



УДК 622.24

ПРИМЕНЕНИЕ НАНОТЕХНОЛОГИЙ В ЦЕМЕНТИРОВАНИИ НЕФТЯНЫХ СКВАЖИН**APPLICATION OF NANOTECHNOLOGY IN OIL WELL CEMENTING****Никитина Ольга Витальевна**

кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры бурение нефтяных и газовых месторождений,
Удмуртский государственный университет
nikitina_olgvit@mail.ru

Аль-Али Каррар Насер Неамах

магистр 2 курса,
Удмуртский государственный университет
nasserkarrar@yahoo.com

Аннотация. Нанотехнология предоставляет широкий спектр методов для решения промышленных проблем, которые ранее не могли быть решены обычными методами. Она позволяет исследователям изменять свойства сыпучих материалов в нанометровом масштабе. Различные наноматериалы успешно применяются во многих областях нефтяной инженерии, в частности, в буровых растворах, циркуляции пласта, повышении нефтеотдачи пластов и цементировании. В данном исследовании рассматривается механизм и микроструктурные свойства цемента нефтяных скважин с наночастицами.

Ключевые слова: рецептура цемента, свойства цемента, прочность, применение, наночастица, наноматериал.

Nikitina Olga Vitalievna

Ph. D., Associate Professor of Drilling
of Oil and Gas Fields,
Udmurt State University
nikitina_olgvit@mail.ru

Al-Ali Karrar Naser Neamah

Master's Degree 2nd Year,
Udmurt State University
nasserkarrar@yahoo.com

Annotation. Nanotechnology offers a wide range of solutions to production problems previously unsolvable by traditional methods. This helps researchers change the properties of bulk materials at the nanoscale. Various nanomaterials have been successfully applied in many fields of petroleum engineering, especially in drilling fluids, loss control, enhanced oil recovery (EOR) and cementing. In this study, the mechanism and microstructural properties of nanoparticle cements were investigated.

Keywords: cement formulation, cement property, strength, application, nanoparticle, nanomaterial.

Ц ементирование скважин, которое можно определить как процесс смешивания и закачки цементного раствора вниз по скважине в кольцевой канал и обеспечения его затвердевания и сцепления между пластом и обсадной колонной, является важнейшим элементом при строительстве скважин. Существует как минимум шесть распространенных классов цемента по API, которые отвечают определенным требованиям, таким как сульфатостойкость или высокая ранняя прочность (Mangadlao et al. 2015). Цемент способен эффективно выполнять свою работу, если была проведена правильная цементация, в противном случае могут возникнуть различные проблемы, поскольку цемент будет испытывать жесткие условия, например, подвергаться воздействию экстремальных температур и давления [1, 2]. Алхамис (2018) сообщил, что колебания температуры и давления вызывают усадку цемента, что приводит к неполной зональной изоляции. Несколько наночастиц (НЧ) были использованы для улучшения свойств цементного раствора, как показано в таблице 1. В исследовании Джафарисфада и др. (2017) в цемент класса G с показателем (В/Ц) 0,44 было добавлено различное количество нанорезины с различными размерами от 50 нм до 100 нм. Результаты эксперимента показали, что добавление 8 % нанорезины вызвало уменьшение усадки цемента через различные периоды времени. Полат и др. (2017) также наблюдали меньшую усадку цемента в своем исследовании, когда изучали влияние наночастиц MgO на портландцемент. Нано-MgO медленно реагирует с водой, имеет очень мелкий размер частиц и высокую площадь поверхности. Эти свойства увеличивают его реакцию и расширение, а также делают более равномерным расширение в цементной пасте. Когда контрольный образец сравнивается с MgO 7,5, из рисунка 1 видно, что разница между значениями усадки через 48 часов больше, чем в более ранние сроки. Следовательно, MgO с наномасштабом уменьшает объемную усадку в раннем возрасте.

