

Расширение цементного раствора-камня и управление его свойствами



Х.В. ГАЗИЗОВ,
заведующий лабораторией
крепления скважин
ООО НПП «БУРИНТЕХ»
bit@burinteh.com

Положительные качества тампонажных материалов с расширяющимися свойствами известны. Однако еще недостаточно исследованы влияния различных реагентов, а также технологических и физических факторов на свойства расширяющихся тампонажных материалов, что не позволяет прогнозировать их влияние на качество крепления скважины.

EXPANSION OF CEMENT SLURRY AND SLURRY PROPERTIES CONTROL

Kh. GAZIZOV, NPP BURINTEKH LLC

Study of influence of various chemicals as well as process and physical properties on expanding cement slurries for well casing.

Key words: NPP BURINTEKH LLC, expanding cement slurries, slurry stone

Известно, что процесс гидратации расширяющейся добавки на основе СаО начинается с момента ее затворения в воде. Учитывая, что процесс цементирования может продолжаться от 1 до 2-х часов и более, необходимо подбирать рецептуру расширяющегося тампонажного материала (РТМ) таким образом, чтобы сохранялись расширяющиеся свойства добавки и после завершения процесса цементирования. Как показывают исследования [1, 2], длительность процесса цементирования приводит к снижению величины расширения цементного раствора камня. Если же процесс гидратации СаО завершается до завершения цементирования или до начала загустевания тампонажного раствора, применение расширяющихся добавок не дает положительного эффекта.

Исследования показывают, что при введении расширяющихся добавок (РД) на основе оксида кальция с увеличением объемного расширения раствора-камня прочность цементного камня снижается, о чем свидетельствуют результаты испытаний РТМ с расширяющейся добавкой марки «СИГБ», приведенные в табл.1. Как видно из данных табл., расширение цементного камня возрастает с увеличением

ем содержания РД в составе сухой смеси, однако прочность цементного камня с увеличением расширения снижается. Для состава с содержанием РД марки «СИГБ» в количестве 8% прочность цементного камня на изгиб через двое суток составила лишь 0,5 МПа, что не удовлетворяет требованиям ГОСТ 1581-96. Исследования изменения прочности цементного камня из РТМ показывают, что прочность со временем возрастает, то есть цементный камень с расширяющейся добавкой в процессе твердения имеет свойство частично восстанавливать прочность или «самозалечиваться».

Процесс расширения тампонажного раствора-камня с РД на основе СаО обычно продолжается от нескольких часов до 2 – 3 суток в зависимости от температуры твердения тампонажного раствора и температуры обжига карбоната кальция при ее декарбонизации. Динамика расширения цементного раствора-камня в зависимости от количества РД в сухой смеси приведена на рис. 1. Из приведенных графиков видно, что расширение цементного раствора-камня при нормальной температуре начинается только после 2,5 – 3-х часов твердения в покое. При этом темпы расширения раствора-камня опре-

Табл. 1. Влияние содержания «СИГБ» на показатели тампонажного раствора и цементного камня

№ п.п.	Состав РТМ, в %		ВЦ	D _{ср.} в см.	Прочность цементного камня на изгиб, МПа через:			расширение через 2-е суток, в %
	ПЦТ 1-50	СИГБ			2 суток	7 суток	12 суток	
1	100	-	0,5	20,5	3,37	6,80	8,57	-
2	98	2	0,5	21,0	2,48	5,10	6,49	0,74
3	96	4	0,5	21,3	1,28	4,2	5,17	3,73
4	94	6	0,5	21,5	0,75	3,1	4,05	7,76
5	92	8	0,5	21,8	0,50	2,7	3,50	9,58

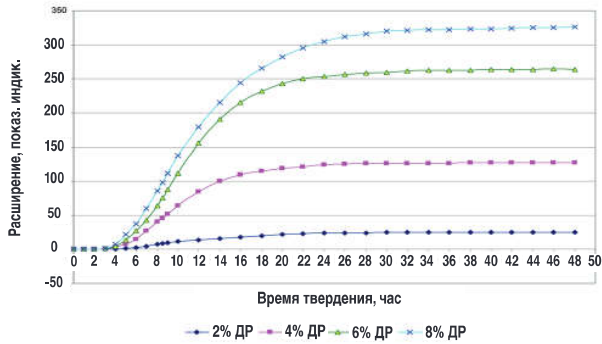


Рис. 1. Динамика расширения цементного раствора-камня в зависимости от содержания «СИГБ»

