

DOI 10.25689/NP.2018.3.127-141

УДК 622.245.422

ДИСПЕРСНОЕ АРМИРОВАНИЕ ОБЛЕГЧЕННЫХ ЦЕМЕНТОВ

Бекбаев А.А., Агзамов Ф.А., Комлева С.Ф.

Уфимский государственный нефтяной технический университет

FIBER-REINFORCED LIGHTWEIGHT CEMENT

Bekbaev A.A., Agzamov F.A., Komleva S.F.

Ufa State Petroleum Technological University

E-mail: arstan.bekbaev@gmail.com

Аннотация. Несмотря на широкое применение при строительстве скважин облегченные тампонажные материалы не могут обеспечить необходимое качество крепи скважин. Во многом это связано, с тем, что наиболее распространенным способом облегчения цементных растворов является повышение начального водосодержания растворов (водоцементного отношения), приводящее к ухудшению основных свойств раствора и получаемого цементного камня. Применение расширяющихся цемента, содержащих добавки, увеличивающиеся в объеме при взаимодействии с водой и деформирующие цементную матрицу, повышает сцепление цементного камня с ограничивающими поверхностями, но в облегченных тампонажных растворах эффективность работы расширяющейся добавки существенно снижается. Ввод армирующих добавок в облегченный тампонажный раствор, повышает эффективность расширяющих добавок, повышает удароустойчивость получаемого камня и улучшает герметичность затрубного пространства.

Исследования проводились на современных приборах, соответствующих стандартам API (American Petroleum Institute), ISO 10426 и ГОСТ 1581-96.

В качестве облегчающих добавок применялись стеклянные микросферы (СМС), диаметром 30 мкм, алюмосиликатные полые микросферы (АСПМ) диаметром 50-300 мкм, пеностекло (ПС) с размером частиц 200-500 мкм. В качестве расширяющей добавки (РД) использована добавка ДР-50, работающая на основе оксидного расширения.

Увеличение В/Ц всегда снижает коэффициент линейного расширения (КЛР).

Фибра любого типа оказывает усиливающее влияние на расширение цементных растворов, наилучшие результаты получены при добавлении полипропиленового волокна. Применение пеностекла показало лучшие значения КЛР по сравнению с другими облегчающими добавками.

Наилучшие результаты при оценке удароустойчивости получены с добавкой базальтовой фибры.

Использование различных армирующих добавок к тампонажному раствору оказывает влияние на устойчивость цементного камня к динамическим нагрузкам. При этом добавка в количестве до 0,5 % любого типа волокна не оказывает отрицательного влияния на подвижность цементных растворов.

Ключевые слова: тампонажный раствор, фиброволокно, базальтовая фибра, микросферы, расширение, коэффициент линейного расширения, строительство скважин

Abstract. Despite the wide application in the well construction, lightweight materials cannot provide the required quality of the well cementing. It happens due to the fact that the most common method of obtaining lightweight cement is to increase the initial water content of solutions (water-cement ratio – W/C), leading to deterioration of the basic properties of the cement slurry and the resulting cement stone. The use of expanding cements containing additives, which are increased in volume when interacting with water, increases the adhesion of the cement stone to the confining surfaces, but

in lightweight cement the efficiency of the expanding additive is significantly reduced. The addition of the reinforcing additives into a lightweight cement increases the effectiveness of expanding additives, improves the impact resistance of the resulting stone and improves the sealing of the annular space.

The research was carried out on modern instruments, according to the API standards (American Petroleum Institute), ISO 10426 and GOST 1581-96.

As lightweight additives were applied: glass microspheres - 30 μm in diameter, alumina-silicate hollow microspheres with a diameter of 50-300 μm , foam glass with a particle size of 200-500 μm . As an expanding additive - DR-50, based on oxide expansion.

Increasing the W/C always lowers the coefficient of linear expansion (LEC).

