



УДК 622.245.422

ИССЛЕДОВАНИЯ И ОЦЕНКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДР-100

RESEARCH AND EVALUATION OF TECHNOLOGICAL EFFICIENCY OF DR-100

Щербич Николай Ефимович

кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры «Бурение нефтяных и газовых скважин»,
Тюменский индустриальный университет
n_shcherbich@mail.ru

Балуев Анатолий Андреевич

кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры «Бурение нефтяных и газовых скважин»,
Тюменский индустриальный университет
baluevaa@tyuiu.ru

Родер Светлана Александровна

Тюменский филиал ООО «Газпромпроектирование»

Уткин Дмитрий Александрович

магистрант 2 курса,
Тюменский индустриальный университет

Аннотация. Данная статья посвящена экспериментальным исследованиям влияния расширяющей добавки ДР-100 на физико-механические свойства тампонажных растворов и камня при умеренной температуре 75 °С, в качестве базового тампонажного портландцемента использовался ПЦТ 1-100 производства ОАО «Сухоложскцемент».

Ключевые слова: тампонажный раствор, расширяющая добавка ДР-100, расширение тампонажного раствора, прочность тампонажного камня.

Shcherbich Nikolay Efimovich

Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor, Associate Professor
of the Department «Drilling of Oil
and Gas wells»,
Tyumen Industrial University
n_shcherbich@mail.ru

Baluyev Anatoly Andreevich

Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor of the Department
«Drilling of Oil and Gas Wells»,
Tyumen Industrial University
baluevaa@tyuiu.ru

Roder Svetlana Alexandrovna

Tyumen branch of Gazprom Design LLC

Utkin Dmitry Alexandrovich

2nd year Master's Student,
Tyumen Industrial University

Annotation. This article is devoted to experimental studies of the effect of the expanding additive DR-100 on the physico-mechanical properties of grouting solutions and stone at a moderate temperature of 75 °C, PCT 1-100 produced by JSC «Sukholozhskcement» was used as the base grouting Portland cement.

Keywords: grouting solution, expansion additive DR-100, expansion of grouting solution, strength of grouting stone.

Определение основных свойств тампонажных растворов и камня производилось в соответствии с методиками ГОСТ 26798.1-96 при температуре (20 ± 2) °С. Расширение тампонажного раствора при твердении вкамень определялось с использованием прибора ПР-50 и прибора расширения и усадки 4268 ES фирмы «ChandlerEngineering» при температуре (75 ± 3) °С.

Определение расширения тампонажного камня по прибору ПР-50 ТУ 4318-066-00158758-2005 производилось с доступом и без доступа воды. Формы с поршнем помещались в термостат с температурой (75 ± 3) °С, по истечении времени выдержки охлаждались в ванне с водой при температуре (22 ± 2) °С.

Расширение тампонажного камня ΔL , в процентах определялось по перемещению поршня в форме по формуле

$$\Delta L = (L_2 - L_1) / L \cdot 100,$$

где L_1, L_2 – высота формы с поршнем соответственно до и после выдержки образцов при режимных параметрах, мм;
 L – высота кольца, мм.

За величину расширения принималось среднеарифметическое значение результатов двух параллельных определений. Величина расширения растворов/камня по прибору 4268 ES определялась после выхода на режимные параметры в течение 60 мин, при контакте образцов с водой (условия цементирования открытого за колонного пространства скважины) и без доступа дополнительной воды (условия цементирования межколонного пространства скважины).

Для определения прочности сцепления камня тампонажного раствора с металлом трубы формировали образцы в металлических формах-цилиндрах, которые выдерживались в воде. Предел прочности сцепления камня с поверхностью металла определяли при выдавливании сформированно-



го образца из формы цилиндра с внутренним диаметром 50 мм и высотой 50 мм на испытательном прессе П-10. Предел прочности сцепления камня с металлом трубы рассчитывали по величине максимальной силы сдвига камня по отношению к площади поверхности его контакта с поверхностью формы. Учитывая особенности твердения тампонажных растворов в камень в условиях скважины, формирование образцов камня с расширяющимися добавками для определения предела их прочности при изгибе и сжатии производилось в стандартных формах с размещением на них металлической пластины, зафиксированной от перемещения струбцинами. Таким образом, исключалось одностороннее свободное расширение камня и связанная с этим деформация структуры и снижение прочности камня, поскольку в реальных условиях твердение происходит в условиях всестороннего сжатия. Добавка ДР-100 смешивалась с тампонажным портландцементом в сухом виде в количестве от 4 % до 30 % от массы смеси, а затворение смесей производилось при В/Ц = 0,5.

