УДК 622.245.422

ИССЛЕДОВАНИЯ РАСШИРЯЮЩИХСЯ ТАМПОНАЖНЫХ СИСТЕМ БЕЗ ОКСИДНЫХ ДОБАВОК

RESEARCH ON EXPANDING CEMENTING SYSTEMS WITHOUT OXIDE ADDITIVES

Родер Светлана Александровна
начальник лаборатории тампонажных растворов,
ООО «Газпром проектирование», Тюменский филиал
sroder@proektirovanie.gazprom.ru

Белей Иван Ильич
кандидат технических наук,
ООО «Газпром проектирование», Тюменский филиал
ivan-beley@yandex.ru

Аннотация. Рассмотрены результаты исследований стабилизированных тампонажных растворов с эффектом расширения камня, достигаемым без ввода специальных оксидных добавок. Отличительной особенностью данных систем является возможность снижения контракции в процессе формирования расширяющегося камня, что позволяет повысить его изолирующую способность.

Ключевые слова: тампонажный раствор, расширение, добавки, контракция.

Roder Svetlana Aleksandrovna
Head of Cement Solutions Laboratory,
Gazprom Design LLC, Tyumen branch
sroder@proektirovanie.gazprom.ru

Beley Ivan Ilyich
Candidate of Technical Science,
Gazprom Design LLC, Tyumen branch
ivan-beley@yandex.ru

Annotation. The results of studies of stabilized cement slurries with the effect of stone expansion, achieved without the introduction of special oxide additives, are considered. A distinctive feature of these systems is the ability to reduce contraction during the formation of an expanding stone, which makes it possible to increase its insulating ability.

Keywords: cement slurry, expansion, additives, contraction.

Ранее выполненными исследованиями установлено, что для условий умеренных температур применение в тампонажных системах оксидных добавок в качестве расширяющего компонента не всегда оправдано, как по причине ранней гидратации и снижения эффекта расширения на этапе формирования камня, так и возможного усиления контракционного эффекта при их гидратации [1]. В связи с этим были рассмотрены варианты стабилизированных, с пониженной контракцией растворов, обеспечивающих формирование камня с увеличением объема без использования указанных добавок.

Возможность получения безусадочных систем основывалась на данных [2, 3], согласно которым отдельные виды реакций твердения могут происходить с отрицательной контракцией, т.е. не с поглощением, а с выделением воды. Кроме того, предпосылкой разработки расширяющихся смесей послужил установленный эффект, когда совокупность тампонажного цемента, неионогенного реагента-стабилизатора, солевой добавки и некоторых типов тонкодисперсных минеральных добавок придает тампонажному раствору сочетание расширяющейся способности и низкой контракции при твердении в камень [4].

Исследования выполнялись с использованием прибора расширения/усадки 4268 ES при умеренной температуре и атмосферном или избыточном (до 20 МПа) давлении. Прибор позволяет в автоматическом режиме, при заданных термобарических условиях, измерять изменения объёма тампонажного раствора/камня (при наличии изолирующей резиновой диафрагмы) или объема системы «раствор/камень + вода». Во втором случае, вместо резиновой диафрагмы нами устанавливалась фильтровальная бумага, и верхняя часть раствора контактировала с водой.

Особенностью опытов без диафрагмы (твердение раствора/камня в контакте с водой) являлось то, что прибором 4268 ES фиксировалось изменение во времени суммарного объёма системы «раствор/камень + вода», как результирующее уменьшения объёма воды, поглощаемой при твердении в результате контракции, и возможного увеличения объёма раствора/камня при расширении. Поскольку в данном случае нельзя говорить однозначно о фиксировании только величины контракции или расширения, нами использовался термин «изменение объема системы раствор/камень + вода». Очевидно, что для более простого портландцементного раствора без добавок изменение объема будет обусловлено только величиной контракции.

В отличие от испытаний на поршневых приборах расширения, контакт тампонажного раствора/камня с водой в камере прибора 4268 ES был ограничен (только в верхней части образца), что в целом сказывалось на конечной величине расширения и суммарной величине объема поглощаемой воды.

Помимо оценки изменения объёма системы во времени по прибору 4268 ES, после окончания опытов определялся фактический объём образцов (по отношению их конечной высоты к начальной).