Fiber of any type has a reinforcing effect on the expansion of the cement stone, the best results were obtained with the addition of polypropylene fiber. The use of foam glass showed the best values of LEC compared to other lightweight additives.

The best results in assessing impact resistance were obtained with the addition of basalt fiber.

The use of various reinforcing additives to a cement has an impact on the stability of the cement stone to dynamic loads. Moreover, the addition of any type of fiber in an amount of up to 0.5% does not adversely affect the mobility of cement slurries.

Key words: *cement slurry, fiber, basalt fiber, microsphere, expansion, linear expansion coefficient, well construction.*

Основной целью цементирования обсадных колонн при строительстве нефтяных и газовых скважин является получение качественной и долговечной изоляции между породой, цементным камнем и колонной [1]. Однако многие месторождения нефти и газа России и зарубежных стран имеют низкие пластовые давления, и требуют

применения облегченных тампонажных растворов для цементирования обсадных колонн.

При цементировании глубоких и сверхглубоких скважин в одну ступень, а также трещиноватых пород с низким градиентом гидроразрыва для исключения поглощения, снижение давления на продуктивные пласты, обеспечивается применением тампонажных растворов пониженной плотности.

Облегченные тампонажные цементы [2-7], получают путём увеличения водоцементного отношения и применением различных добавок, раньше это были глинопорошки, диатомит, трепел, сейчас всё чаще: алюмосиликатные микросферы, пеностекло, стеклянные микросферы и др. [8,9]. К сожалению, все облегчающие добавки имеют большую удельную поверхность, и для сохранения необходимой подвижности тампонажных растворов, приходится увеличивать водоцементное отношение (В/Ц) цементно-водной суспензии. При этом практически всегда деградируют прочность и проницаемость получаемого камня и снижается герметичность крепи скважины, проявляющаяся в снижении прочности контакта цементного камня с обсадной колонной и горной породой [5,8,9]. Крепь низкого качества неспособна выдержать работы, связанные с созданием больших динамических нагрузок на цементный камень (освоение, гидроразрыв пласта, углубление скважины и др.), следствием которых является разрушение слабого цементного кольца [3,5,7,10,11].

Одной из причин нарушения герметичности крепи является усадка цементного камня, особенно сильно проявляющаяся при твердении цементного раствора в межколонном пространстве. Причина усадки лежит в физико-химических процессах гидратации вяжущих сопровождающихся контракцией [8, 9]. В общем случае, контракция это сокращение физического (абсолютного) объема систем цемент – вода в результате

образования продуктов гидратации, обладающих меньшим физическим объемом, чем сумма физических объемов исходных веществ. Согласно [9], для большинства обычных портландцементов можно с достаточной степенью точности принимать расчетную величину контракции, равную 7-9 мл на 100 г цемента.

В процессе стяжения объема (контракции) в цементном камне образуются дополнительные поры, и что, более опасно для крепи скважины, ухудшается герметичность контактных зон цементного камня.

Уже более 50 лет одним из общепринятых методов предотвращения отрицательного изменения объема цементного камня является применение расширяющих добавок [9,12-14].

Расширение цементного камня основано на том, что растущие кристаллы – продукты гидратации расширяющей добавки (оксида магния, оксида кальция и сульфоалюминатных добавок), создавая давление на образовавшийся структурный каркас продуктов гидратации цемента, раздвигают их, увеличивая внешние размеры цементного камня. В этой связи, одним из важнейших требований к расширяющим добавкам, является величина расширения и согласование кинетики гидратации расширяющей добавки и базового вяжущего (цемента) [8,9,13-16].

При этом следует отметить распространенное заблуждение даже среди специалистов, утверждающих, что применение расширяющих добавок снижает величину контракции. Это абсолютно неверно, поскольку контракция это уменьшение суммарного объема продуктов твердения (цемент + вода), а расширяющие добавки раздвигают структурный каркас (продукты твердения цемента). Проведенные нами исследования показали, что расширяющиеся цементы обладают такой же, а иногда, и большей контракцией по сравнению с бездобавочными цементами.

