

СТЕКЛЯННАЯ ПУЛЬПА И МИКРОСФЕРЫ ДЛЯ КРЕПЛЕНИЯ И ЛИКВИДАЦИИ ПОГЛОЩЕНИЙ БУРОВОГО РАСТВОРА ГЛУБОКИХ СКВАЖИН

Мурзабеков Т.К., Мурзабеков А.Т., Мурзабеков Е.Т., Чагирова А.Ж.

Әйнек талқанынан дайындалған ұлтамен қуысы ауаға толтырылған кішкене сфераларды бұрғы сұйығының жұтылуына қарсы және шегендеу жұмыстарында қолданылуы.

Glass pulp and microspheres for mounting and deep wells elimination of mud loss.

Трудности технологии крепления глубоких высокотемпературных и аномально с низкими пластовыми давлениями, т.е. с наличием зон поглощения эксплуатационных скважин Мангыстау представляют одним из актуальных нерешенных вопросов на сегодняшний день [1-4]. При температурах забоя скважины 150-70°C проницаемость портландцементного камня резко возрастает от $25,5 \times 10^{-3}$ до $32,3 \times 10^{-3}$ мкм², при водоцементном отношении 0,6-0,7 проницаемость возрастает до $(60-80) \times 10^{-3}$ мкм². Наиболее эффективным средством для снижения проницаемости портландцементного камня при высоких температурах и пластовых давлениях является ввод стеклянной пульпы, предложенная профессором Актауского государственного университета Мурзабековым Т.К. [2,4]. Известно, что по данным американского исследователя А.Д.Лемонза при вводе в буровой раствор стеклянных гранул размером 0,4-0,8 мм и более образуется как бы «шарикоподшипниковый» контакт буровой колонны со стенкой, что довольно заметно снижает силу трения указанной пары и усилия крутящего момента на роторе, оказывает кольматирующую способность, плотно блокируя входные каналы пласта в момент вскрытия продуктивных пластов [1], а также факты применения цементно-лессовых смесей в подобных случаях [2]. Стеклянная пульпа занимая до 30 процентов объема в тампонажном растворе сокращает общее водоцементное отношение, снижает общий эффект контракции материала за счет уменьшения содержания вяжущего в единице объема, при твердении цементного камня повышает реакционную устойчивость к соляно-кислотным обработкам, предотвращает седиментационное расслоение цементного раствора и обеспечивает надежную герметичность заколонной крепи, препятствует агрессии высокоминерализованных пластовых вод, воздействию забойной высокой температуры. Благодаря к пониженному коэффициенту трения (скольжения) стекла по металлу, чем кварцевый песок, поток тампонажного раствора легко закачивается по внутри обсадной колонны и по лабиринтам кольцевого пространства, твердость стекла больше чем у кварцевого песка, естественно это положительно влияет на прочность цементного камня, сплошность стекла обеспечивает блокировку трещин, зазоров в пласте и это поможет свести до минимума процесс поглощения тампонажного раствора.

Стеклянная пульпа измельченная до размеров товарного портландцемента, химически инертна, устойчива к температуре, не токсична. Плотность-2500-2520 кг/м³, твердость-5,5 по шкале Мооса.

Опыт крепления эксплуатационных колонн скважин на месторождений Жетыбай показывает, что практически на всех скважинах, где не выдерживается соблюдение и удержание плотности бурового раствора и в процессе бурения согласно ГТН равной $\rho=1,16-1,18\text{г/см}^3$ отмечается частичное поглощение цементного раствора при цементирований второй ступени скважин глубиной 2170метров.

Так, например, по данным АКЦ на скважинах №№1390, 2981, 2970 высота подъема цемента во второй ступени составляет-130, 154, 228 метров соответственно, против к 1200 м, что относится к весьма низким результатам.

Материалом для стеклянной пульпы не дефицитны могут служить бытовые битые отходы стеклотар, которыми засорены улицы городов, не кондиционные продукции стеклозаводов, которые обычно ввозятся на свалки. Технология производства изготовления в промышленном масштабе стеклянной пульпы, измельченной до размеров тампонажного цемента и с полостью заполнения воздухом или азотом стеклянных микросфер (ПСМС), особых трудностей и проблем не составляют. За счет заполненное внутри воздухом или азотом микросфер из стекол достигается регулирование- снижение плотности цементного раствора.