Результаты выполненных исследований влияния добавки ДР-100 на величину расширения раствора/камня и основные их физико-механические свойства при температуре 75 °С приведены в таблицах 1, 2 и на рисунках 1, 2.

Таблица 1 – Физико-механические свойства тампонажных растворов, приготовленных на основе ПЦТ 1-100

Состав раствора, мас.ч.	Плотность, кг/м ³	Растекаемость, мм	Водоотделение, мл	Сроки схватывания, ч-мин		Расширение, усадка (+, -) через 1 сут., %
				начало	конец	
1. 1,00 Ц + 0,5 В	1850	274	5,6	1–55	2–25	– 4,00 (– 2,60)
2. 0,96 Ц + 0,04 ДР-100 + 0,5 В	1850	279	6,6	2–00	2–35	– 4,00 (+ 0,16)
3. 0,92 Ц + 0,08 ДР-100 + 0,5 В	1850	287	7,4	2–10	2–40	– 4,00 (+ 0,54–0,67)
4. 0,88 Ц + 0,12 ДР-100 + 0,5 В	1850	291	8,5	2–05	2–35	– 3,20 (+ 2,16)
5. 0,70 Ц + 0,30 ДР-100 + 0,5 В	1840	304	16,5	2–10	2–35	+ 6,76 (+ 13,04)
Примечания						
1. Затворение тампонажных растворов осуществлялось в соответствии с ГОСТ 26798.1-96.						
2. Расширение тампонажного раствора и камня определялось на приборе ПР-50 без доступа воды и с доступом воды (значения приведены в скобках).						

Таблица 2 – Влияние концентрации ДР-100 на прочностные характеристики тампонажного камня на основе ПЦТ I-100

Состав раствора, мас.ч.	Плотность, кг/м ³	Растекаемость, мм	Водоотделение, мл	Прочность камня через 2 сут, МПа		
				изгиб	сжатие	сцепление
1. 1,00 Ц + 0,5 В	1850	274	5,6	4,9	32,0	1,1
2. 0,96 Ц + 0,04 ДР-100 + 0,5 В	1850	279	6,6	6,1	28,8	2,4
3. 0,92 Ц + 0,08 ДР-100 + 0,5 В	1850	287	7,4	5,1	26,4	3,3
4. 0,88 Ц + 0,12 ДР-100 + 0,5 В	1850	291	8,5	6,1	28,3	5,1
5. 0,70 Ц + 0,30 ДР-100 + 0,5 В	1840	304	16,5	4,3	16,8	3,5
Примечание : затворение тампонажных растворов осуществлялось в соответствии с ГОСТ 26798.1-96						

Как видно в таблице 1, с увеличением содержания ДР-100 происходит увеличение растекаемости тампонажного раствора с одновременным увеличением водоотделения, что связано, очевидно, с уменьшением доли вяжущего в растворе как основного структурообразующего компонента. Отсутствие загущающего действия ДР-100 и усиление водоотделения в отношении базового тампонажного раствора говорит об отсутствии связывания воды расширяющейся добавкой в начальный период после затворения, необходимой для гидратации добавки. Следовательно, гидратационная активность добавки и её расширяющее действие при нормальной температуре не проявляется.

Очевидно, с нестабильностью растворов и связано отсутствие расширения тампонажного камня по прибору ПР-50 в условиях твердения без доступа воды для составов с вводом добавки ДР-100 в количестве от 4 % до 12 % (табл. 1). Наоборот, в указанном диапазоне концентраций ДР-100 у образцов камня, после окончания опытов даже зафиксирована усадка, хотя для этих же образцов, твердевших с доступом воды, установлено увеличение объёма. Таким образом, расширяющее действие добавки ДР-100 в большей степени проявляется при твердении в условиях контакта образцов с водой.

