

**О. Э. Багиров**, канд. техн. наук, **И. А. Касумов**

*ООО «SOCAR-AQS», г. Баку, Азербайджан*

## **ЦЕМЕНТИРОВАНИЕ НЕФТЯНЫХ И ГАЗОВЫХ СКВАЖИН С ПРИМЕНЕНИЕМ НАНОСИСТЕМ**

*Рассмотрено влияние на качество реологических параметров цементного раствора и цементного камня, сформированного в результате гидратации, химических добавок, состоящих из гидрофобных ингредиентов, суперпластификаторов и модификаторов.*

*Показано, что при добавлении в тампонажный портландцемент ПЦТ 1-100 суперпластификатора растекаемость полученного раствора увеличивается на 15–20%, прочность на сжатие цементного камня – на 15%, на изгиб – на 25%, выделение свободной воды уменьшилось на 70–75%.*

*После добавления наночастиц Si в упомянутый выше состав реология цементного раствора и физико-механические свойства цементного камня еще более улучшились (растекаемость полученного раствора дополнительно увеличивается 5–6%, прочность на сжатие цементного камня – на 19%, на изгиб – на 17%).*

**Ключевые слова:** цементирование, гидрофобный, суперпластификатор, модификатор, адгезия, агрессивные воды, металлические наночастицы.

В настоящее время для улучшения качества реологических параметров цементного раствора и цементного камня, которые будут сформированы после гидратации, применяются в больших количествах химические добавки. Эти химические добавки, в основном синтез отходов из нефтехимических продуктов, состоящих из гидрофобных ингредиентов, суперпластификаторов и модификаторов. При добавлении в цементный раствор небольшого количества модификаторов существенно изменяются его структура, механические свойства и коллекторные характеристики, обеспечивающие экономическую эффективность и экологическую безопасность. Добавление суперпластификаторов и гидрофобизаторов в цементный раствор позволяет длительное время защищать физико-механические свойства цементного камня и бетона [1].

В целях улучшения механических свойств цементного камня изучали совместимость использования одновременно добавленных к цементному раствору суперпластификаторов и модификаторов [2,3].

Добавление с различными целями реагентов в цементные растворы в конечном итоге должно обеспечивать сохранение прочностных и пластичных свойств цементного камня, гарантировать гидрофобность, сохранять минимальный уровень пористости и проницаемости за счет адгезии и объемного расширения породоцементного камня – обсадной трубы, получение однородной цементной массы, сведение к минимуму во время процесса гидратации разделения свободной воды и наполнителей, чтобы они после седиментации не оседали. Высококачественное цементирование колонн зависит от не только вышеупомянутых свойств. Проведение качественного цементирования и получение соответствующего наиболее строгим стандартам цементного камня зависят от многих факторов, в том числе параметров, которыми можно управлять. Эти факторы условно делят на три группы [4]:

1. Геологические факторы – тип флюида, его количество в пробуренном пласте, степень минерализации подземных вод, литология горных пород, пластовое давление и давление гидроразрыва, градиент температуры.

2. Технические факторы – конструкция скважины, угол кривизны, эксцентricность колонн, образование желобов, каверн и сужений, использование центраторов, турбилизаторов, скребков.

3. Технологические факторы – тип и свойства вытесняемой буровой и тампонажной жидкости, объем и характер буферного раствора, режим течения жидкостей в кольцевом пространстве, физико-химическое взаимодействие, продолжительность динамической взаимосвязи жидкости со стенкой скважины, осевое перемещение вдоль оси и вращение во время цементирования, продолжительность схватывания цементного раствора, прочность и проницаемость цементного камня, вид цементирования.

Проницаемость цементного камня, получившегося в результате цементирования колонн, во время эксплуатации скважины приводит к накоплению давления на ее устье. Одна из причин формирования давления на устье – отсутствие пластичности цементного камня. Таким образом, без пластичности цементного камня при перфорации эксплуатационных колонн при мгновенном высоком давлении, высокой температуре и ударе с открытием отверстий одновременно образуются микротрещины вокруг них. Это, в свою очередь, создает

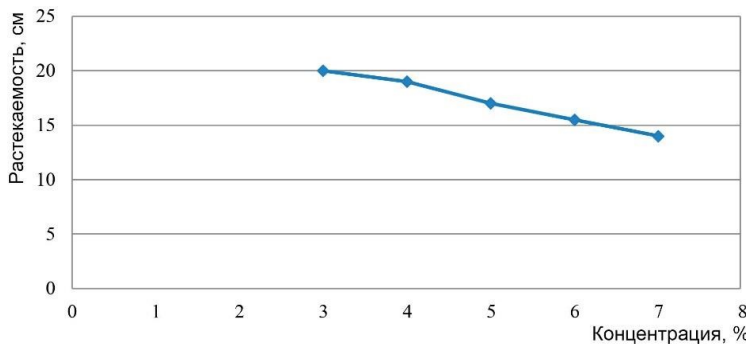


Рис 1. Влияние концентрации бентонитовой глины на растекаемость цементного раствора

ряд проблем. Во время эксплуатации скважины создается сообщение между пластами, что приводит к преждевременному обводнению продуктивных пластов, в связи с чем возникает необходимость срочной реализации дополнительных технологических мер, что в конечном счете приводит к увеличению себестоимости нефти [4].