Другие проблемы, такие как недостаточное сцепление цемента с пластом и недостаточное сцепление цемента с обсадной колонной, возникают, если цемент не обладает достаточной прочностью (Паркер, 1966). В некоторых случаях добавление наночастиц в рецептуру цемента повышало его прочность на сжатие и ускоряло время, необходимое для набора прочности.

В сравнительном исследовании Alias et al. (2014), посвященном влиянию сырой золы рисовой шелухи, синтезированного нанокремнезема из RHA и коммерческого нанокремнезема на прочность при сжатии и пористость цемента класса G с показателем (В/Ц) 0,5, было показано, что цемент с



коммерческим нанокремнеземом показал лучшие свойства по сравнению с аналогами, в котором 1,5 % коммерческого нанокремнезема сократило время развития прочности при сжатии, увеличило максимальную прочность при сжатии и уменьшило пористость, что привело к предотвращению миграции жидкости.

В недавнем исследовании Мохаммед (2018), посвященном наночастицам кремнезема, в цемент класса Н с показателем (В/Ц) 0,38 были добавлены различные количества нанокремнезема размером 30 нм. Результаты испытаний показали, что цемент с 1 % нанокремнезема имел более высокую максимальную прочность на сжатие, более быстрое развитие прочности на сжатие и улучшенные свойства электрического сопротивления [3].

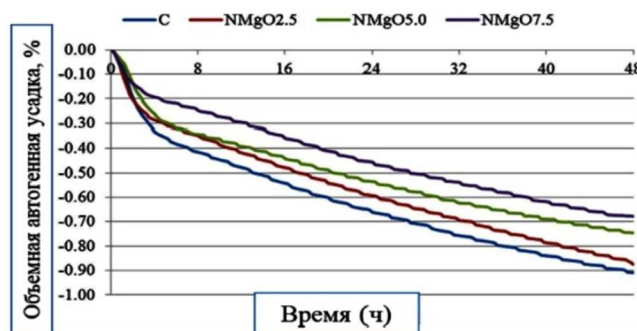


Рисунок 1 – Объемная автогенная усадка, измеренная на цементной пасте после первоначального схватывания

В другой работе Соуза и др. (2015) исследовали результат добавления углеродных нанотрубок в цемент бразильского типа CPV с показателем (В/Ц) 0,4. Полученный цемент достиг большей прочности на сжатие и растяжение, меньшей пористости и проницаемости, а также улучшенной стабильности. Фильтрация цементного раствора и загрязнение цемента шламом (Фригаард и Пелипенко, 2003) также являются очень известными проблемами, которые в конечном итоге могут привести к миграции газа (Паур и Могадаси, 2007).

Что касается фильтрации, Раббани и Солтанян (2011) провели эксперимент, в котором они смешали различные количества наночастиц кремнезема размером 20 нм с цементом класса G с показателем (В/Ц) 0,6 и заметили, что небольшое количество этого вещества внесло значительные изменения в свойства цемента, такие как снижение потери жидкости и проницаемости, что в результате предотвратило миграцию газа. Модифицированный цемент также имел более высокую максимальную прочность на сжатие и более быстрое развитие прочности на сжатие, чем стандартный цемент.

Кроме того, для решения проблемы загрязнения бурового раствора Мазерати и др. (2010) разработали новый цементный спейсер с использованием наноземли и исследовали его эффективность очистки. Результаты испытаний показали, что нано-прокладка привела к лучшему удалению бурового раствора по сравнению с обычными цементными прокладками и изменению смачиваемости, что привело к образованию более прочной связи между цементом и обсадной колонной. Добавление различных типов наноматериалов в цементный раствор приводит к улучшению характеристик цемента, таких как предотвращение миграции газа (Алхамис, 2018), улучшение процесса гидратации (Байг и др., 2017), улучшение чувствительных свойств (Випуланандан и др., 2015), снижение фильтрации (Раббани и Солтанян, 2011), обеспечение большей прочности и более раннее развитие прочности, предотвращение разрушения обсадной колонны (Сун и др., 2016) [3].

