в атмосферных условиях, Вс-мин	30-238 50-298	30-173 50-219	–	–	–	–	–	–
Время загустевания при температуре 30 °С, и давлении 15,0 МПа, Вс-мин	30-421	30-266 50-331	30-306	30-234	30-378 50-498	30-206 50-268	30-200	–
Прочность через 24 ч, определенная на ультразвуковом анализаторе при температуре 30 °С и давлении 15,0 МПа	12,9	12,5	9,3	12,9	2,1	3,1	–	–
Водоотдача, мл/30 мин	984,9	671,6	–	–	–	–	–	–
Сроки схватывания цемента, начало/конец, час-мин	7-05/8-00	6-55/7-50	–	–	8-40/10-50	6-50/8-40	6-50/7-50	–

Примечание: * – 0,55 % понизителя водоотдачи; 0,2 % пластификатора; 0,1 % пеногасителя.

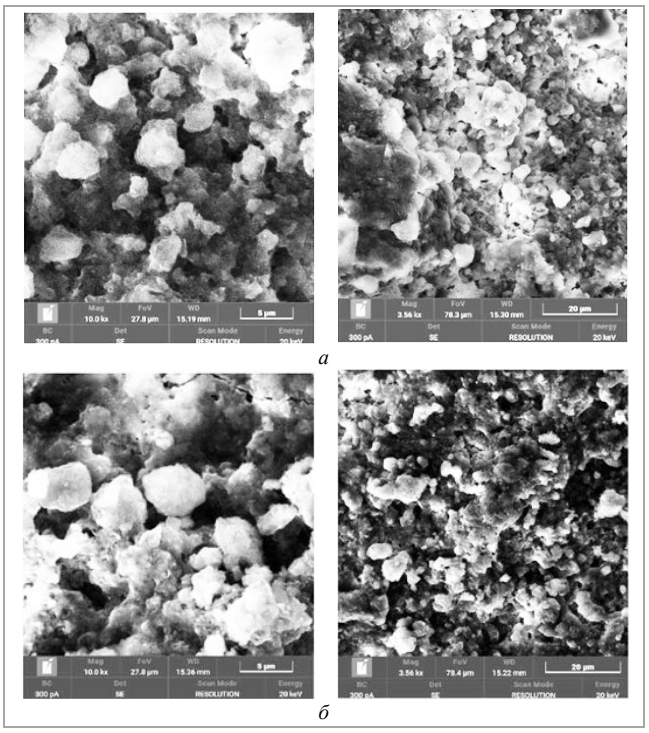


Рис. 5. Микроструктура цемента ПЦТ I-G-CC-1, модифицированного добавкой, до (*а*) и после (*б*) волновой обработки

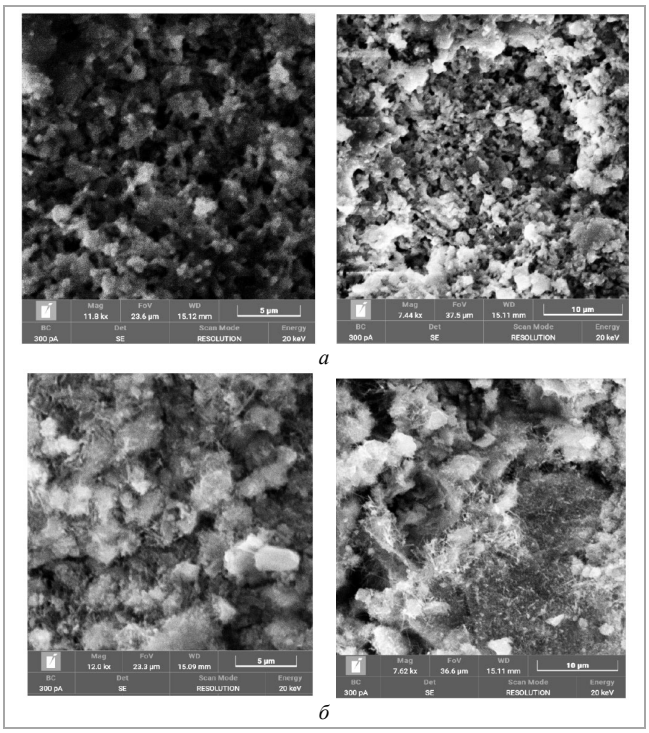


Рис. 6. Микроструктура цемента ПЦТ-III-Об5-50, модифицированного добавкой, до (*а*) и после (*б*) волновой обработки

обработки увеличилась. Более того, прочность цементного камня, определенная на ультразвуковом анализаторе спустя 24 ч, увеличилась почти в 1,5 раза.

Таким образом, для бездобавочного цемента марки ПЦТ I-G-CC-1 волновая обработка оказала положительное воздействие как на свойства цементного теста, так и на характеристики цементного камня, но чуть в меньшей степени. Влияние волновой обработки на свойства цементного теста из модифицированного цемента ПЦТ I-G-CC-1 можно, с одной стороны, объяснить действием добавок. С другой стороны, синергетический эффект от действия добавок и волновой обработки на характеристики цементного камня оказывал значительное влияние на его прочностные характеристики. Изображение микроструктуры цемента ПЦТ I-G-CC-1, модифицированного добавкой, до и после волновой обработки, представлено на рис. 5.