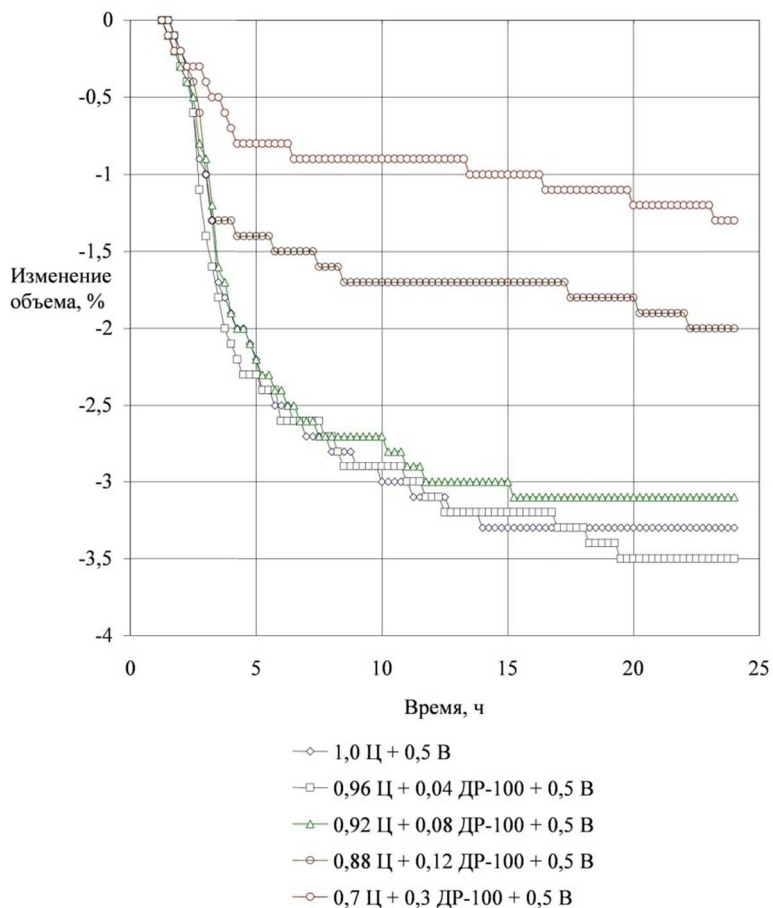


Рисунок 1 – Влияние концентрации добавки ДР-100 на изменение объема тампонажного раствора/камня на основе ПЦТ I-100 при твердении без доступа воды (по прибору 4268 ES, температура 75 °С)

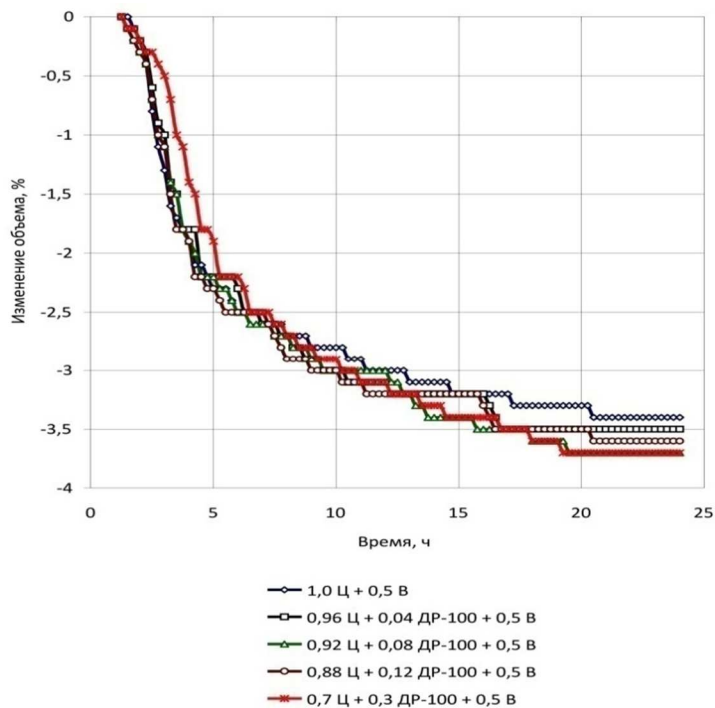


Рисунок 2 – Влияние концентрации добавки ДР-100 на изменение объема тампонажного раствора/камня на основе ПЦТ I-100 при твердении с доступом воды (по прибору 4268 ES, температура 75 °С)



Исключением является образец камня на основе смеси с 30 % ДР-100, для которого даже при отсутствии доступа воды наблюдается расширение 6,76 %. Это можно объяснить большим водоотделением раствора и возможностью использования данной «свободной» водной фазы для гидратации расширяющейся добавки и компенсации усадки, обусловленной седиментационной неустойчивостью суспензии.