На рисунке 2 показано схематическое изображение анализатора миграции газа. Он содержит модифицированную камеру для проведения испытаний на водоотдачу при высокой температуре и высоком давлении (500 мл), а также испытательную камеру, которая моделирует цементное кольцо между газоносным пластом, создающим давление, и проницаемой зоной с более низким давлением. Дно ячейки перфорировано, имеет сетку с ячейками 325 для испытания на водоотдачу и соединено с регулятором противодавления для моделирования зоны низкого давления. Крышка камеры имеет уникальную конструкцию, позволяющую перемещать полый поршень, оснащенный еще одним сетчатым фильтром для дублирования зоны высокого давления [4].

Добавки в цемент добавляются для улучшения определенных параметров, таких как: плотность, время схватывания, фильтрация и вязкость. В ряде исследований рассматривалось использование наночастиц при цементировании скважин для улучшения свойств цемента.

Жидкость для отверждения, такая как известняк или вода, может значительно повлиять на прочность цемента на сжатие. Было установлено, что цемент может быть предпочтительно заменен 2 % НС оксида алюминия при отверждении в известковой воде и 1 % НС оксида алюминия при отверждении в воде.



Однако добавление НЧ может снизить обрабатываемость цемента, в который необходимо добавлять различные материалы, такие как пластификаторы (Назари и Риахи, 2011). Альхамис и Имкам (2018) обнаружили, что графеновые нанопластики вызывают уменьшение теплового градиента оболочки цемента, что может привести к образованию термических трещин при наступлении растягивающего напряжения. Экспериментальная оценка, проведенная Сантра и др. (2012) с использованием многостенных углеродных нанотрубок (МУНТ), не показала улучшения механических свойств цемента [4].

Таблица 1 – Сводная информация о широком спектре исследованных наночастиц и их влиянии на свойства цемента [4]

Виды цемента	Наночастицы	Размер	Концентрация	Выводы
Керман класса G с В/Ц 0,6	Нанокремнезем	20	1 %	Меньшая пористость и проницаемость, меньшая плотность, улучшенное реологическое поведение, раннее развитие прочности на сжатие, большая прочность на сжатие, меньшее время загустевания, меньшее развитие свободной воды и меньшая потеря жидкости
Класс Н с В/Ц 0,38	Нанокремнезем	30	1 %	Раннее развитие прочности на сжатие, большая прочность на сжатие, раннее развитие прочности на сжатие и большая прочность на сжатие
Класс G с В/Ц 0,5	Нанокремнезем	10–20	1,5 %	Меньшая пористость и проницаемость, большая гидратация, большая плотность, улучшенный индекс удельного электрического сопротивления, улучшенные свойства сжатия на ранних стадиях. Индекс удельного сопротивления, улучшенные реологические свойства и раннее развитие прочности на сжатие разработка
Класс Н с В/Ц 0,38	Нано-Fe	–	1 %	Большая прочность на сжатие, меньшая пористость и проницаемость, большая плотность, раннее развитие прочности на сжатие и большая прочность на сжатие



Рисунок 2 – Миграция газа с обычным цементом и с наночастицами [4]

Применение расширяющихся цементов позволяет уменьшить усадку в тампонажном камне в процессе его затвердевания и, следовательно, снизить негативное влияние усадки на качество цементирования скважин.

Контракция является основной причиной снижения качества цементирования, она проявляется в уменьшении объема камня при его гидратации.

Сравним объемные изменения проектного цемента и предлагаемого с учетом контракции.

Из графика (рис. 3) можем увидеть, что уже через 30 минут значения контракции у ПЦТ I-G с 1 % НЧ оксида алюминия значительно больше, чем у ПЦТ I-G. По графику можем сделать вывод, что цементы с НЧ добавками позволяют снизить контракцию.