В качестве примера на рисунке 1 приведены результаты исследований изменения объема системы «тампонажный раствор + вода» (после обнуления данных при выходе на температурный режим 75 °С) при твердении смесей с различным сочетанием компонентов: солевой добавки, неионогенного полимера (типа гидроксиэтилцеллюлозы Натросол 250 GXR) и неорганической тонкодисперсной добавки типа МТД-2.

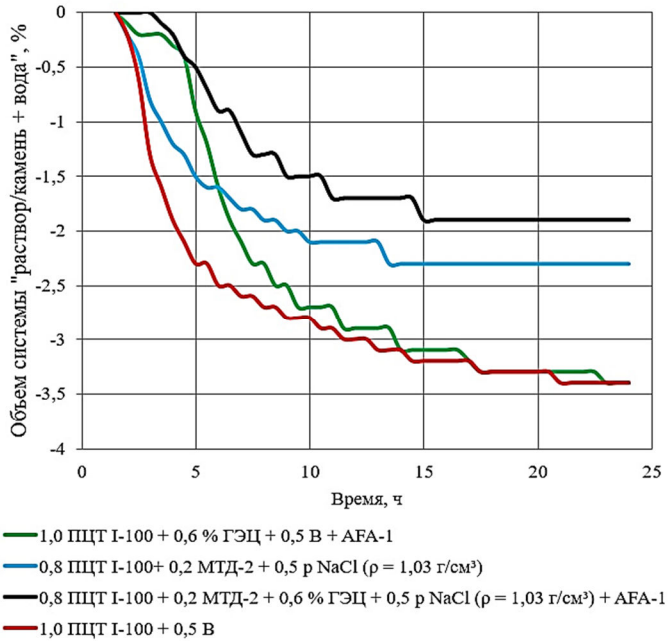

Рисунок 1 – Влияние добавки МТД-2 и хлорида натрия на изменение во времени объёма стабилизированного тампонажного раствора/камня (температура 75 °С, атмосферное давление)

Можно видеть, что ввод 20 % МТД-2 в сочетании с хлоридом натрия приводит к менее значительному сокращению объема системы «раствор/камень + вода» по сравнению с бездобавочной суспензией и системой, содержащей только гидроксиэтилцеллюлозу (ГЭЦ). С одной стороны, это является закономерным результатом замены части вяжущего материала на менее активную минеральную добавку, а с другой – следствием возможного проявления отрицательной контракции при кристаллизации солевой добавки и определенного увеличения объема камня.

В случае ввода указанных добавок с Натросол 250 GXR в тампонажный раствор наблюдается еще меньшее стяжение объема системы.

Наличие и влияние фактора положительного изменения объема подтверждается состоянием камня после окончания опытов на приборе 4268 ES: для образцов с сочетанием солевой добавки, МТД-2 и ГЭЦ отмечается увеличение объема (линейное расширение) на 1,3 % (табл. 1).

Таблица 1 – Составы и свойства тампонажных растворов и камня с добавками ГЭЦ, минеральных добавок и солей (твердение при 75 °С и давлении 20 МПа)

Состав тампонажного раствора	Плотность, г/см^3	Др, мм	Расширение (+), усадка (–) камня через 24 ч	Прочность камня через 24 ч, МПа	
				изгиб	сжатие
1,0 Ц + 0,6 % ГЭЦ + 0,5 В	1,85	190	– 2,1	4,8	23,2
0,8 Ц + 0,2 МТД-2 + 0,6 % ГЭЦ + 0,5 р NaCl (1,03 г/см^3)	1,86	221	+ 1,3	6,1	30,2
0,8 Ц + 0,2 МТД-2 + 0,6 % ГЭЦ + 0,5 р NaCl (1,10 г/см^3)	1,93	201	+ 1,8	5,8	29,5
0,8 Ц + 0,2 Кварц Б + 0,6 % ГЭЦ + 0,5 р NaCl (1,10 г/см^3)	1,94	200	+ 1,1	5,2	28,6
0,8 Ц + 0,2 КРТЗ + 0,6 % ГЭЦ + 0,5 р NaCl (1,10 г/см^3)	1,95	205	+ 1,5	4,9	24,4
0,8 Ц + 0,2 МТД-2 + 0,6 % ГЭЦ + 0,5 р KCl (1,10 г/см^3)	1,93	197	+ 1,0	5,2	28,6
0,8 Ц + 0,2 Кварц Б + 0,6 % ГЭЦ + 0,5 р KCl (1,10 г/см^3)	1,94	210	+ 0,8	5,0	25,5

Данный эффект может быть объяснен особенностью процесса формирования камня при сочетании реагента-стабилизатора, солевой добавки и тонкодисперсного неорганического материала, что проявляется в расширяющем действии кристаллизующейся (в результате пересыщения) солевой добавки на этапе гидратации вяжущего в присутствии ГЭЦ и тонкодисперсной неорганической добавки, при одновременном снижении контракции за счет уменьшения содержания цемента и высвобождения воды при кристаллизации солевой добавки.