Масштабные исследования [3] по разработке и оптимизации составов, изучению структуры и свойств тампонажных растворов, камня с полыми стеклянными микросферами (ПСМС) приведены в табл.1. Микросферы увеличивают водоудерживающую способность раствора и сроки его схватывания, что улучшает прокачиваемость раствора и герметизацию скважины; служат центрами кристаллизации, ускоряющими структурообразование. Микросферы вступают в химическое взаимодействие с продуктами гидролиза и гидратации ПЦТ. Замещение ионов натрия в стенке ионами кальция из цементного раствора упрочняет оболочку микросфер, улучшает сцепление с цементной матрицей и стальной обсадной трубой, обеспечивает поддержание $\text{pH}>11,8$, что предупреждает коррозию стальных обсадных труб. Сцепление тампонажного материала со сталью трубы при расходе микросфер 30 % и более превышает сцепление для раствора на чистом ПЦТ (табл. 2). Это увеличивает герметичность цементного кольца в затрубном пространстве и надежность конструкции скважины в целом. Были рассмотрены структура и свойства сверхлегкого тампонажного камня после пулевой перфорации (см. табл.1), а также прочность его сцепления с горной породой и обсадной трубой (см. табл. 2,3) разрушились. Тампонажные камни с полыми стеклянными микросферами имели идеальные отверстия без трещин и отколов. Прочность камня на изгиб и сжатие при этом увеличиваются.

Таблица 1 - Структура и свойства сверхлегкого тампонажного камня после пулевой перфорации

Массовое содержание АПСМС, %	Плотность раствора, кг/см ³	Прочность при изгибе, МПа	Параметры деформирования и разрушения, Дж/м ²		
			G_i	G_L	G_c
10	1,4	3,6/1,8	66/33	140/70	206/103
30	0,89	2,7/1,35	36,8/18,4	120/60	156,8/78,4
50	0,77	1,4/0,7	27/14	74/37	91/51

Примечание. 1. Тампонажный материал с апретированными полыми стеклянными микросферами (АПСМС) и суперпластификатором С-3 через 2 сут после перфорации. 2. В числителе приведены данные для материала, сформированного при температуре 75⁰С, в знаменателе –22⁰С. 3. G_i – трещиностойкость (удельное сопротивление образованию локальной трещины), G_L – удельное сопротивление росту локальной трещины, G_c – удельные энергозатраты на деформирование и полное разрушение.

Таблица 2 - Прочность его сцепления с горной породой и обсадной трубой

Массовое содержание ПСМС (АПСМС), %	Наличие **С-3	В/Ц	Сцепление со сталью колонны, МПа
30	-	1,34	2,69/1,35
50	-	1,75	Расслоение
(30)	-	1,1	2,0/1,02
(50)	-	1,5	2,5/1,25
30	+	1,0	2,1/1,06
50	+	1,4	2,73/1,37
(30)	+	0,9	1,9/0,95
(50)	+	1,2	2,39/1,7
-	+	0,356	2,75/1,38
-	-	0,5	2,37/1,18

Примечание. В/Ц – водоцементное отношение. В числителе приведены данные для температуры твердения 75⁰С, в знаменателе –22⁰С., суперпластификатор ** С-3.

Поэтому призабойную зону нефтяной или газовой скважины следует цементировать сверхлегкими цементными тампонажными растворами с ПСМС. Улучшение прочностных и деформационных характеристик значительно повышает технико-эксплуатационную надежность системы обсадная труба - цементное кольцо - горная порода (см. табл. 2 и 3). Выяснено, что с увеличением суммарного расхода микросфер прочность сцепления тампонажного камня со стальной обсадной трубой возрастает за счет пуццоланической, структурирующей и поверхностной активности микросфер. Наличие АПСМС снижает В/Ц раствора и повышает соответственно его прочность, образуется высокопрочный тоберморит.

В процессе эксплуатации тампонажный камень с ПСМС и АПСМС имеет стабильные свойства. Более того, установлено, что увеличиваются прочность при изгибе и сжатии, прочность сцепления с обсадной трубой и горными породами. Такие процессы повышают сопротивление образованию и росту трещин, в том числе и после перфорации. Данный материал обладает корро-

зионной стойкостью, что выражается в сохранности стеклянных микросфер в щелочной среде твердеющего цемента.