Очевидно, что при меньшей концентрации ДР-100 и наличия отделившейся воды объем образовавшихся оксидов недостаточен для компенсации усадки камня. Малый объем образовавшихся гидроксидов обусловлен, в свою очередь, как недостаточным количеством добавки, так и недостаточным количеством «свободной» водной фазы, необходимой для полной гидратации расширяющегося материала.

Для образца с 30 % ДР-100 и твердевшего в условиях доступа воды конечный объем камня через 24 ч почти в 2 раза превышает конечный объем камня, твердевшего в изолированных условиях.

Испытания на приборе 4268 ES производились без создания избыточного давления для оценки величины расширения в зависимости от дозировки добавки и изучения характера изменения объема раствора/камня (или объема системы «раствор/камень + вода») в процессе твердения в течение 24 ч. Создание режимной температуры 75 °С производилось в течение 60 мин в автоматическом режиме.

Результаты исследований тампонажных растворов с добавкой ДР-100 на приборе 4268 ES приведены на рисунках 1, 2. Учитывая сложность оценки контракционных процессов в условиях влияния начального теплового расширения тампонажного раствора за начальную точку принимался объем системы после стабилизации на режимной температуре. Помимо оценки объемных изменений раствора/камня фиксируемых прибором, после окончания опытов определялся фактический объем камня по изменению его высоты относительно начальной. Эти данные также приведены в таблице 2.

Анализируя приведенные на рисунках 1, 2 графики $V = f(t)$ можно говорить об отсутствии фиксируемого прибором 4268 ES расширения образцов раствора/камня (независимо от количества расширяющейся добавки ДР-100 и условий твердения), если вычесть из конечных значений объема величину температурного расширения системы при выходе на режим. В то же время, относительно начального объема системы «раствор+вода», конечный объем по прибору в любом случае, даже для раствора без расширяющейся добавки, имеет положительные значения. На самом деле данное сравнение является некорректным, т.к. о наличии расширения или усадки нужно судить применительно к раствору/камню, который уже приобрел заданную температуру. И с практической точки зрения это также является правильным, поскольку объективной является информация по объемным изменениям раствора/камня, уже размещенного в скважине в заданном интервале, а не исходного перед закачиванием в скважину. Следовательно, анализу объемных изменений раствора/камня должны подвергаться данные, полученные после имитации процесса воздействия температуры, имеющего место при закачивании и продавливании тампонажного раствора

Обработанные данные с исключенными значениями объема теплового расширения позволяют более корректно оценивать отличия в характере и величину объемных изменений растворов/камня с ДР-100 в зависимости от режима твердения. Причём эти отличия прямо противоположны тем, которые имели место при испытании образцов этих же составов на приборе ПР-50.

Как видно на рисунках 1, 2 менее значительное, фиксируемое прибором 4268 ES, уменьшение объема происходит при твердении изолированных образцов. В этом случае, при увеличении дозировки расширяющейся добавки ДР-100 в смеси, усадка раствора/камня уменьшается, что свидетельствует об увеличении расширяющего эффекта и частичной компенсации возникающей контракционной усадки.

Однако достигнутое расширение, даже при добавке к смеси 30 % ДР-100, не позволяет полностью компенсировать усадку, что очевидно связано с недостаточным количеством воды затворения для полной гидратации добавки и образования кристаллизационных продуктов расширения в большом объеме.

Основным отличием результатов испытаний на приборе 4268 ES и на ПР-50, в случае твердения образцов в контакте с водой, является отсутствие зафиксированным прибором 4268 ES увеличения объема раствора/камня, в то время как по прибору ПР-50 определено расширение камня. Однако после разборки прибора 4268 ES было также зафиксировано увеличение высоты образца, т.е. при контакте с водой произошло расширение камня, не зафиксированное прибором.