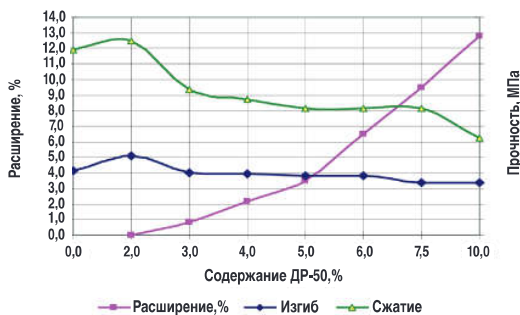


Рис. 2. Влияние количества ДР-50 на расширение и прочность цементного камня

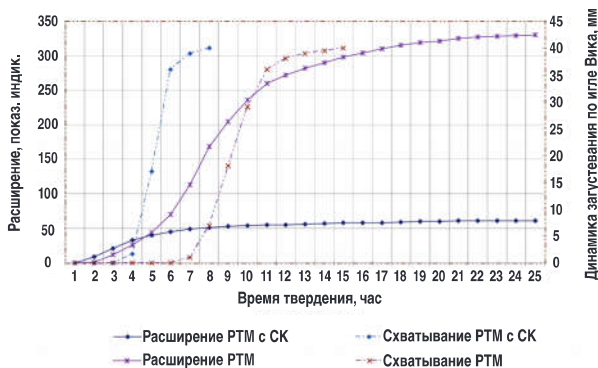


Рис. 3. Влияние ускорителя твердения (СК) на динамику расширения цементного раствора-камня и сроки схватывания тампонажного раствора

деляются количеством РД в нем. Если для состава с содержанием РД в количестве 2% после 48 часов твердения расширение составляет лишь 0,74%, с увеличением добавки в два раза (до 4%), расширение возрастает более чем в пять раз – до 3,73%. Таким образом, расширение цементного раствора-камня растет с увеличением содержания РД непропорционально ее содержанию в смеси. При малых количествах РД, до 1 – 1,5%, расширение может вообще не проявляться.

Величина давления от расширяющегося цементного раствора-камня на ограничивающие ее поверхности зависит от прочности структуры цементного камня, которая возрастает по мере гидратации цемента. При позднем расширении цементный камень оказывает большее давление на стенки скважины, что является положительным, однако расширение цементного камня в поздние сроки его твердения приводит к разрушению ее структуры. В результате при определении прочности цементного

камня по ГОСТ 26798.1 – 96 позднее расширение приводит к большему снижению его прочности, что является одной из причин, осложняющих его применение.

Как показывают исследования, если действие РД продолжается более суток, дальнейшее расширение образцов в свободном состоянии приводит к существенному снижению прочности цементного камня, и даже может привести к его саморазрушению. Если же твердение образцов из РТМ будет продолжаться до момента испытания в ограниченных условиях, например в формах, что ближе к условиям твердения цемента в скважине, их прочность оказывается значительно выше [3].

Основной причиной снижения прочности цементного камня при расширении является позднее расширение. Если же процесс расширения тампонажного раствора-камня завершается в течение суток, когда образец твердеет в форме, существенного снижения прочности цементного камня не происходит, что подтверждается результатами испытания образцов цементного камня с расширяющейся добавкой марки ДР-50, приведенных на рис. 2, расширение которых завершается за 16 – 20 часов твердения.

Так, например, прочность цементного камня на изгиб с увеличением содержания с ДР-50 до 10% в составе сухой смеси снизилась лишь с 4,12 до 3,4 МПа, а на сжатие – с 11,9 до 6,25 МПа, что удовлетворяет требованиям норм по прочности.

Одной из проблем при разработке рецептур РТМ является управление его свойствами, и прежде всего его расширением. Для определения влияния ускорителей схватывания на величину и динамику расширения раствора-камня были проведены сравнительные испытания цементно-зольной смеси с содержанием расширяющейся добавки СаО в количестве 10% от массы смеси. В качестве ускорителя твердения применялась солевая композиция (СК) (технические условия ТУ6-46 00204872 19 92), представляющая собой солевую смесь с содержанием:

1. CaCl ₂	53%
2. NaCl	38%
3. H ₂ O (связанная)	8%
4. CaSO ₄	0,5%
6. Ca(OH) ₂	0,2%
7. Остаток	0,3%

При введении в тампонажный состав ускорителя твердения конечная величина расширения существенно снижается. Если расширение состава без СК через 24 часа составило 10,87%, при добавлении в этот же состав СК его расширение снизилось почти в 5 раз и составило лишь 2,18%. И это несмотря на то, что СК сама по себе проявляет некоторые расширяющие свойства.

На рис. 3 представлена динамика расширения и схватывания тампонажных составов, показатели которых приведены в табл. 2. Показатели схватывания тампонажных растворов определялись по игле Вика. Динамика схватывания тампонажного раствора отражает нарастание прочности формирующейся структуры цементного раствора-камня во времени.

Анализ динамики расширения цементно-зольных составов, приведенных в табл. 2, показывает, что введение солевой композиции приводит к более раннему началу расширения цементного раствора-камня. Однако расширение этого состава и завершается раньше, чем у состава без добавки солевой композиции. Начало расширения состава без добавки СК начинается на час позже, но уже к пятому часу твердения показатели его расширения сравниваются с расширением состава с добавкой СК.