После получения таких результатов было принято решение испытать волновое воздействие на цементах, которые подвергаются модификации на этапе изготовления. Для этого был выбран тампонажный облегченный портландцемент со специальными добавками марки ПЦТ III-Об 5-50. Результаты волновой обработки такого цемента оказались достаточно противоречивыми. С одной стороны, водоотдача цементного теста после волновой обработки снизилась более чем в 5 раз, а сроки схватывания и время загустевания сократились на 1,5 ч и практически в 1,5 раза соответственно, в то же время наблюдалось снижение значения растекаемости (из-за увеличения дисперсности добавки (глины) -> увеличение вязкости).

Исследование характеристик цементного камня на ультразвуковом анализаторе показало увеличение прочности камня в 1,5 раза, а также увеличение

прочности цементного камня на сжатие и изгиб. Изображение структуры камня из цемента ПЦТ-III-Об5-50 представлено на рис. 6.

На большинстве микрофотоснимков камня из цемента марки ПЦТ-III-Об5-50 после волновой обработки отмечается рост новообразований, что может подтверждать интенсификацию процессов твердения.

Для сравнения данных волновой обработки представлены результаты испытания цемента РТМ, который замешивался позднее и не подвергался волновой обработке. Результаты испытания представлены в табл. 2. Согласно результатам видно, что свойства цементных растворов, полученных из цементных порошков марок ПЦТ I-G-CC-1 с добавками РТМ-50ПВ, следующие: прочность на изгиб через 48 ч твердения цементного камня ПЦТ I-G-CC-1 приблизилась к значению прочности РТМ-50ПВ. Время загустевания при температуре 30 °С и давлении 15,0 МПа за 30 мин практически идентично.

Заключение

Таким образом, волновая обработка наиболее эффективна при использовании модифицированных цементов и немодифицированных с добавлением специальных реагентов. В комплексе с модификаторами и добавками волновая обработка способна улучшать свойства цементного теста и цементного камня, поэтому дальнейшие исследования целесообразно проводить с применением других модифицированных марок цемента для подбора оптимальных составов. Еще одно направление исследований – получение оптимального состава химреагентов для проведения самостоятельной модификации бездобавочного цемента. Эффективное сочетание модификаторов позволит провести «тонкую настройку» состава цементного теста и камня для решения конкретных задач.

Волновая обработка цемента марки G, модифицированного добавками, позволяет ему приблизиться по характеристикам к цементу РТМ-50 ПВ. Работы в данном направлении предполагается вести по пути оптимизации состава и свойств модифицирующих добавок и их стоимости, времени волновой обработки. Еще одним важным направлением исследований является изучение влияние волновой обработки на немодифицированные цементы без каких бы то ни было добавок марок: ПЦТ-1-50, ПЦТ-2-50 и ПЦТ-1-100

С конца 2023 г. и до сегодняшнего дня промысловые работы по волновой обработке были проведены в количестве более 4 тыс. скв/опер., было обработано более 24 тыс. т цемента. Масштабное статистическое исследование изменений качества цементирования при строительстве и ремонте скважин планируется проводить после завершения пятилетнего периода обработки цемента, когда будет наработана обширная база промысловых данных состояния цементной крепи за обсадной колонной, а также будет зафиксировано наличие или отсутствие заколонных перетоков.