Проблема получения расширяющихся облегченных цементных растворов состоит именно в том, что повышенное В/Ц, изначально

предопределяет большее расстояние между продуктами твердения цементного камня. В этом случае размеры кристаллизующейся расширяющей добавки, не позволяют создать достаточное давление на продукты твердения цемента, необходимое для расширения [10,11].

Добавление в цементы фибры любых видов улучшает способность цементного камня выдерживать динамические нагрузки в скважине [17-22], другими словами волокна улучшают ударную выносливость цементного камня.

Мы полагаем, что фиброармирование облегченных расширяющихся цементов, кроме повышения удароустойчивости цементного камня, позволит повысить величину их расширения. Рабочая гипотеза состоит в том что, армирующие добавки будут создавать в твердеющем цементном камне самостоятельный каркас, который будет воспринимать давление расширяющей добавки, даже в растворах с большим В/Ц и передавать это давление его на каркас цементного камня.

Комплекс экспериментальных исследований проводился на современных приборах, соответствующих стандартам API (American Petroleum Institute), ISO 10426 и ГОСТ 1581-96.

Для определения коэффициента линейного расширения (КЛР) был использован прибор с кольцевой формой расширения [23], а величина КЛР рассчитывалась как среднее значение по результатам измерений на трех образцах – близнецах.

Удароустойчивость цементного камня определялась на вертикальном динамическом копре и, оценивалась по удельной ударной вязкости разрушения, Дж/см³, рассчитываемой путем деления суммарной потенциальной энергии, затраченной на разрушение, на объем испытуемого образца-кубика с размером грани 70 мм.

Объектами исследований явились портландцемента марки ПЦТ-I-G, стеклянные микросферы (СМС), диаметром 30 мкм, алюмосиликатные

полые микросферы (АСПМ) диаметром 50-300 мкм, пеностекло (ПС) с размером частиц 200-500 мкм. В качестве расширяющей добавки (РД) использована добавка ДР-50, работающая на основе оксидного расширения.

Испытаниям подверглись облегченные растворы, содержащие портландцемент, 10% расширяющей добавки, 7% одной из облегчающих добавок, а также по 0,1% пеногасителя и понизителя водоотдачи и 0,15% стабилизатора.

Для армирования тампонажных материалов использовались высокомодульные волокна на основе базальта и асбеста и низкомодульное - полипропиленовое волокно [24-26].

Влияние водоцементного отношения растворов на величину и кинетику расширения цементного камня при температурах 20 и 50 °С, приведенные в табл. 1, показали, что при уменьшении плотности цементного раствора, за счет увеличения водоцементного отношения, коэффициент линейного расширения (КЛР) снижается. Это объясняется нами увеличением расстояния между кристаллогидратами тампонажного раствора.

Таблица 1

Влияние водоцементного отношения раствора (В/Ц) на коэффициент линейного расширения цементного камня

Массовая доля в сухой смеси, %	КЛР, %, при твердении цементов с различным В/Ц				
	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
Температура 20 °С					
ПЦТ + РД 10% + АСПМ 7%	1,47	1,04	0,95	0,83	0,70
ПЦТ + РД 10% + СМС 7%	1,35	1,16	0,91	0,78	0,63
ПЦТ + РД 10% + СМС 7%	1,54	1,14	0,74	0,61	0,52
Температура 50 °С					
ПЦТ + РД 10% + АСПМ 7%	0,82	0,60	0,48	0,37	0,36
ПЦТ + РД 10% + ПС 7%	0,83	0,65	0,43	0,32	0,30
ПЦТ + РД 10% + СМС 7%	0,79	0,52	0,48	0,40	0,37