Табл. 2. Влияние солевой композиции на свойства цементно-золяного тампонажного материала с добавкой негашеной извести

Состав тампонажного материала, %			Ускоритель твердения, СК, в % к массе смеси	В/Ц	Д ср., мм	Прочность цементного камня на изгиб через 2 суток, МПа,	Расширение после суток твердения, в %
ПЦТ 1-50	Зола	Известь негашеная					
70	20	10	-	0,583	210	1,88	10,87
70	20	10	4	0,583	220	2,44	2,18

Можно предположить, что солевая композиция оказывает тормозящее действие на химические процессы, приводящие к расширению тампонажного материала. Однако анализ динамики расширения показывает, что расширение состава с добавкой СК начинается раньше и его темпы в первые часы твердения оказываются больше, чем для состава без добавки СК. Более раннее начало расширения для состава с СК объясняется ускорением его загустевания и схватывания и более ранним формированием его структуры, что подтверждается динамикой схватывания по игле Вика.

Сравнение динамики расширения представленных составов с динамикой их схватывания (рис. 3) показывает, что наблюдается зависимость темпов расширения от темпов схватывания, что свидетельствует о зависимости расширения раствора-камня от прочности его структуры. С началом формирования структуры цементного камня увеличивающиеся в объеме частицы расширяющейся добавки оказывают давление через формирующийся структурный каркас цементного камня на ограничивающие объем стенки. С увеличением прочности структуры раствора-камня темпы расширения снижаются, так как упрочняющаяся структура цементного камня оказывает все большее сопротивление расширяющимся частицам РД. В результате с увеличением прочности структуры расширение может происходить все больше в поры, которых в цементном камне предостаточно.

Перегиб на кривой динамики расширения, характеризующий снижение темпов расширения, для состава с СК соответствует значению показателя схватывания по игле Вика, примерно равного 3 – 5 единицам. Для состава без СК снижение темпа расширения во времени наблюдается также при значении показателя схватывания по игле Вика, примерно равного этим же значениям, что свидетельствует о зависимости темпов расширения цементного камня от прочности его структуры.

Существенное снижение в темпах расширения для обоих составов отмечается к концу схватывания, когда показатели по игле Вика приближаются к значению 39 – 40 единиц. После достижения конца схватывания расширение состава с добавкой СК составило лишь около 0,38%, в то время как для состава без добавки СК этот показатель составляет около 1,05%. Большие темпы расширения для состава без ускорителя твердения после конца схватывания по сравнению с составом, содержащим СК, объясняются меньшей ее прочностью (табл. 2).

Исходя из приведенных результатов исследований, механизм расширения тампонажных материалов с расширяющимися добавками может быть представлен следующим образом. Увеличивающиеся в объеме частицы расширяющейся добавки приводят к возникновению давления на стенки скважины через скелетную структуру цементного камня. Причем это давление может распределяться более равномерно по ограничивающим раствор поверхностям в период, когда твердеющий це-

ментный раствор-камень еще является пластичным. В конце срока схватывания тампонажного раствора, когда структура цементного камня набирает прочность и уже меньше подвержена пластическим деформациям и способна оказывать большее сопротивление расширяющимся включениям в структуре цемента, темпы расширения существенно снижаются.

Темпы расширения твердеющего цементного камня зависят от прочности структуры формирующегося цементного камня и напряжений, возникающих от действия расширяющихся структур, которые в свою очередь определяются содержанием РД в тампонажной смеси и создаваемыми ими напряжениями расклинивания. В результате чем выше прочность цементного камня, тем больше требуется усилий для того, чтобы подвергать этот цементный камень пластическому течению или разрушению, следовательно, и его расширению. Если же количество РД мало, то оно будет создавать и меньшее удельное напряжение расклинивания в формирующейся структуре цементного камня. С повышением прочности структуры процесс расширения замедляется.

Темпы расширения цементного камня в результате противодействия структурного каркаса цементного камня увеличивающимся в объеме частицам РД определяются соотношениями сил «противодействующих» сторон: с одной стороны, количества РД и развиваемого им удельного усилия распора при расширении, а также темпами его гидратации, и с другой стороны темпами загустевания и набора прочности структуры цементного раствора, которые зависят от температурных условий твердения и наличия в составе цементного раствора замедляющих или ускоряющих его твердение реагентов и добавок. Проблема получения расширяющегося тампонажного материала сводится к согласованию во времени процессов гидратации расширяющейся добавки с процессами формирования структуры цементного камня и набора им прочности.

Литература

1. Каримов Н.Х., Данюшевский В.С., Рахимбаев Ш.М. Разработка рецептур и применение расширяющихся тампонажных цементов / Обзорная информация, ВНИИОЭНГ, сер. «Бурение», М.: 1979.
2. Газизов Х.В., Маликов Е.Л. К методике испытания расширяющихся тампонажных материалов // Нефтяное хозяйство. 2011. № 5. С. 69 – 71.
3. Газизов Х.В., Газизов Ш.Х. Повышение качества крепления скважин и охрана недр и окружающей среды / Всероссийская научно-практическая конференция «Уралэкология. природные ресурсы-2005». Уфа-Москва: 2005. С. 118 – 120. ■

Ключевые слова: ООО НПП «БУРИНТЕХ», тампонажные материалы с расширяющимися свойствами, раствор-камень