Одним из решений этих проблем [5, 6] является добавление в тампонажный раствор бентонитовой глины в сухом виде для как для приобретения цементным камнем непроницаемости, так и изменения его механических и других свойств.

В данной статье исследовали свойства тампонажного раствора (растекаемость) при изменении концентрации бентонитовой глины (рис. 1).

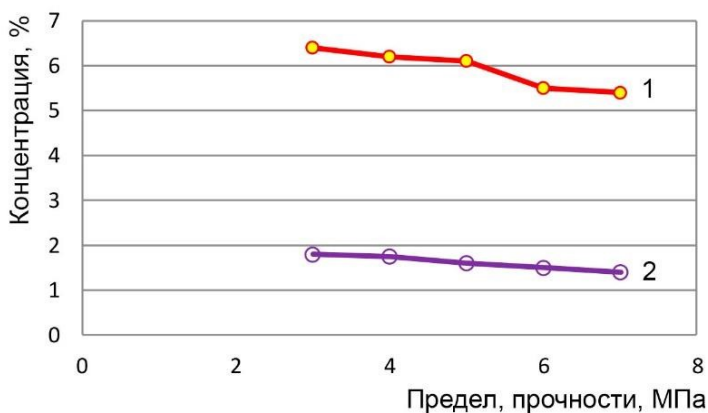


Рис 2. Влияние концентрации бентонитовой глины на прочностные характеристики цементного камня: 1 – прочность на сжатие; 2 – прочность на изгиб

Предварительные исследования проводили при температуре 75°C и давлении 1 атм. Также было изучено влияние концентрации бентонитовой глины на прочность цементного камня при одинаковом водоцементном соотношении (рис. 2). Лабораторные исследования проводили в соответствии с ГОСТ 26798.1-96 [7].

Как следует из рис. 1 и 2, в результате добавления

бентонитовой глины в сухой цемент снижаются как растекаемость цементного раствора, так и его прочностные свойства.

Из рис. 1 и 2 также можно сделать вывод, что водоцементное отношение 0,6 по прочностным характеристикам цементного камня и растекаемости цементного раствора неприемлема для цементирования скважин.

Результаты экспериментов, проведенных с суперпластификатором производства *Duroset* (Италия), при температуре 75°C и давлении 1 атм показаны в табл. 1.

**Таблица 1. Реология цементного раствора с суперпластификатором производства *Duroset* (Италия)**

Реология цементного раствора		Значение для образца		
		1	2	3
Объем полученной продукции, см <sup>3</sup>		1762	1771	1778
Объемное расширение, %		6,5	7,0	7,4
Удельный вес, г/см <sup>3</sup>		1,85	1,83	1,84
Растекаемость, см		24	25	25
Объем выделенной свободной воды, см <sup>3</sup>		2,5	1,9	1,3
Продолжительность загустевания, ч	Начало	14:20	14:20	10:15
	Конец	+0:40	+0:40	+6:30
Предел прочности на изгиб, Мпа				
После одного дня		3,2	3,2	3,3
После 2 дней		3,3	3,3	3,5
После 7 дней		3,5	3,5	3,6
Предел прочности на сжимаемость, МПа				
После одного дня		10,1	10,1	10,6
После 2 дней		13,4	13,4	13,9
После 7 дней		15,0	15,0	15,8

После трех часов движения тампонажного раствора в консистометре цементного раствора КЦ-3в условиях высокого давления и температуры (давления 500 атм и температура 100°C) было установлено время начала и конца загустевания приготовленного цементного раствора. После удаления цементного раствора из консистометра было определено, что растекаемость цементного раствора составляет 13–15 см.

В связи с полученным результатом по растекаемости не более 15 см, обеспечивающим успешное завершение без осложнений цементирования скважины, было изучено влияние реологических свойств тампонажного раствора на начало и конец схватывания, темп выделения свободной фазы воды после затвердения цементного камня, регулирование физико-механических, коллекторских и гидрофобных свойств добавки модификаторов вместе с металлическими наночастицами. Полученные результаты приведены в табл. 2 [5, 6, 8, 9].