Библиографический список

1. Мазурок, П.С. Влияние цементирования нефтяных и газовых скважин на экономику. Оценка экономических и экологических рисков – программное обеспечение CEM EXPERT / П.С. Мазурок // Бурение и нефть. – 2015. – № 12. – С. 32–36.
2. Балаба, В.И. Жизненный цикл эксплуатационной скважины / В.И. Балаба // Инженер-нефтяник. – 2010. – № 4. – С. 14–19.
3. Пискунов, А.И. Заколонные перетоки и анализ причин их появления / А.И. Пискунов // Проблемы разработки месторождений углеводородных и рудных полезных ископаемых. – 2014. – № 1. – С. 141–144.
4. Нижник, А.Е. Совершенствование некоторых элементов технологической оснастки, направленных на повышение качества крепления скважин / А.Е. Нижник // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2008. – № 11. – С. 34–36.
5. Сулейманов, Б.А. О влиянии гранулометрического состава и наноразмерных добавок на качество изоляции затрубного пространства в процессе цементирования скважин / Б.А. Сулейманов, Э.Ф. Велиев // Научные труды НИПИ Нефтегаз ГНКАР. – 2016. – № 4. – С. 4–10. DOI: 10.5510/OGP20160400293
6. Заколонные перетоки, методы предупреждения. Опыт применения латексного газоблокатора / В.Д.Нурсканов, С.Г. Колесников, О.А. Кузнецов, О.А. Егоров // Бурение и нефть. – 2023. – № 52. – С. 50–53.
7. A simplified framework for orientation control of synthetic fibers in engineered cementitious composites using magnetic field / Khokhar Sikandar Ali [et al.] // Heliyon. – 2024. – Vol. 10, iss. 4. – P. e26056/ DOI: 10.1016/j.heliyon.2024.e26056
8. Comparative effects of graphene oxide on the interfacial transition zone in silica fume-modified cement mortar at varying water-to-binder ratios / Sumin Im, Seongmin Cho, Junxing Liu, Peiqi Li, Dahyung Jin, Sungwon Sim, Seungmin Lim, Sungchul Bae // Case Studies in Construction Materials. – 2025. – Vol. 22. – P. e04230. DOI: 10.1016/j.cscm.2025.e04230
9. Effect of mechanical vibration process parameters on the cement plugs properties for abandoned wells / Hang-Ming Liu, Yang-Ye He, Ji-Fang Wan, Lin Chen, Xian-Zhong Yi, Yuan-Hua Zhou, Yu-Xian He, Xiang-Gui Ming, Lu Ren // Petroleum Science. – 2023. – Vol. 20, iss. 4. – P. 2428–2441. DOI: 10.1016/j.petsci.2023.07.011
10. Бекбаев, А.А. Дисперсное армирование как фактор повышения качества облегченных цементных растворов / А.А. Бекбаев, Ф.А. Агзамов // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2018. – № 8. – С. 38–42. DOI: 10.30713/0130-3872-2018-8-38-42.
11. Анализ современных проблем цементирования нефтяных и газовых скважин / А.С. Бубнов, И.А. Бойко, А.В. Епихин, А.В. Ковалев // Проблемы геологии и освоения недр : Труды XVI Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых ученых, посвященного 110-летию со дня основания горно-геологического образования в Сибири, Томск, 02–07 апреля 2012 года. Том 2. – Томск: Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2012. – С. 296–298.
12. Обозин, О.Н. Новый безопасный метод обратного цементирования при строительстве нефтяных и газовых скважин / О.Н. Обозин, С.Н. Чемчо // Чрезвычайные ситуации: промышленная и экологическая безопасность. – 2015. – № 1(21). – С. 59–65.
13. Абухадура, Н.А. Повышение эффективности управления комплексом цементирования нефтяных и газовых скважин с использованием методов интеллектуального анализа данных / Н.А. Абухадура, В.О. Чинакал // Труды международной конференции «Системы проектирования, технологической подготовки производства и управления этапами жизненного цикла промышленного продукта (CAD/CAM/PDM – 2014)», Москва, 14–16 октября 2014 года / под ред. Толока А.В. – М.: ООО «Аналитик», 2014. – С. 130–134.
14. Абухадура, Н.А. Координированное управление качеством цементирования нефтяных и газовых скважин / Н.А. Абухадура, В.О. Чинакал // Системы проектирования, технологической подготовки производства и управления этапами жизненного цикла промышленного продукта (CAD/CAM/PDM – 2015): Труды международной конференции, Москва, 26–28 октября 2015 года / Под ред. А.В. Толока. – М.: ООО «Аналитик», 2015. – С. 141–143.
15. Хациди, А.К. Об обосновании новой методики оценки качества цементирования нефтяных и газовых скважин / А.К. Хациди // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2019. – № 4. – С. 31–33. DOI: 10.30713/0130-3872-2019-4-31-33
16. Комилов, Т.О. Тампонажный раствор для цементирования нефтяных и газовых скважин / Т.О. Комилов // Булатовские чтения. – 2020. – Т. 3. – С. 157–158.
17. Лешкович, Н.М. Анализ методов контроля качества цементирования нефтяных и газовых скважин / Н.М. Лешкович, Д.Р. Бороздняк, В.Ю. Тютюньков // Практика студентов: от учебной до преддипломной: материалы II Всероссийской научно-практической конференции, Краснодар, 24–25 ноября 2023 года. – Краснодар: Кубанский государственный университет, 2023. – С. 116–117.
18. Зиновьев, Е.В. Исследование и разработка рецептур буферных жидкостей для повышения качества цементирования при бурении нефтяных и газовых скважин / Е.В. Зиновьев // Севергеоэкотех – 2018: Материалы XIX Международной молодежной научной конференции: в 5 ч., Ухта, 21–23 марта 2018 года. – Ухта: Ухтинский государственный технический университет, 2018. – С. 21–25.
19. Эмирасанов, А.Е. Пути повышения эффективности работы сервисных подрядчиков по цементированию нефтяных и газовых скважин / А.Е. Эмирасанов, М.Е. Коваль, Е.М. Харламова // Ашировские чтения. – 2025. – Т. 1, № 1(17). – С. 117–122.
20. Сорокин, П.М. Нелинейная волновая механика в нефтяной промышленности / П.М. Сорокин, З.И. Султанов // Новые технологии топливно-энергетического комплекса: сборник научных трудов Сургутского института нефти и газа (филиал) ТюмГНГУ, Тюмень, 01 января – 31 2014 года. – Тюмень: Тюменский государственный нефтегазовый университет, 2015. – С. 145–156.
21. Лотов, В.А. О взаимодействии частиц цемента с водой или вариант механизма процессов гидратации и твердения цемента / В.А. Лотов // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2018. – Т. 329, № 1. – С. 99–110.
22. Активация цементных систем как этап получения качественного бетона. [Электронный ресурс] / Л.И. Дворкин, О.Л. Дворкин. – URL: https://m350.ru/articles/more/v/id/93 (дата обращения: 01.11.2025).