Таблица 3 - Сцепление с горной породой в зависимости от состава тампонажного материала

Состав тампонажного материала	Сцепление с горной породой, МПа					
	Песчаник	Известняк плотный	Алевролит с глинистым цементом	Доломит	Алевролит с карбонатным цементом	Известняк к глинисты й
ПЦТ-100 %, ПСМС-10% + С-3	2,2/1,1	3/1,5	0,75/0,37	1,5/0,74	1/0,5	0,5/0,3
ПЦТ-100 %, ПСМС-30 % + С-3	1,8/0,9	2,5/1,3	0,4/0,2	1,2/0,6	0,8/0,4	0,4/0,2
ПЦТ-100 %, ПСМС-50 % + С-3	1,6/0,8	2/1	0,2/0,1	0,75/0,42	0,5/0,25	0,3/0,15
ПЦТ-100 %, АПСМС-10 % + С-3	2,3/1,15	3,2/1,6	1/0,5	1,7/0,85	1,2/0,6	0,7/0,38
ПЦТ-100 %, АПСМС-30 % + С-3	1,9/0,96	2,7/1,38	0,5/0,25	1,35/0,7	1/0,5	0,6/0,3
ПЦТ-100 %, АПСМС-50 % + С-3	1,7/0,76	2,2/1,15	0,4/0,2	0,85/0,45	0,6/0,3	0,4/0,2

Примечание. 1. В числителе приведены данные для температуры твердения $(75\pm 2)^\circ\text{C}$, в знаменателе – $(22\pm 2)^\circ\text{C}$.

Продолжающаяся гидратация портландцемента в межтрубном пространстве, а также процессы влагопереноса и гидратации в затрубном пространстве значительно снижают влажность камня и его теплопроводность. Все это существенно увеличивает термическое сопротивление цементного кольца и конструкции скважины в целом. Формируется система обсадная труба - цементное кольцо - горная порода с однородными структурой и свойствами. Направление теплового потока и теплопроводности, улучшение свойств, стабильность толщины слоя воды вокруг микросфер, однородность структуры и свойств раствора и камня, количественная оценка трещиностойкости свидетельствуют об эксплуатационной надежности. Надежность подтверждается также совпадением теоретических и фактических показателей: коэффициенты вариации свойств сверхлегкого тампонажного материала по прочности - от 3,4 до 4,5%, средней плотности - до 1 %, растекаемости - до 5%.

В работе [3] определена пластическая прочность и напряжение сдвига для тампонажных растворов с ПСМС. Пластическая прочность растворов с ПСМС составляет $(4-16) \cdot 10^{-3}$ МПа при средней плотности раствора от 0,81 до 1,37 г/см³. Использование таких растворов обеспечивает надежную ликвидацию поглощений бурового раствора и создает плотное цементное кольцо в затрубном пространстве при низкой несущей способности пластов, увеличивает

герметичность скважины. Высокие реологические свойства обеспечивают полые стеклянные микросферы, которые обладают поверхностной активностью, закупоривающей (герметизирующей) и одновременно скользящей способностью в цементном растворе за счет своих размеров.

Таблица 4-Реологические показатели тампонажного раствора с увеличением количества микросфер

Состав тампонажного материала	Время прокачки, ч-мин	Время схватывания, ч-мин		Пластическая прочность, 10^{-3} , МПа		Напряжение сдвига, МПа	
		начало	конец	в конце прокачки	в начале схватывания	в конце прокачки	в начале схватывания
100 % ПЦТ	2-05	3-00	3-35	-	-	-	-
100 % ПЦТ + **С	3-15	4-45	5-00	-	-	-	-
100 % ПЦТ 10% ПСМС + **С	3-20	5-00	5-35	16	80	13	72
100 % ПЦТ 30% ПСМС + **С	4-00	6-00	6-40	8	14	4	14
100 % ПЦТ 50% ПСМС + **С	6-30	7-20	7-50	4	15	1,5	4

Примечание. Температура (22 ± 2) °С; давление атмосферное., +**С- суперпластификатор.

Закупоривающая и скользящая способности обусловлены хорошей адгезией геля кремниевой кислоты между стеклом стенки микросферы и цементным тестом и природным сходством последних. Это приводит к образованию высокопрочных низкоосновных гидросиликатов кальция. Установлено, что реологические показатели тампонажного раствора с увеличением количества микросфер снижаются при их определении в конце прокачки (табл.4). Однако пластическая прочность в начале схватывания у раствора с 30 и 50% ПСМС одинаковая, что связано с ролью микросфер в процессе гидратации. При расходе микросфер 50% массы ПЦТ кривые пластической прочности и напряжения сдвига имеют самый крутой угол наклона. Это свидетельствует о том, что тампонажный раствор резко набирает прочность после его поднятия на проектную глубину. Из табл.4 видно, что добавление суперпластификатора и повышение расхода микросфер увеличивают сроки схватывания и прокачиваемость. Анализ кривых пластической прочности и напряжения сдвига тампонажных растворов с ПСМС позволяет отметить, что все эти составы длительное время сохраняют низкие реологические параметры. Это позволяет их прокачивать. Затем происходит довольно резкое увеличение реологических показателей. Следовательно, облегченный тампонажный раствор в период закачивания обладает высокой подвижностью, а в заключительной стадии интенсивно схватывается и набирает прочность.