Таблица 2. Реологические свойства тампонажного раствора

Реология цементного раствора		Значение для образца		
		4	5	6
Удельный вес, г/см <sup>3</sup>		1,85	1,83	1,84
Растекаемость, см		17,5	19,5	18
Объем выделенной свободной воды, см <sup>3</sup>		0,5	0,2	0,4
Продолжительность схватывания, ч	Начало	12:20	8:10	18:00
	Конец	+8:40	+7:50	+9:45
Предел прочности на изгиб, Мпа				
После одного дня		3,7	3,8	3,7
После 2 дней		3,8	4,0	3,9
После 7 дней		4,1	4,1	4,2
Предел прочности на сжимаемость, МПа				
После одного дня		12,6		12,9
После 2 дней		15,9		16,1
После 7 дней		17,5		18,3

Установлено, что после трех часов движения тампонажного раствора в консистометре цементного раствора КЦ-3 растекаемость увеличивается с 16 до 19,5 см.

При водоцементном отношении 0,6 на взятый тампонажный цемент марки ПЦТ 1-100 после добавления суперпластификатора и модификатора прочность цементного камня на сжатие увеличилась на 15%, на изгиб – на 25%. После добавления наночастиц в этот раствор физико - механические свойства еще более улучшились: прочность на сжатие возросла до 19%, прочность на изгиб – до 17%.

Результаты, полученные для образца 5 при температуре  $T = 100^{\circ}\text{C}$  и давлении  $p = 50$  МПа, позволяют сделать вывод о том, что он является наилучшим вариантом для проведения цементирования.

Проницаемость цементного камня после добавления суперпластификатора, модификатора и наночастиц медисоставляла 0–3 мД, т.е. была очень низкой (табл. 3) [10].

Таблица 3. Коллекторские свойства образцов цементного камня

Коллекторское свойство образца цементного камня	Значение для образца		
	4	5	6
Проницаемость, mD	2,5	0,88	2,1
Пористость, %	8,5	9	7,8

Образцы цементного камня после полного высыхания в течение 20 дней при комнатной температуре выдерживали в свежей воде в течение 60 ч. В этот период времени изучали зависимость скорости абсорбции жидкости образцами (рис. 3).

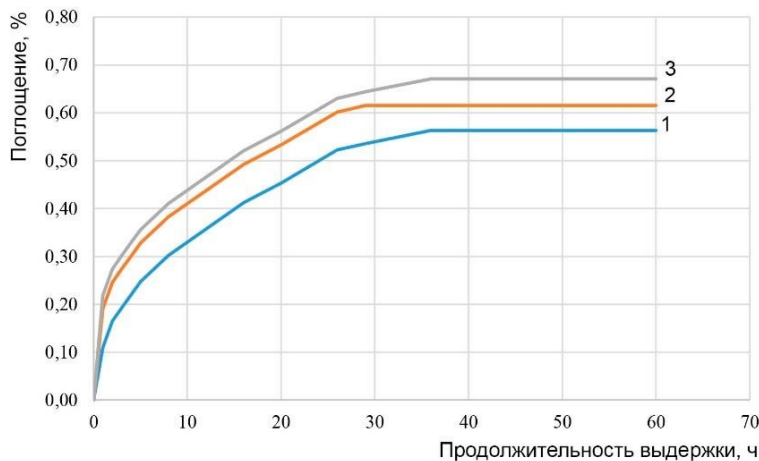


Рис 3. Поглощающая способность образцов цементного камня

Как следует из рис. 3 образцы 1–3 после выдержки в течение 36 часов поглощают соответственно 0,56, 0,62 и 0,67% жидкости. В течение последующих 24 ч эти цифры были стабильными, и на поверхности образцов цементного камня произошла гидрофобизация.

Таким образом, подтверждена эффективность разработанной технологии при цементировании скважин глубиной 3000–4000 м термобарическими

показаниями, соответствующими  $p = 50$  МПа,  $T = 100^{\circ}\text{C}$ .

### Выводы

1. В водоцементном отношении 0,6 при добавлении в тампонажный портландцемент ПЦТ 1-100 суперпластификатора растекаемость полученного раствора увеличивается на 15–20%, прочность на сжатие цементного камня – на 15%, на изгиб – на 25%. Выделение свободной воды уменьшилось на 70–75%.

2. После добавления наночастиц Si в упомянутый выше состав реология цементного раствора и физико-механические свойства цементного камня усовершенствовались (растекаемость полученного раствора увеличилась на 5–6%, прочность на сжатие цементного камня – на 19%, на изгиб – на 17%).

3. Получена проницаемость цементного камня на минимальном уровне.

4. Полученный цементный камень имеет гидрофобный слой и устойчив к агрессивным пластовым водам, бактериям и коррозии.