Данное несоответствие объясняется спецификой испытания на приборе 4268 ES, который регистрирует суммарный объем тампонажного раствора/камня и воды, размещаемой между измерительным поршнем и раствором. Учитывая, что процессы расширения и контракции происходят одновременно, прибором не фиксируется момент начала расширения камня и его определение не представляется возможным.

Анализируя графики $V = f(t)$ на рисунке 1 можно говорить о превалировании процесса поглощения (уменьшении объема) воды на контракцию и гидратацию добавки ДР-100, над процессом расширения камня. Причём, с увеличением дозировки ДР-100 наблюдается несколько большее уменьшение объема системы по сравнению с составом раствора без расширяющейся добавки.



Указанное свидетельствует о возможности дополнительного поглощения воды при твердении растворов с ДР-100 в интервалах проницаемых пластов при одновременном расширении камня за счет этой водной фазы. Учитывая, что в целом суммарное уменьшение объема системы «раствор/камень + вода» в случае наличия расширяющейся добавки незначительно меньше по сравнению с системой без добавки, но при этом происходит увеличение объема камня, применение системы с расширяющейся добавкой можно признать в определенной мере эффективным и целесообразным.

Максимальное фактическое увеличение объема камня (по высоте образца), определенное после окончания тестов на приборе 4268 ES, составило 4,5 % в случае добавки 30 % ДР-100 (табл. 2). Для образцов с 4 % и 8 % ДР-100 наблюдается незначительное уменьшение высоты, что в пересчете на объем составляет его уменьшение от 0,6 % до 1,1 %, т.е. системы можно считать близкими к системам с низкой усадкой.

Ввод в состав смеси расширяющейся добавки ДР-100 способствует повышению прочности сцепления камня с металлом при её концентрации до 12 % (по массе), что объясняется именно расширением камня в условиях ограничения его перемещения (табл. 2). Кроме того, расширение в стеснённых условиях (образцы-балочки при твердении закрывались металлической пластиной, фиксируемой от перемещения струбцинами) способствует и увеличению прочности камня в указанном диапазоне концентраций ДР-100. Очевидно, давление расширения в этом случае реализуется в упрочнение формирующейся кристаллизационной структуры камня.

При большой дозировке ДР-100 происходит снижение прочности сцепления камня с металлом и снижение прочности самого камня при изгибе и сжатии. Причём, если по показателю предела прочности камня при изгибе образец с 30 % ДР-100 ещё сопоставим с образцом на основе цемента без добавки, то по показателю предела прочности при сжатии он уступает образцу без добавки почти в два раза. Иначе говоря, раствор формирует при твердении более хрупкий камень в результате создания больших внутренних напряжений при реализации эффекта расширения в ограниченных условиях. Этим же можно объяснить и снижение показателя прочности сцепления камня с поверхностью металлической обоймы, поскольку данный показатель во многом определяется прочностью камня при сжатии.

Таким образом, чрезмерное увеличение концентрации расширяющейся добавки в смеси является нежелательным и может привести к нарушению герметичности зон контакта камня с колонной и породами.

Анализируя полученные результаты можно говорить о том, что эффективность исследованной данной расширяющейся добавки как компонента для увеличения объема камня, в большей степени проявляется при условии твердения тампонажного раствора без дополнительной подпитки водой (например, в условиях межколонного пространства). Несмотря на незначительное расширение в этом случае обеспечивается компенсация усадочных процессов (вследствие контракционных явлений) и возможно получение безусадочных систем или систем с незначительным расширением.

При твердении тампонажных растворов с расширяющейся добавкой в условиях контакта с водой (интервалы проницаемых, в том числе нефтегазонасыщенных пластов с водой или водной фазой) достигается большая величина расширения камня. Однако при этом возможно усиление контракции и дополнительное подсосывание из пласта вместе с водной фазой (или даже без неё) вмещающего флюида и проникновение его в затрубное пространство.

Таким образом, добавка ДР-100 может быть рекомендована в качестве компонента тампонажных растворов, однако при разработке систем под конкретные условия цементирования и их практическом применении особое внимание должно быть уделено мероприятиям по снижению контракции при твердении в камень при одновременном создании расширяющего эффекта.