Г.А.Белоусовым было установлено, что для ликвидации зоны поглощения тампонажный раствор в момент поступления в нее должен иметь пластическую прочность не менее $4 \cdot 10^{-3}$ МПа. Кроме того, смесь с ПСМС обладает прокачиваемостью до пластической прочности $10 \cdot 10^3$ МПа и более. Поэтому

тампонажные растворы с ПСМС являются эффективными при ликвидации поглощений бурового раствора при проводке скважин за счет закупоривающего эффекта. Все разработанные тампонажные составы ПСМС отвечают ограничениям, но времени, а также по пластической прочности. Свойства тампонажного камня приведены в табл. 5.

Таблица 5- Свойства тампонажного камня с ПСМС, суперпластификатором

Состав тампонажного материала	В/Ц	Средняя плотность камня, г/см		Влажность камня, %		Прочность, МПа		Теплопроводность цементного камня*, Вт/(м·°С)
		влажно го	высушенно го	по мас се	по объе му	на изгиб	на сжатие	
100 % ПЦТ + ** С	0,36	1,88	1,731	8,4	14,8	7,15/3,6	25/12,6	0,74/0,73
100 % ПЦТ+ 10% ПСМС + ** С	0,51	1,32	1,16	13,4	15,5	3,7/1,83	14,3/7,6	0,45/0,43
100 % ПЦТ+ 30% ПСМС + ** С	1,02	0,83	0,661	25,6	16,9	1,8/1,1	4,83/2,5	0,22/0,204
100 % ПЦТ+50% ПСМС + ** С	1,51	0,79	0,526	44,4	23,4	1,2/0,8	2,8/1,6	0,182/0,178

*В числителе – данные для температуры твердения 75⁰С, в знаменателе – для температуры 22⁰С., ** С- суперпластификатор.

Теплопроводность при средней плотности раствора менее 1г/см³ при снижении В/Ц также уменьшается. Это связано с тем, что истинная плотность ПСМС в 4 раза меньше плотности воды. Теплозащитные свойства разработанного материала значительно возрастают при уменьшении его влажности. Коэффициент тепло водности воды 0,58-0,6 Вт/(м·°С), ПСМС в насыпном состоянии микросферы - соответственно 0,06 и 0,027 Вт/(м · °С). При средней плотности раствора 0,81 г/см³ прочность при изгибе) цементного камня составляет 1,2 МПа через 2 сут (температура твердения (20+2) °С). Этот показатель в 1,2 раза превосходит требования стандарта для облегченных тампонажных: для камней из растворов средней плотностью более 1,3см³.

Оптимальным с точки зрения защиты ММП от расщепления был при состав с 50% ПСМС и 1% суперпластификатора массы ПЦТ.

Изготовление дешевых и доступных в промышленном масштабе стеклянных пульп и полых стеклянных микросфер для использование их в смеси с тампонажным раствором при креплении обсадных колонн нефтяных и газовых скважин , изоляции зон поглощения и при процессе установок цементных мостов при ремонтно-изоляционных работах позволяет добиться качественного выполнения этих работ[4].

Литература:

1. Алекперов В.Т. Результаты испытаний стеклогранул в качестве добавок к буровому раствору с целью предупреждения прихватов. ЭИ серия: Техника и технология бурения скважин /Отечественный опыт/ М., ВНИИОУиЭНГП, №10-1988,-с,14-17.
2. Мурзабеков Т.К., Геймаш Г.И., Мурзабеков А.Т., Мурзабеков Е.Т. Методика крепления скважин с высокой забойной температурой и давлением. Актау, МИ «Болашак», Ж-л: «Наука и жизнь» №1-2007.,с.47-50.
3. Орешкин Д.В. Эффективные облепленные тампонажные растворы для условий аномально низких пластовых давлений и многолетнемерзлых пород. НТПЖ «Нефтяное хозяйство», 2008. С.50-53.
4. Мурзабеков Т.К., Мурзабеков А.Т., Мурзабеков Е.Т. Стеклопудра и микросферы для крепления и ликвидации поглощений бурового раствора глубоких скважин. Научно-технологическое развитие нефтегазового комплекса. Алматы- Актау, АктГУ, МОиН РК., НИА РК, АИНГ/ Доклад в VI-Международных научных Надировских чтений, 29-30.05. 2008.-с.123-125./ *./Авторы удостоены Почетной грамотой /*