Фиброармирование предупреждает усадку цементного камня и может даже обеспечивать его расширение, что подтверждается результатами, приведенными в табл. 2, из которой видно, что при концентрации фибры любого типа до 0,5%, КЛР возрастает. Объяснение данного факта может заключаться в том, что при твердении цементов протекает два конкурирующих процесса. Первый – усадка, вызываемая контракцией, второй – расширение, связанное с увеличением объема образовавшегося цементного геля по сравнению с объемом цемента. Суммарный результат этих процессов, разнонаправленно влияющих на изменение объема твердеющей системы, и будет определять усадку или расширение при твердении цементов. Поскольку добавка фибры снижает усадку, то даже при отсутствии расширяющих добавок в цементе, можно получить некоторое увеличение объема цементного камня при твердении [17].

Таблица 2

Влияния армирования бездобавочного цемента на коэффициент линейного расширения

Армирующая добавка	КЛР, %, при твердении цементов с различной концентрацией волокон				
	0	0,25	0,5	0,75	1,0
Базальтовая фибра 3 мм	0,12	0,102	0,118	0,084	0,065
Базальтовая фибра 6 мм	0,12	0,113	0,138	0,085	0,092
Полипропиленовое волокно 6 мм	0,12	0,155	0,163	0,106	0,05
Асбест 6 сорт	0,12	0,099	0,115	0,106	0,092
Гранулированное волокно	0,12	0,127	0,134	0,085	0,074

При использовании расширяющих добавок в фиброармированных цементах величина расширения должна быть выше за счет того, что кристаллизационное давление расширяющей добавки будет передаваться на каркас, образованный фиброй.

Повышение концентрации фиброволокон выше 0,5 % иногда даже уменьшает КЛР. Возможно, концентрация волокон более 0,5 % приводит к

образованию комков из фибры, и препятствует ее равномерному распределению по объему раствора.

Оценка роли фибры в облегченных цементных растворах проводилась с образцами, показавшими наилучшие результаты с бездобавочными цементами (Табл. 3).

Таблица 3

Влияние армирующих добавок на объемные изменения растворов из облегченных цементов (В/Ц = 0,7)

№ п/п	Испытуемые составы цементов	Т, °С	КЛР, %, через	
			6 часов	24 часа
1	№1 ПЦТ + РД 10% + АСПМ 7%	22	0,05	1,04
		50	0,44	0,60
2	№2 ПЦТ + РД 10% + ПС 7%	22	0,08	1,16
		50	0,38	0,65
3	№3 ПЦТ + РД 10% + СМС 7%	22	0,07	1,14
		50	0,42	0,52
4	№1+Базальтовое волокно 6 мм, 0,5%	22	0,08	1,60
		50	0,54	0,69
5	№1+Полипропиленовое волокно, 0,5%	22	0,13	1,75
		50	0,66	0,72
6	№1+Гранулированное волокно, 0,5%	22	0,11	1,55
		50	0,65	0,73
7	№2+Базальтовое волокно 6 мм, 0,5%	22	0,12	1,63
		50	0,35	0,44
8	№2+Полипропиленовое волокно, 0,5%	22	0,15	1,91
		50	0,85	0,95
9	№2+Гранулированное волокно, 0,5%	22	0,14	1,72
		50	0,43	0,67
10	№3+Базальтовое волокно 6 мм, 0,5%	22	0,09	1,51
		50	0,47	0,51
11	№3+Полипропиленовое волокно, 0,5%	22	0,04	1,85
		50	0,67	0,83
12	№3+Гранулированное волокно, 0,5%	22	0,14	1,54
		50	0,45	0,62

Результаты, представленные в табл. 3, показали, что волокна оказывают реальное влияние на расширение цементных растворов при твердении, наилучшие результаты получены при добавлении

полипропиленового волокна независимо типа облегчающей добавки. Применение пеностекла показало лучшие значения КЛР по сравнению с другими облегчающими добавками.