23. Сурков, В.Н. Активация цементной системы на основе кремнезоль-карбоксилатной композиции / В.Н. Сурков, Е.Ю. Тощева // Научные проблемы материально-технического обеспечения Вооруженных Сил Российской Федерации. – 2018. – № 4(10). – С. 158–164.
24. Шведов, А.П. Эффективность разрядно-импульсной активации цементных систем / А.П. Шведов // Актуальные проблемы архитектуры белорусского Подвинья и сопредельных регионов: сборник статей международной научно-практической конференции, Новополоцк, 26–27 ноября 2020 года. – Новополоцк: Учреждение образования «Полоцкий государственный университет» Установа адукацыі «Полацкі дзяржаўны універсітэт», 2021. – С. 52–56.
25. Массон, С.В. Модифицирование жидкости затворения цементных систем методом механической активации / С.В. Массон, С.С. Перов, Н.П. Горленко // Избранные доклады 69-й Университетской научно-технической конференции студентов и молодых ученых, Томск, 20 апреля 2023 года. – Томск: Томский государственный архитектурно-строительный университет, 2023. – С. 604–606.
26. Савенков, А.И. Оптимальность электрохимической активации затворителя цементных систем / А.И. Савенков, Е.О. Заенец, А.В. Кетнер // Современные технологии и научно-технический прогресс. – 2019. – Т. 1. – С. 206–207.
27. Активация воды затворения цементных систем в роторноцентробежных аппаратах принудительного действия / Н.В. Талдонова, М.А. Ковалева, Ю.Н. Кузнецова, Ю.С. Саркисов // Интегральные и дифференциальные парадигмы развития науки и практики России: сборник научных статей по итогам Национальной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 29–30 ноября 2018 года / Санкт-Петербургский Центр Системного Анализа. – СПб.: Общество с ограниченной ответственностью «Редакционно-издательский центр "КУЛЬТ-ИНФОРМ-ПРЕСС"», 2018. – С. 174–176.
28. Активизация частично гидратированного цемента в электромагнитных активатора / Р.А. Торлин, А.И. Шуйский, А.А. Новожилов [и др.] // Инженерный вестник Дона. – 2011. – № 2(16). – С. 159–162.
29. Integrated analysis of strength, microstructure, and environmental impact of thermally activated ladle furnace slag cement mortar / Chee Lok Yong, Fengyi Zhang, Xinyue Ma, Hwei Voon Lee, Chiu Chuen Onn, Suhana Koting, Kim Hung Mo // Construction and Building Materials. – 2025. – Vol. 482. – P. 141712. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2025.141712
30. Effect of milling activation of dry components on properties of foamed cement mortar in a two-stage manufacturing process / Janis Baronins, Andrei Shishkin, Vitalijs Lusis, Chiara Giosuè, Dmitri Goljandin, Iveta Novakova, Sofija Kekez, Aleksandrs Korjakins, Dmitrijs Gorelikovs, Pavels Gavrilovs // Case Studies in Construction Materials. – 2025. – Vol. 22. – P. e04465. DOI: 10.1016/j.cscm.2025.e04465
31. Guangwei, Liang. Sustainable use of recycled sand in alkali-activated cement and Portland cement mortars: A comparative study with natural sand / Guangwei Liang, Anming She, Wu Yao // Sustainable Materials and Technologies. – 2025. – Vol. 43. – P. e01290. DOI: 10.1016/j.susmat.2025.e01290
32. Jinjie, Shi. Chloride-induced corrosion of galvanized steel in ordinary Portland cement and alkali-activated fly ash mortars with benzotriazole / Jinjie Shi, Xiangdong Guan // Cement and Concrete Composites. – 2025. – Vol. 162. – P. 106117. DOI: 10.1016/j.cemconcomp.2025.106117
33. Environmental stability and leaching behavior of alkali-activated cement mortar with high-temperature sintered MSWI fly ash exposed to extreme environmental conditions / Yitong Zhou, Honggang Zhang, Shuyang Li, Sheng He // Construction and Building Materials. – 2025. – Vol. 481. – P. 141555. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2025.141555