При твердении данных составов в условиях избыточного давления наблюдается аналогичная закономерность, но с той лишь разницей, что для составов тампонажных растворов, включающих

МТД-2 и NaCl, а также МТД-2, NaCl и Натросол 250 GXR конечные значения контракции практически совпадают (рис. 2). Очевидно, по причине принудительного внедрения воды под воздействием избыточного давления, окончательной стабилизации контракции через 24 ч не происходит, хотя изменение значений весьма незначительно.

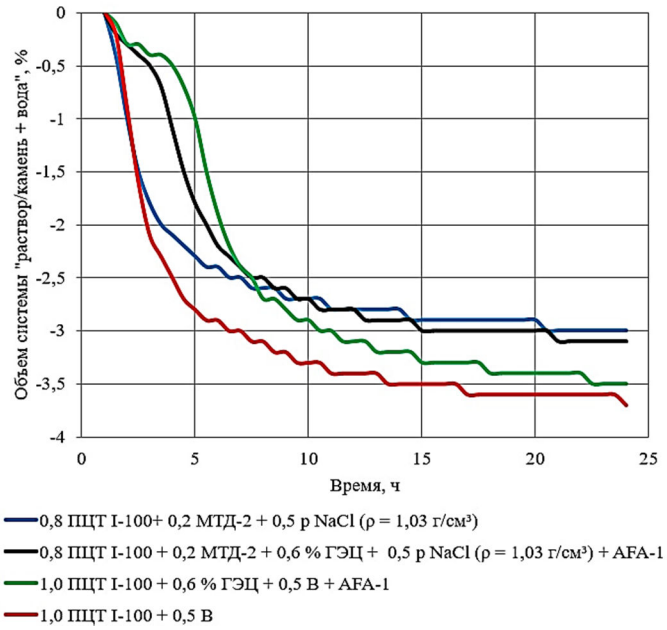

Рисунок 2 – Изменение во времени объёма стабилизированного раствора/камня с добавками МТД-2 и хлорида натрия (температура 75 °С, давление 20 МПа)

Исследования влияния концентрации хлорида натрия, при постоянном содержании МТД-2 и Натросола 250 GXR (рис. 3) показали, что при сопоставимых конечных значениях объемов системы «раствор/камень + вода», фактическое расширение камня больше в случае повышенной концентрации соли (табл. 1).

С практической точки зрения, использование систем с повышенным содержанием хлорида натрия является более предпочтительным, поскольку в этом случае могут быть получены большие величины расширения камня при одинаковой (или даже меньшей) контракции.

Результаты исследований тампонажных растворов с другими минеральными добавками и вводом хлорида натрия и ГЭЦ приведены на рисунке 3 и в таблице 1.

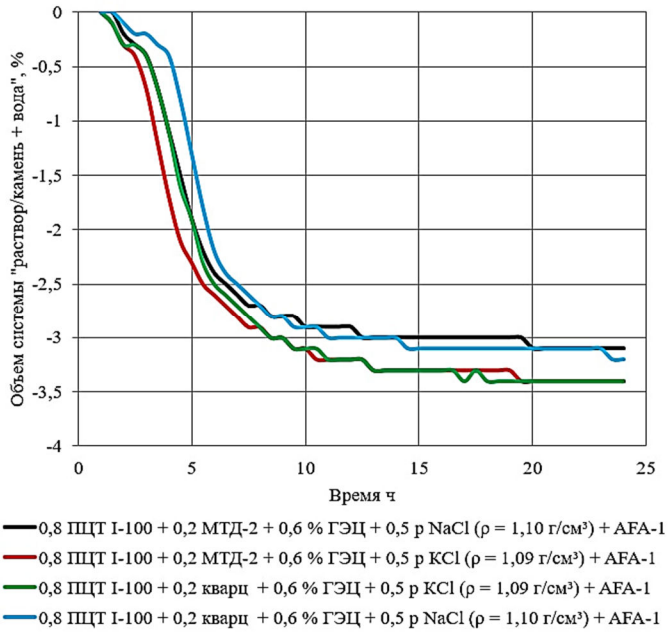

Рисунок 3 – Влияние концентрации и типа солевой добавки на изменение во времени объема стабилизированного раствора/камня с МТД-2 и кварцем (температура 75 °С, давление 20 МПа)