Анализ кинетики расширения показывает, что растворы исследуемых тампонажных составов имеют основное расширение в период 6 - 24 часа при температуре 22 °С, а при температуре 50 °С основная часть расширения происходит до 6 часов. Это необходимо учитывать при выборе расширяющей добавки. В проведенных исследованиях использована расширяющая добавка на основе СаО, при температуре более 60-70 °С целесообразно применять расширяющие добавки на основе MgO [8, 9].

Результаты оценки удароустойчивости фиброармированных цементов с использованием различных видов волокон, приведены в табл. 4 и рис. 1.

Ввод волокон положительно сказывается на ударной выносливости цементного камня: наилучшие результаты получены с добавкой базальтовой фибры.

Таблица 4

Удароустойчивость тампонажного камня

№ п/п	Тампонажный материал	Свойства цементного раствора			Удельная ударная вязкость разрушения, Дж/см ³		
		В/Ц	ρ, кг/м ³	2R, см	2 сут	7 сут	14 сут
1	Бездобавочный ПЦ	0,5	1820	22	0,061	0,094	0,108
2	Бездобавочный ПЦ	0,6	1730	22	0,049	0,082	0,94
3	Бездобавочный ПЦ	0,7	1650	24	0,035	0,044	0,051
4	ПЦТ + РД 10% + АСПМ 7%	0,7	1510	24	0,038	0,050	0,062
5	№4+Базальтовое 6 мм, 0,5%	0,7	1500	22	0,125	0,161	0,177
6	№4+Полипропиленовое, 0,5%	0,7	1510	24	0,111	0,114	0,125
7	№4+Гранулированное, 0,5%	0,7	1500	23	0,087	0,103	0,114

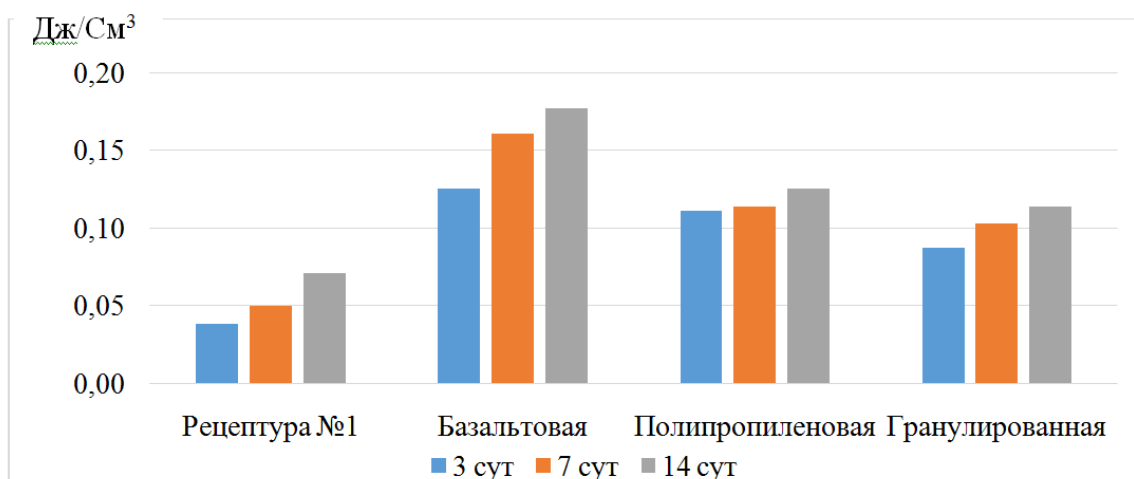


Рис. 1. Влияние различных видов волокон на удельную ударную вязкость разрушения цементного камня (рецептура 1 – согласно табл. 3)

Исследование взаимодействия фибры с цементной матрицей, проведенное с помощью электронного микроскопа, показало, что базальтовая фибра имеет высокую адгезию с цементной матрицей (Рис. 2) и показывает плотную область контакта между фиброй и матрицей, без зазоров и каких-либо трещин. Другие виды фибры, в частности, полиамидная (Рис. 3), характеризуются низкой адгезией и легко вырываются из матрицы [17].