*Розглянуто вплив на якість реологічних параметрів цементного розчину і цементного каменю, сформованого в результаті гідратації, хімічних добавок, що складаються з гідрофобних інгредієнтів, суперпластифікаторів і модифікаторів.*

*Показано, що при додаванні в тампонажний портландцемент ПЦТ 1-100 суперпластифікатора розтікання отриманого розчину збільшується на 15–20%, міцність на стиск цементного каменю – на 15%, на вигин – на 25%, виділення вільної води зменшилося на 70-75%.*

*Після додавання наночастинок Si в згаданий вище склад реологія цементного розчину і фізико-механічні властивості цементного каменю ще більш покращилася (розтікання отриманого розчину додатково збільшується 5–6%, міцність каркасу на стиск цементного каменю – на 19%, на вигин – на 17%).*

**Ключові слова:** цементування, гідрофобний, суперпластифікатор, модифікатор, адгезія, агресивні води, металеві наночастинки.

### CEMENT OF OIL AND GAS WELLS WITH USING NANOSYSTEMS

*The influence on the quality of rheological parameters of cement mortar and cement stone formed as a result of hydration, chemical additives consisting of hydrophobic ingredients, superplasticizers and modifiers is considered.*

*It is shown that when the superplasticizer is added to the cementing Portland cement, the spreadability of the resulting solution increases by 15-20%, the compressive strength of the cement stone by 15%, the bend by 25%, and the free water release decreased by 70-75%.*

*After the addition of Cu nanoparticles to the aforementioned composition, the rheology of the cement slurry and the physical and mechanical properties of the cement stone have been further improved (the spreadability of the resulting mortar increases additionally by 5-6%, the compressive strength of cement stone by 19%, and the bend by 17%).*

**Key words:** *cementing, hydrophobic, superplasticizer, modifier, adhesion, aggressive waters, metallic nanoparticles.*

### Литература

1. Ткач Е. В. Модификаторы в строительной технологии. (Модификаторы в строительной технологии): учеб. Пособие – Караганда: Изд-во КарГТУ, 2006. – 156 с.
2. Соловьев В. И., Ергешев Р. Б. Эффективные модифицированные бетоны. – Алматы: КазГосИНТИ, 2000.– 285 с.
3. Батраков В. Г., Иванов Ф. М., Силина Е. С., Фаликман В. Р. Применение суперпластификаторов в бетоне: обзорная информация ВНИИС. – Строительство и архитектура. – 1982. – № 2. – С. 1–59.
4. Багиров О. Э. Разработка технологических процессов с целью повышения качества крепления горизонтальных скважин: дисс... канд. техн. наук: 05.15.10 – Бурение нефтяных и газовых скважин.– Баку, 1996. – 116 с.
5. Замчалин М. Н., Коровкин М. О., Ерошкина Н. А. Исследование влияния добавки бентонита на свойства раствора на основе композиционного цемента // Молодой ученый. – 2015.–№ 13.– С. 112–115.
6. Ушеров-Маршак А. В., Бабаевская Т. В., Циак М. Методологические аспекты современной технологии бетона [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://betony.ru/beton-i-zhb/2002\\_1/metodologicheskiye-aspekti.php](http://betony.ru/beton-i-zhb/2002_1/metodologicheskiye-aspekti.php).
7. ГОСТ 26798.1-96. Цементы тампонажные. Методы испытаний. – М.: МНТКС, 1998. – 19 с.
8. Юсифзаде Х. Б., Шахбазов Э. К., Кязимов Э. А. Нанотехнологии при бурении нефтяных и газовых скважин. – Баку: Изд-во Маариф, 2014 – 184 с.
9. Заявка на изобретение № а 20140126 Азербайджан. МПК E21B 33/138. Облегченный тампонажный раствор / В. М. Шамилов, Ф. С. Исмаилов, И. Б. Гулиев. – Оpubл. 29.02.17, Бюл. № 2.
10. Геологоразведка и геологоразведочное оборудование. Проницаемость горных пород пласта [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://neftegaz.ru/tech\\_library/view/4601-Pronitsaemost-gornyh-porod-plasta](http://neftegaz.ru/tech_library/view/4601-Pronitsaemost-gornyh-porod-plasta).

*Поступила 29.08.16*

УДК 622.243.3:622.245.35:622.24.5.72:552.578

**А. И. Вдовиченко**, акад. АН Украины<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Академия технологических наук Украины, г. Киев

<sup>2</sup>Союз буровиков Украины, г. Киев

### О ПОЛЕЗНОСТИ РАСШИРЕНИЯ СПЕКТРА СМЕЖНЫХ ТЕМ, РАССМАТРИВАЕМЫХ НА НАУЧНЫХ КОНФЕРЕНЦИЯХ

*На примере многолетней деятельности международной научной конференции «Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения» оценена роль и весомость расширения рассматриваемых смежных тем в решении важнейших научно-практических проблем.*