34. Пестерев, С.В. Новые добавки для эффективного решения технологических задач при цементировании скважин / С.В. Пестерев, И.Х. Фатхутдинов, А.В. Дацков // Бурение и нефть. – 2010. – № 11. – С. 34–36.
35. Закуражнов, М.С. Методы активации микрокремнезема для модифицирования цементных систем / М.С. Закуражнов, О.В. Артамонова // Актуальные проблемы строительства, строительной индустрии и промышленности: сборник материалов XVIII Международной научно-технической конференции, Тула, 29–30 июня 2017 года. – Тула: Тульский государственный университет, 2017. – С. 68–71.
36. Активация воды в дисперсных цементных системах в поле коронного барьерного разряда / А.А. Алексеев, Ю.В. Тарбеева, К.С. Гаусс, Д.И. Мокшин // Научный альманах. – 2015. – № 7(9). – С. 566–572. DOI: 10.17117/na.2015.07.566
37. Низкоэнергетическая активация процессов гидратации и структурообразования в цементных системах / Ю.С. Саркисов, Н.П. Горленко, Т.В. Лапова, А.Н. Павлова // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2008. – № 3(591). – С. 42–46.
38. Цикловая магнитная активация газонаполненных жидких сред затворения цементных систем / В.Н. Сафронов, Ю.С. Саркисов, С.А. Кугаевская, Е. Цилимова // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2009. – № 4(25). – С. 89–99.
39. High energy dissipation-based process to improve the rheological properties of bentonite drilling muds by reducing the particle size / Hae Jin Jo, Sung Hyun Hong, Byung Min Lee, Young Ju Kim, Wook Ryol Hwang, Soo Young Kim // Ultrasonics Sonochemistry. – 2023. – Vol. 92. P. 106246. DOI: 10.1016/j.ultsonch.2022.106246
40. Development and Rheological Characterization of Suspension of Hollow Glass Beads / Lumsden, Simone, Singh, John P., Morgan, Ronnie G., Gregory Hundt // Paper presented at the SPE Annual Technical Conference and Exhibition. – Dubai, UAE, September, 2016. DOI: 10.2118/181347-MS
41. Effect of Clay Particle For Methane Hydrate Formation – Dissociation Behavior / T. Kawamura, T. Tetsu, T. Tsubaki, S. Hirabayashi, Y. Yamamoto, K. Ogasawara, F. Kiyono /// Paper presented at the Ninth ISOPE Ocean Mining Symposium. – Maui, Hawaii, USA, June 2011.
42. Bentonite Prehydration and its Impact on Cementing Job Execution / Rahmatullah, Idham Kholid, Mahmoud, Ahmed Abdulhamid, Salaheldin Elkatatny // Paper presented at the 58th U.S. Rock Mechanics/Geomechanics Symposium, Golden. – Colorado, USA, June 2024. DOI: 10.56952/ARMA-2024-0490
43. Improvement of Rheological and Filtration Properties of Water-Based Drilling Fluids Using Bentonite-Hydrothermal Carbon Nanocomposites Under the Ultra-High Temperature and High Pressure Conditions / Zhong Hanyi, Guan Ying, Qiu Zhengsong, Feng Jie, Liu Wenlei, Wan Yuan, Yubin Zhang // Paper presented at the SPE/IATMI Asia Pacific Oil & Gas Conference and Exhibition. – Virtual, October 2021. DOI: https://doi.org/10.2118/205539-MS
44. Shah, S. Water-Soluble Polymer Adsorption from Saline Solutions / S. Shah, S.A. Heinle, J.E. Glass // Paper presented at the SPE Oilfield and Geothermal Chemistry Symposium, Phoenix. – Arizona, April, 1985. DOI: 10.2118/13561-MS
45. Aften, C.W. Clay Stabilizers Performance in a Comprehensive Matrix of Bentonite and Silica Flour / C.W. Aften // Paper presented at the SPE Western Regional Meeting. – Garden Grove, California, USA, April 2018. DOI: https://doi.org/10.2118/190091-MS