При добавлении в тампонажный раствор базальтовой фибры 6 мм ударная выносливость повысилась в 2,9 раз. Полипропиленовое волокно показывает неплохие результаты, значение удельной ударной выносливости увеличилось в 2 раза.

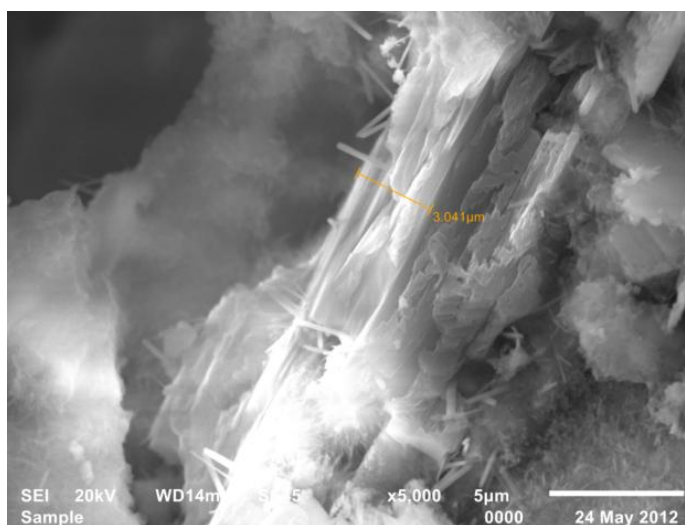


Рис. 2. Образец цементного камня с базальтовой фиброй (при увеличении x5000)

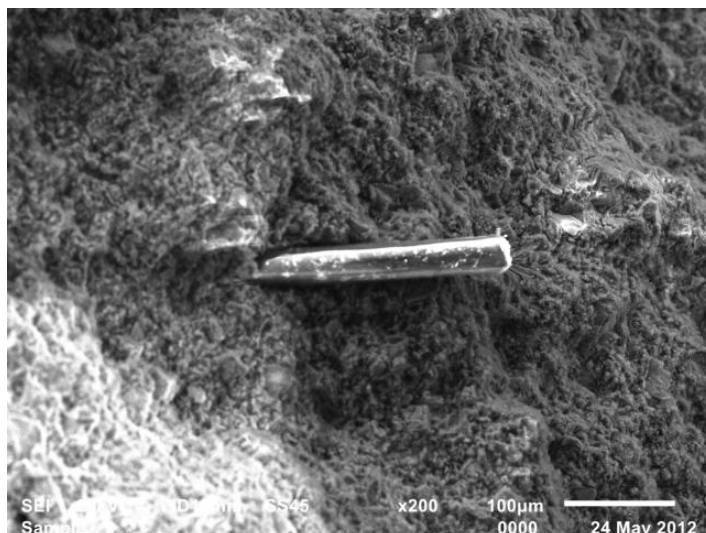


Рис. 3 - Образец цементного камня с полиамидной фиброй (при увеличении $\times 200$)

Проведенные исследования показали, что использование различных армирующих добавок к тампонажному раствору будет оказывать влияние на устойчивость цементного камня к динамическим нагрузкам. При этом добавка любого типа волокна в количестве до 0,5 % не оказывает отрицательного влияния на подвижность цементных растворов.

Выводы

1. Несмотря на недостатки облегченные тампонажные растворы остаются востребованными при креплении скважин, являясь основным материалом при цементировании пластов с низким градиентом гидроразрыва.
2. Обоснованы принципы получения расширяющегося облегченного тампонажного цемента, заключающиеся в направленном модифицировании тампонажного раствора путем введения в состав цемента легких наполнителей и расширяющегося компонента на оксидной основе, эффективность которого увеличивается в сочетании с армирующими добавками
3. Показано, что кристаллизационное давление расширяющей добавки и коэффициент линейного расширения в облегченных цементах,

получаемых за счет увеличения водоцементного отношения, снижается за счет увеличения расстояния между кристаллогидратами цементной матрицы.