Из данных приведенных можно увидеть, что в предлагаемых наночастицах показатели водоотделения меньше, а также предлагаемые цементы непроницаемы. В проектных цементах отсутствовало расширение цементного камня, предлагаемые материалы позволяют решить эту проблему.

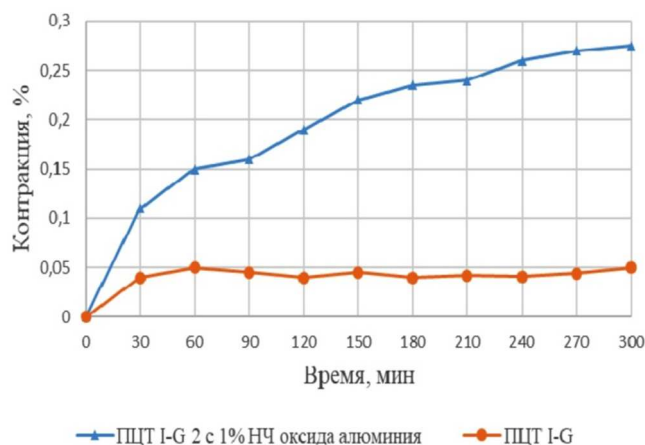


Рисунок 3 – Сравнение объемных изменений ПЦТ I-G и ПЦТ I-G с 1 % НЧ [4]

Таким образом, обзор последних исследований наночастиц в цементировании скважин показал, что нанотехнологии в последнее время стали очень интересной темой для исследований, и многие исследования показали очень многообещающие результаты с точки зрения их производительности и эффективности. Эти результаты обусловлены отличительными свойствами наночастиц. На Мишкинском месторождении рекомендуется применять ПЦТ I-G для цементирования эксплуатационной колонны, для повышения качества цемента. Из наночастиц рекомендуется в известковой породе добавить 1 % НЧ оксида алюминия при отверждении в воде. Однако, необходимо помнить, что добавление наночастиц может снизить обрабатываемость цемента. Для уменьшения снижения обрабатываемости цемента необходимо добавлять различные материалы, такие как пластификаторы.

Литература:

1. Аль-Шаргаби М. Влияние нанотехнологий в нефтяной промышленности // Общество инженеров-нефтяников. – 2019. – Р. 196–198. – URL : <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42963515>.
2. Применение диоксида углерода для повышения нефтеотдачи пластов с помощью наночастиц: последние разработки / М. Аль-Шаргаби [и др.]. – 2022.
3. Применение наночастиц в качестве полезных добавок для нефтяных и газовых буровых растворов: обзор / М. Аль-Шаргаби [и др.] // Журнал молекулярных жидкостей. – 2022. – URL : <https://doi.org/10.1016/J.MOLLIQ.2022.118725>.
4. Комплексный обзор применения наночастиц в нефтегазовой промышленности / М.Т. Аль Сабах [и др.]. – 2020. – № 10. – С. 1389–1399. – URL : <https://doi.org/10.1007/s13202-019-00825-z>.

References:

1. Al-Shargabi M. The Impact of nanotechnology in the petroleum industry // Society of petroleum engineers. – 2019. – Р. 196–198. – URL : <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42963515>.
2. Carbon dioxide applications for enhanced oil recovery assisted by nanoparticles: recent developments / M. Al-Shargabi [et al.]. – 2022.
3. Nanoparticle applications as beneficial oil and gas drilling fluid additives: a review / M. Al-Shargabi [et al.] // Journal of Molecular Liquids. – 2022. – URL : <https://doi.org/10.1016/J.MOLLIQ.2022.118725>.
4. A comprehensive review of nanoparticles applications in the oil and gas industry / M.T. Alsaba[et al.]. – 2020. – № 10. – С. 1389–1399. – URL : <https://doi.org/10.1007/s13202-019-00825-z>.