References

1. Mazurok P.S. Vliianie tsementirovaniia neftianykh i gazovykh skvazhin na ekonomiku. Otsenka ekonomicheskikh i ekologicheskikh riskov - programmnoe obespechenie CEM EXPERT [The influence of cementing oil and gas wells on the economy. Assessment of economic and environmental risks - software CEM EXPERT]. *Burenie i neft'*, 2015, no. 12, pp. 32-36.
2. Balaba V.I. Zhiznennyi tsikl ekspluatatsionnoi skvazhiny [Life cycle of a production well]. *Inzhener-neftianik*, 2010, no. 4, pp. 14-19.
3. Piskunov A.I. Zakolonnye peretoki i analiz prichin ikh poiavleniia [Behind-the-casing flows and analysis of the reasons for their occurrence]. *Problemy razrabotki mestorozhdenii uglevodorodnykh i rudnykh poleznykh iskopaemykh*, 2014, no. 1, pp. 141-144.
4. Nizhnik A.E. Sovershenstvovanie nekotorykh elementov tekhnologicheskoi osnastki, napravlennykh na povyshenie kachestva krepleniia skvazhin [Improvement of some elements of technological equipment aimed at improving the quality of well casing]. *Stroitel'stvo neftianykh i gazovykh skvazhin na sushe i na more*, 2008, no. 11, pp. 34-36.
5. Suleimanov B.A., Veliev E.F. O vliianii granulometricheskogo sostava i nanorazmernykh dobavok na kachestvo izoliatsii zatrubnogo prostranstva v protsesse tsementirovaniia skvazhin [The Effect of Particle Size Distribution and the Nano-Sized Additives on the Quality of Annulus Isolation in Well Cementing]. *Nauchnye trudy NIPI Neftegaz GNKAR*, 2016, no. 4, pp. 4-10. DOI: 10.5510/OGP20160400293
6. Nurskanov V.D., Kolesnikov S.G., Kuznetsov O.A., Egorov A.O. Zakolonnyie peretoki, metody preduprezhdeniia. Opyt primeneniia lateksnogo gazoblokatora [Wellbore leakage, methods of prevention. Experience of latex gas migration control additive usage]. Burenie i neft', 2023, no. 52, pp. 50-53.
7. Khokhar Sikandar Ali et al. A simplified framework for orientation control of synthetic fibers in engineered cementitious composites using magnetic field. *Heliyon*, 2024, vol. 10, iss. 4, e26056 p. DOI: 10.1016/j.heliyon.2024.e26056
8. Sumin Im, Seongmin Cho, Junxing Liu, Peiqi Li, Dahyung Jin, Sungwon Sim, Seungmin Lim, Sungchul Bae. Comparative effects of graphene oxide on the interfacial transition zone in silica fume-modified cement mortar at varying water-to-binder ratios. *Case Studies in Construction Materials*, 2025, vol. 22, e04230 p. DOI: 10.1016/j.cscm.2025.e04230
9. Hang-Ming Liu, Yang-Ye He, Ji-Fang Wan, Lin Chen, Xian-Zhong Yi, Yuan-Hua Zhou, Yu-Xian He, Xiang-Gui Ming, Lu Ren. Effect of mechanical vibration process parameters on the cement plugs properties for abandoned wells. *Petroleum Science*, 2023, vol. 20, iss. 4, pp. 2428-2441. DOI: 10.1016/j.petsci.2023.07.011
10. Bekbaev A.A., Agzamov F.A. Dispersnoe armirovanie kak faktor povysheniia kachestva oblegchennykh tsementnykh rastvorov [Dispersed reinforcement as a factor of increasing the quality of the lightweight cements]. *Stroitel'stvo neftianykh i gazovykh skvazhin na sushe i na more*, 2018, no. 8, pp. 38-42. DOI: 10.30713/0130-3872-2018-8-38-42
11. Bubnov A.S., Boiko I.A., Epikhin A.V., Kovalev A.V. Analiz sovremennykh problem tsementirovaniia neftianykh i gazovykh skvazhin [Analysis of modern problems of cementing oil and gas wells]. *Problemy geologii i osvoeniia nedr. Trudy XVI Mezhdunarodnogo simpoziuma imeni akademika M.A. Usova studentov i molodykh uchenykh, posviashchennogo 110-letiiu so dnia osnovaniia gorno-geologicheskogo obrazovaniia v Sibiri, Tomsk, 02-07 April 2012*. Tomsk: Natsional'nyi issledovatel'skii Tomskii politekhnicheskii universitet, 2012, vol. 2, pp. 296-298.
12. Obozin O.N., Chemcho S.N. Novyi bezopasnyi metod obratnogo tsementirovaniia pri stroitel'stve neftianykh i gazovykh skvazhin [A new, safe method for reverse cementing in oil and gas well construction]. *Chrezvychainye situatsii: promyshlennaia i ekologicheskaia bezopasnost'*, 2015, no. 1 (21), pp. 59-65.
13. Abukhadura N.A., Chinakal V.O. Povyshenie effektivnosti upravleniia kompleksom tsementirovaniia neftianykh i gazovykh skvazhin s ispol'zovaniem metodov intellektual'nogo analiza dannykh [Improving the efficiency of oil and gas well cementing complex management using data mining methods]. *Sistemy proektirovaniia, tekhnologicheskoi podgotovki proizvodstva i upravleniia etapami zhiznennogo tsikla promyshlennogo produkta (SAD/CAM/PDM - 2014). Trudy mezhdunarodnoi konferentsii, Moskva, 14-16 October 2014*. Ed. A.V. Toloka. Moscow: Analitik, 2014, pp. 130-134.
14. Abukhadura N.A., Chinakal V.O. Koordinirovannoe upravlenie kachestvom tsementirovaniia neftianykh i gazovykh skvazhin [Coordinated quality management of oil and gas well cementing]. *Sistemy proektirovaniia, tekhnologicheskoi podgotovki proizvodstva i upravleniia etapami zhiznennogo tsikla promyshlennogo produkta (SAD/CAM/PDM - 2015). Trudy mezhdunarodnoi konferentsii, Moskva, 26-28 October 2015*. Ed. A.V. Toloka. Moscow: Analitik, 2015, pp. 141-143.
15. Khatsidi A.K. Ob obosnovanii novoi metodiki otsenki kachestva tsementirovaniia neftianykh i gazovykh skvazhin [On substantiation of a new quality assessment methodology of oil and gas wells cementing]. *Stroitel'stvo neftianykh i gazovykh skvazhin na sushe i na more*, 2019, no. 4, pp. 31-33. DOI: 10.30713/0130-3872-2019-4-31-33
16. Komilov T.O. Tamponazhnyi rastvor dlia tsementirovaniia neftianykh i gazovykh skvazhin [Plugging mortar for cementing oil and gas wells]. *Bulatovskie chteniia*, 2020, vol. 3, pp. 157-158.