4. Фиброармирование облегченных тампонажных цемента всегда повышает удароустойчивость цементного камня, в частности, добавка 0,5 % базальтовой фибры длиной 6 мм в 2,9 раз повысила удельную ударную вязкость разрушения, при применении полипропиленового волокна повышение составило 2 раза.

Список литературы

1. Nelson Erick B., Guillot Dominique. Well cementing. Second Edition. Schlumberger, 2006. – 799 p.
2. Malyshev A., Doronina T., Popov P., Ryabchikov A., Shulga A. Optimized Particles Size Distribution Lightweight Cement at Low Temperatures: Case Study from Eastern Siberia, Russia. – SPE Arctic and Extreme Environments Conference held in Moscow. – 2013. - SPE 166849
3. Курбанов Я.М., Каримов Н.Х., Хафизова Э.Н. Совершенствование составов и технологических свойств облегченных тампонажных растворов. – Известия вузов. Нефть и газ. – 2002. - №6. – С. 18-25.
4. Папков С.П. Новые технологии получения облегченных промывочных жидкостей и облегченных тампонажных растворов. Стекланные микросферы 3М – новейшие разработки. – Нефть. Газ. Новации. – 2016. - №3. С. 58-61.
5. Курбанов Я.М. Облегченные тампонажные растворы. - Газовая промышленность. – 1998, №3. – С.42-44
6. Лукманов Р.Р., Бакиров Д.Л., Бурдыга В.А. Предупреждение поглощений тампонажных растворов и крепление скважин на месторождениях ООО «ЛУКойл-Западная Сибирь». - Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2003. - №11. – С. 25-30.
7. Brandl Andreas, Valentino Vincentius, Fauchille Guillaume, Syed Haidher, Dean Greg, Stanley Rick. Improved Zonal Isolation in High-Temperature Offshore Wells with an Advanced Lightweight Cement Design - Gulf of Thailand Case Histories – Offshore Technology Conference Asia, Kuala Lumpur, 2014
8. Агзамов Ф. А., Измухамбетов Б. С., Токунова Э. Ф. Химия тампонажных и буровых растворов. С-Пб. : Недра, 2011. 268 с.
9. Данюшевский В.С., Алиев Р.М., Толстых И.Ф. Справочное руководство по тампонажным материалам. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1987. – 373 с.
10. Агзамов Ф.А., Бекбаев А.А. Исследование влияния армирующих добавок на расширение в облегченных цементах. – Нефтегазовое дело. – 2016. – Т.14, №1. – С. 11-19.