Влияние минеральных добавок типа кварца молотого пылевидного и заполнителя кремнистого тонкомолотого (КРТЗ) на интенсивность и характер изменения во времени объема систем, в целом одинаково с МТД-2, а конечные значения объемов близки и являются большими по отношению к стандартному составу без добавок. Для данных систем также фиксируется увеличение конечного объема камня на 1,1–1,5 % (табл. 1).

В то же время можно видеть некоторые отличия по времени начала интенсивной контракции и времени перехода к стабилизации значений объема для различных составов. Причиной такого отличия является степень влияния самих минеральных добавок на скорость гидратации вяжущего и время начала формирования камня. Очевидно, что чем менее активное взаимодействие добавки с продуктами гидратации, тем в более поздние сроки наблюдается интенсивная контракция и, соответственно, позднее происходит перегиб графика и стабилизация значений объема.

В этом случае можно также говорить и о большем замедляющем действии гидроксиэтилцеллюлозы, поскольку отсутствие активного взаимодействия минеральной добавки с продуктами гидратации в начальный период приводит к смещению во времени начала интенсивной гидратации вяжущего и начала формирования камня.

Установлено, что аналогичные системы тампонажных растворов, обладающих сочетанием стабильности, расширяющих свойств и пониженной контракции, могут быть получены также в случае использования другой солевой добавки – хлорида калия.

В качестве примера, на рисунке 3 приведены данные изменения объема стабилизированных ГЭЦ тампонажных растворов с добавкой двух типов минеральных добавок и с использованием различных солей.

Следует отметить, что для составов с кварцем и МТД-2 хлорид калия оказывает большее ускоряющее действие, нежели хлорид натрия. Такое влияние KCl можно объяснить определенной активацией процесса гидролиза вяжущего, ввиду специфических свойств данной солевой добавки. Очевидно, этим и обусловлена меньшая контракционная составляющая на графиках изменения во времени объема раствора/камня суспензий с хлоридом натрия и обеими минеральными добавками.

Разработанные системы стабилизированных тампонажных растворов характеризуются сочетанием свойств расширения и пониженной контракции при твердении в камень, низкой водоотдачей и могут быть рекомендованы для цементирования обсадных колонн в интервалах продуктивных пластов при умеренных температурах.

Список литературы:

1. Белей И.И. Результаты исследований влияния оксидной расширяюшейся добавки на контракцию портландцементного тампонажного камня / И.И. Белей, С.А. Родер, А.С. Коростелев // НТЖ Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2016. – № 8. – С. 40–45.

2. Данюшевский В.С. Проектирование оптимальных составов тампонажных растворов. – М. : Недра, 1987. – 280 с.

3. Данюшевский В.С. Справочное руководство по тампонажным материалам / В.С. Данюшевский, Р.М. Алиев, И.Ф. Толстых. – М. : Недра, 1987. – 373 с.

4. Патент на изобр. 2504568 РФ. Расширяющийся тампонажный состав / И.И. Белей, С.А. Родер [и др.]: опубл. Б.И. № 2 от 20.01.2014.

List of references:

1. Beley I.I. Results of studies of the effect of oxide expanding additive on the contraction of portlandcement stone / I.I. Beley, S.A. Roder, A.S. Korostelev // STJ Construction of oil and gas wells on land and at sea. – 2016. – № 8. – P. 40–45.

2. Danyushevsky V.S. Design of optimal compositions of cement slurries. – M. : Nedra, 1987. – 280 p.

3. Danyushevsky V.S. Backfill materials reference guide / V.S. Danyushevsky, R.M. Aliyev, I.F. Tolstykh. – M. : Nedra, 1987. – 373 p.

4. Patent for the invention 2504568 of the Russian Federation. Expanding cement composition / I.I. Beley, S.A. Roder [et al.]: B.I. publ. № 2 dated 20.01.2014.