17. Leshkovich N.M., Borozdniak D.R., Tiutiun'kov V.Iu. Analiz metodov kontrolia kachestva tsementirovaniia neftianykh i gazovykh skvazhin [Analysis of quality control methods for cementing oil and gas wells]. *Praktika studentov: ot uchebnoi do preddiplomnoi. Materialy II Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, Krasnodar, 24-25 November 2023*. Krasnodar: Kubanskii gosudarstvennyi universitet, 2023, pp. 116-117.
18. Zinov'ev E.V. Issledovanie i razrabotka retseptur bufernykh zhidkostei dlia povysheniia kachestva tsementirovaniia pri burenii neftianykh i gazovykh skvazhin [Research and development of formulations of spacer fluids to improve the quality of cementing when drilling oil and gas wells]. *Severgeoekotekh - 2018. Materialy KhIX Mezhdunarodnoi molodezhnoi nauchnoi konferentsii, Ukhta, 21-23 March 2018*. Ukhta: Ukhtinskii gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet, 2018, pp. 21-25.
19. Emirasanov A.E., Koval' M.E., Kharlamova E.M. Puti povysheniia effektivnosti raboty servisnykh podriadchikov po tsementirovaniiu neftianykh i gazovykh skvazhin [Ways to improve the efficiency of oil and gas well cementing service contractors]. *Ashirovskie chteniia*, 2025, vol. 1, no. 1 (17), pp. 117-122.
20. Sorokin P.M., Sultanov Z.I. Nelineinaia volnovaia mekhanika v neftianoi promyshlennosti [Nonlinear wave mechanics in the oil industry]. *Novye tekhnologii toplivno-energeticheskogo kompleksa. Sbornik nauchnykh trudov Surgutskogo instituta nefti i gaza (filial) TiumGNGU, Tiumen', 01-31 January 201*4. Tiumen': Tiumenskii gosudarstvennyi neftegazovyi universite, 2015, pp. 145-156.
21. Lotov V.A. O vzaimodeistvii chastits tsementa s vodoi ili variant mekhanizma protsessov gidratatsii i tverdeniia tsementa [Interaction of cement particles with water or mechanism of hydration and hardening of cement]. *Izvestiia Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov*, 2018, vol. 329, no. 1, pp. 99-110.
22. Dvorkin L.I., Dvorkin O.L. Aktivatsiya tsementnykh sistem kak etap polucheniya kachestvennogo betona [Activation of cement systems as a stage in obtaining high-quality concrete]. https://m350.ru/articles/more/v/id/93.
23. Surkov V.N., Toshcheva E.Iu. Aktivatsiia tsementnoi sistemy na osnove kremnezol'-karboksilatnoi kompozitsii [Activation of cement systems based on silica sol-carboxylate composition]. *Nauchnye problemy material'no-tekhnicheskogo obespecheniia Vooruzhennykh Sil Rossiiskoi Federatsii*, 2018, no. 4 10), pp. 158-164.
24. Shvedov A.P. Effektivnost' razriadno-impul'snoi aktivatsii tsementnykh sistem [Efficiency of discharge-pulse activation of cement systems]. *Aktual'nye problemy arkhitektury belorusskogo Podvin'ia i sopredel'nykh regionov. Sbornik statei mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, Novopolotsk, 26-27 November 2020*. Novopolotsk: Uchrezhdenie obrazovaniia “Polotskii gosudarstvennyi universitet” Ustanova adukatsyi “Polatski dziarzhaŷny universitet”, 2021, pp. 52-56.
25. Masson S.V., Perov S.S., Gorlenko N.P. Modifitsirovanie zhidkosti zatvoreniia tsementnykh sistem metodom mekhanicheskoi aktivatsii [Modification of cement systems mixing fluid by mechanical activation method]. *Izbrannye doklady 69-i Universitetskoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii studentov i molodykh uchenykh, Tomsk, 20 April 2023*. Tomsk: Tomskii gosudarstvennyi arkhitekturno-stroitel'nyi universitet, 2023, pp. 604-606.
26. Savenkov A.I., Zaenets E.O., Ketner A.V. Optimal'nost' elektrokhimicheskoi aktivatsii zatvoritelia tsementnykh sistem [The optimality of the electrochemical activation of the sealer cement systems]. *Sovremennye tekhnologii i nauchno-tekhnicheskii progress*, 2019, vol. 1, pp. 206-207.
27. Taldonova N.V., Kovaleva M.A., Kuznetsova Iu.N., Sarkisov Iu.S. Aktivatsiia vody zatvoreniia tsementnykh sistem v rotornotsentrobezhnykh apparatakh prinuditel'nogo deistviia [Activation of mixing water for cement systems in forced-action rotary centrifugal apparatuses]. *Integral'nye i differentsial'nye paradigmy razvitiia nauki i praktiki Rossii. Sbornik nauchnykh statei po itogam Natsional'noi nauchno-prakticheskoi konferentsii, Sankt-Peterburg, 29-30 November 2018. Sankt-Peterburgskii Tsentr Sistemnogo Analiza*. Saint Petersburg: Redaktsionno-izdatel'skii tsentr "KUL"T-INFORM-PRESS", 2018, pp. 174-176.
28. Torlin R.A., Shuiskii A.I., Novozhilov A.A. et al. Aktivizatsiia chastichno gidratirovannogo tsementa v elektromagnitnykh aktivatora [Activation of partially hydrated cement in electromagnetic activators]. *Inzhenernyi vestnik Dona*, 2011, no. 2 (16), pp. 159-162.
29. Chee Lok Yong, Fengyi Zhang, Xinyue Ma, Hwei Voon Lee, Chiu Chuen Onn, Suhana Koting, Kim Hung Mo. Integrated analysis of strength, microstructure, and environmental impact of thermally activated ladle furnace slag cement mortar. *Construction and Building Materials*, 2025, vol. 482, 141712 p. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2025.141712