11. Бекбаев А.А., Агзамов Ф.А., Хафизов А.Р., Лягов А.В. Исследование армированных облепченных тампонажных материалов. – Нанотехнологии в строительстве: научный интернет-журнал. – 2017. – Т. 9, №4. – С. 131-148.
12. Кузнецова Т.В., Кривобородов Ю.Р. Состав и применение специальных цементов. Технологии бетонов №2, 2014, С. 8-11.
13. Агзамов Ф.А., Бабков В.В., Каримов И.Н.О необходимой величине расширении тампонажных материалов. Территория Нефтегаз № 8, 2011, с.14-15
14. Ghofrani Reza and Heiko Plack. CaO- and/or MgO-Swelling Cements: A Key for Providing a Better Annular Sealing? - SPE/IADC Drilling Conference, Amsterdam, 1993.
15. Baumgarte, C., Thiercelin, M., SPE, & Klaus, D., Schlumberger Dowell Case Studies of Expanding Cement To Prevent Microannular Formation – SPE Annual Conference, Houston, 1999
16. Polat Rıza, Demirbog Ramazan, Khushefati Waleed H. Effects of nano and micro size of CaO and MgO, nano-clay and expanded perlite aggregate on the autogenous shrinkage of mortar. Construction and Building Materials, 2015.
17. Агзамов Ф. А., Тихонов М. А., Каримов И. Н. Влияние фиброармирования на свойства тампонажных материалов // Территория нефтегаз, 2013. № 4. С. 76-80.
18. Ишбаев Г. Г., Дильмиев М. Р., Ишбаев Р. Р., Латыпов Т. Р. Разработка тампонажных материалов повышенной ударной прочности // Бурение и Нефть. 2015. № 9. С. 38.
19. Гасумов Р.А., Минченко Ю.С. Повышение качества цементирования скважин применением дисперсно-армированных тампонажных материалов // Нефтепромысловое дело. – 2016. - №8 – С. 53-57
20. Бентур А. Композиционные армированные цементные материалы // Издание Тэйлор и Фр Т.
21. В.В.Бабков, В.Н.Мохов, М.Б.Давлетшин, А.В.Парфенов. Технологические возможности повышения ударной выносливости цементных бетонов.//Строительные материалы.-2000.-№10.- С.19-20.
22. Aly T, Sanjayan J. G. Collins F. Effect of polypropylene fibers on shrinkage and cracking of concretes – Materials and Structures, 2007.
23. ISO 10426-1:2000, Нефтяная и газовая промышленность – цементы и материалы для цементирования скважин – часть 1: Технические условия
24. В.В.Бабков, В.Н.Мохов, М.Б.Давлетшин, А.В.Парфенов. Технологические возможности повышения ударной выносливости цементных бетонов.//Строительные материалы.-2000.-№10.- С.19-20.
25. Jafariesfad Narjes, Gong Yi, Rica Geiker Mette, Skalle Pål. Nano-Sized MgO with Engineered Expansive Property for Oil Well Cement Systems – SPE Bergen One Day Seminar, Bergen, 2016
26. Saje Drago, Bandelj Branko, Šušteršič Jakob, Lopatič Jože, Saje Franc. Shrinkage of Polypropylene Fiber-Reinforced High-Performance Concrete – American Society of Civil Engineers, 2011.

Сведения об авторах

Агзамов Фарит Акрамович, доктор технических наук, профессор, кафедра «Бурение нефтяных и газовых скважин», ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», г. Уфа, Республика Башкортостан, Российская Федерация
E-mail: faritag@yandex.ru

Комлева Светлана Фаритовна, кандидат технических наук, доцент, кафедра «Бурение нефтяных и газовых скважин», ФГБОУ ВО «Уфимский нефтяной государственный технический университет», г. Уфа, Республика Башкортостан, Российская Федерация
E-mail: svet2001@yandex.ru

Бекбаев Арстан Абаевич, аспирант кафедры «Бурение нефтяных и газовых скважин», ФГБОУ ВО «Уфимский нефтяной государственный технический университет», г. Уфа, Республика Башкортостан, Российская Федерация
E-mail: arstan.bekbaev@gmail.com

Authors

Agzamov F.A., Dr.Sc, Professor, Oil and Gas Well Drilling Department, Ufa State Petroleum Technical University, Ufa, Bashkortostan, Russia
E-mail: faritag@yandex.ru

Komleva S.F., PhD, Associate Professor, Oil and Gas Well Drilling Department, Ufa State Petroleum Technical University, Ufa, Bashkortostan, Russia
E-mail: svet2001@yandex.ru

Bekbaev A.A., PhD student of Oil and Gas Well Drilling Department, Ufa State Petroleum Technical University, Ufa, Bashkortostan, Russia
E-mail: arstan.bekbaev@gmail.com

Бекбаев Арстан Абаевич
450062, Российская Федерация, Республика Башкортостан,
г. Уфа, ул., Космонавтов, 1.
тел.: +7917-360-4141
E-mail: arstan.bekbaev@gmail.com