30. Baronins Janis, Shishkin Andrei, Lusis Vitalijs, Giosuè Chiara, Goljandin Dmitri, Novakova Iveta, Kekez Sofija, Korjakins Aleksandrs, Gorelikovs Dmitrijs, Gavrilovs Pavels. Effect of milling activation of dry components on properties of foamed cement mortar in a two-stage manufacturing process. *Case Studies in Construction Materials*, 2025, vol. 22, e04465 p. DOI: 10.1016/j.cscm.2025.e04465
31. Guangwei Liang, Anming She, Wu Yao. Sustainable use of recycled sand in alkali-activated cement and Portland cement mortars: A comparative study with natural sand. *Sustainable Materials and Technologies*, 2025, vol. 43, e01290 p. DOI: 10.1016/j.susmat.2025.e01290
32. Jinjie Shi., Guan Xiangdong. Chloride-induced corrosion of galvanized steel in ordinary Portland cement and alkali-activated fly ash mortars with benzotriazole. *Cement and Concrete Composites*, 2025, vol. 162 P., 106117. DOI: 10.1016/j.cemconcomp.2025.106117
33. Zhou Yitong, Zhang Honggang, Li Shuyang, He Sheng. Environmental stability and leaching behavior of alkali-activated cement mortar with high-temperature sintered MSWI fly ash exposed to extreme environmental conditions. *Construction and Building Materials*, 2025, vol. 481, 141555 p. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2025.141555
34. Pesterev S.V., Fatkhutdinov I.Kh., A.V. Datskov Novye dobavki dlia effektivnogo resheniia tekhnologicheskikh zadach pri tsementirovanii skvazhin [New additives for effective solutions to technological problems in well cementing]. *Burenie i neft'*, 2010, no. 11, pp. 34-36.
35. Zakurazhnov M.S., Artamonova O.V. Metody aktivatsii mikrokremnezema dlia modifitsirovaniia tsementnykh sistem [Methods of activating microsilica for modifying cement systems]. *Aktual'nye problemy stroitel'stva, stroitel'noi industrii i promyshlennosti: sbornik materialov XVIII Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii, Tula, 29-30 June 2017*. Tula: Tul'skii gosudarstvennyi universitet, 2017, pp. 68-71.
36. Alekseev A.A., Tarbeeva Iu.V., Gauss K.S., Mokshin D.I. Aktivatsiia vody v dispersnykh tsementnykh sistemakh v pole koronnogo bar'ernogo razriada [Activation of water in dispersed cement systems in the field of a corona barrier discharge]. *Nauchnyi al'manakh*, 2015, no. 7 (9), pp. 566-572. DOI: 10.17117/na.2015.07.566
37. Sarkisov Iu.S., Gorlenko N.P., Lapova T.V., Pavlova A.N. Nizkoenergeticheskaia aktivatsiia protsessov gidratatsii i strukturoobrazovaniia v tsementnykh sistemakh [Low-energy activation of hydration and structure formation processes in cement systems]. *Izvestiia vysshikh uchebnykh zavedenii. Stroitel'stvo*, 2008, no. 3 (591), pp. 42-46.
38. Safronov V.N., Sarkisov Iu.S., Kugaevskaia S.A., Tsilimova E. Tsiklovaia magnitnaia aktivatsiia gazonapolnennykh zhidkikh sred zatvoreniia tsementnykh sistem [Cyclic magnetic activation of gas-filled liquid mixing media for cement systems]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta*, 2009, no. 4 (25), pp. 89-99.
39. Hae Jin Jo, Sung Hyun Hong, Byung Min Lee, Young Ju Kim, Wook Ryol Hwang, Soo Young Kim. High energy dissipation-based process to improve the rheological properties of bentonite drilling muds by reducing the particle size. *Ultrasonics Sonochemistry*, 2023, vol. 92, 106246 p. DOI: 10.1016/j.ultsonch.2022.106246
40. Lumsden, Simone, Singh, John P., Morgan, Ronnie G., Gregory Hundt. Development and Rheological Characterization of Suspension of Hollow Glass Beads. *Paper presented at the SPE Annual Technical Conference and Exhibition*. Dubai, UAE, September, 2016. DOI: 10.2118/181347-MS
41. Kawamura T., Tetsu T., Tsubaki T., Hirabayashi S., Yamamoto Y., Ogasawara K., Kiyono F. Effect of Clay Particle for Methane Hydrate Formation - Dissociation Behavior. *Paper presented at the Ninth ISOPE Ocean Mining Symposium*. Maui, Hawaii, USA, June 2011.
42. Rahmatullah, Idham Kholid, Mahmoud, Ahmed Abdulhamid, Salaheldin Elkatatny. Bentonite Prehydration and its Impact on Cementing Job Execution. *Paper presented at the 58th U.S. Rock Mechanics/Geomechanics Symposium, Golden*. Colorado, USA, June 2024. DOI: 10.56952/ARMA-2024-0490
43. Hanyi Zhong, Ying Guan, Zhengsong Qiu, Jie Feng, Wenlei Liu, Yuan Wan, Zhang Yubin. Improvement of Rheological and Filtration Properties of Water-Based Drilling Fluids Using Bentonite-Hydrothermal Carbon Nanocomposites Under the Ultra-High Temperature and High Pressure Conditions. *Paper presented at the SPE/IATMI Asia Pacific Oil & Gas Conference and Exhibition. Virtual*, October 2021. DOI: 10.2118/205539-MS
44. Shah S., Heinle S.A., Glass J.E. Water-Soluble Polymer Adsorption from Saline Solutions. *Paper presented at the SPE Oilfield and Geothermal Chemistry Symposium, Phoenix*. Arizona, April, 1985. DOI: 10.2118/13561-MS
45. Aften C.W. Clay Stabilizers Performance in a Comprehensive Matrix of Bentonite and Silica Flour. *Paper presented at the SPE Western Regional Meeting*. Garden Grove, California, USA, April 2018. DOI: 10.2118/190091-MS

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.
Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
Вклад авторов равноценен.