



УДК 622.245.422

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЦЕМЕНТА ГранЦЕМ-7

### EXPERIMENTAL TESTMENTS CEMENTS GranCEM-7

#### Щербич Николай Ефимович

кандидат технических наук, доцент,  
доцент кафедры «Бурение нефтяных и газовых скважин»,  
Тюменский индустриальный университет

#### Балуев Анатолий Андреевич

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

#### Коростелев Алексей Сергеевич

заместитель генерального директора,  
ЗАО «Гранула»

#### Мансурова Машхура Музаффаровна

ассистент-стажер «Бурение нефтяных и газовых скважин»,  
Тюменский индустриальный университет  
mansurovamm@tyuiu.ru

#### Щербич Данила Андреевич

бакалавр 4 курса,  
Тюменский индустриальный университет

**Аннотация.** Данная статья посвящена экспериментальным исследованиям тампонажных растворов на основе ГранЦЕМ-7 для цементирования направлений, кондукторов, промежуточных колонн, хвостовиков на Бованенковском месторождении.

**Ключевые слова:** тампонажный раствор, тампонажная смесь ГранЦЕМ-7, загустевание тампонажного раствора, прочность тампонажного камня.

#### Shcherbich Nikolai Yefimovich

Candidate of Technical Sciences,  
Associate Professor,  
associate professor  
at the Oil and Gas Drilling Department,  
Tyumen Industrial University

#### Baluyev Anatoly Andreevich

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

#### Korostelev Alexey Sergeevich

Deputy CEO,  
CJSC Granula

#### Mansurova Mashkhury Muzaffarovna

Assistant intern  
at the Oil and Gas Drilling Well,  
Tyumen Industrial University  
mansurovamm@tyuiu.ru

#### Shcherbich Danila Andreevich

Fourth-year Bachelor's degree,  
Tyumen Industrial University

**Annotation.** This article is devoted to experimental studies of cementing slurries based on GranCEM-7 for cementing directions, conductors, intermediate strings, shanks at the Bovanenkovo field.

**Keywords:** cement slurry, cement slurry GranCEM-7, cement slurry thickening, cement slurry strength.

При цементировании обсадных колонн на Бованенковском месторождении первоначально предусматривалось применение облегченных и нормальной плотности тампонажных растворов.

Цементирование колонны осуществлялось: в интервале 0–700 м облегченным раствором плотностью 1500 кг/м<sup>3</sup>; в интервале 700–1400 м тампонажным раствором нормальной плотности 1900 кг/м<sup>3</sup>.

К недостаткам данного применения растворов относится:

- большая разница в плотностях, соответственно в физико-механических характеристиках тампонажного камня различных составов;
- ухудшение изоляции заколонного пространства в зоне смешения растворов различной плотности;
- необходимость в дополнительных емкостях для хранения тампонажных смесей.

Расчетами по гидравлической программе цементирования было определено, что давление гидроразрыва пластов позволяет цементировать в один прием обсадные колонны с плотностью тампонажного раствора не более 1700 кг/м<sup>3</sup>. В связи с этим был разработан состав тампонажной смеси ГранЦЕМ-7. Цементная тампонажная смесь ГранЦЕМ-7 выпускается по ТУ 5734-013-80338612-2010 [1], предназначена для приготовления тампонажных растворов промежуточной плотности (1700 кг/м<sup>3</sup>) при креплении кондукторов и направлений, размещаемых в интервалах ММП.

На данном этапе работ оценивалось соответствие техническим условиям заявленных показателей физико-механических характеристик указанной выше тампонажной смеси, а также проводились специальные дополнительные испытания по определению стойкости камня к газопроявлениям, циклическому воздействию знакопеременных температур, совместимости с добавками для контроля водоотдачи и газоблокаторами.



Испытания тампонажных растворов на основе сухой тампонажной смеси [1] ГранЦЕМ-7 проводились в соответствии с техническими условиями, РД 39-00147001-767-2000 [2].

Основные требования по физико-механическим показателям согласно техническим условиям и результаты испытаний цементной смеси ГранЦЕМ-7 приведены в таблице 1.

**Таблица 1** – Результаты испытаний цементной тампонажной смеси ГранЦЕМ-7 на соответствие требованиям ТУ 5734-013-80338612-2010 [1]

Наименование показателя	Нормируемое значение показателя	Результат испытания
Плотность тампонажного раствора, кг/м <sup>3</sup>	1700 ± 40	1680
Водосмесевое отношение	0,42	0,42
Водоотделение, мл, не более	5,00	2,00
Растекаемость, мм, не менее	200	280
Время загустевания при температуре 22 °С и давлении 0,1 МПа, мин, не менее	90	357
Прочность камня через 2 сут. твердения при температуре 22 °С и давлении 0,1 МПа, – при изгибе, МПа, не менее – при сжатии, МПа, не менее	2,70 9,00	5,70 23,70

Дополнительно испытывались составы с использованием растворов хлористого натрия и хлористого кальция в качестве жидкости затворения.

Основные технологические свойства раствора состава 0,1 ГранЦЕМ-7 + 0,43 рСаCl<sub>2</sub> (1015 кг/м<sup>3</sup>) приведены в таблицах 2 и 3.

Тампонажный раствор имеет оптимальные растекаемость и время загустевания, а также значения прочности на сжатие (по прессу), превосходящие аналогичные показатели тампонажных растворов нормальной плотности (1820 кг/м<sup>3</sup>) (рис. 1).

Кривая набора СНС по данным ультразвукового анализатора приведена на рисунке 2. Критический период гидратации тампонажного раствора (время набора СНС от 47,9 до 234,9 Па) составил 67 мин., что является приемлемой величиной для пластов ММП, содержащих газогидратные отложения, превосходящей аналогичные показатели тампонажных растворов нормальной плотности и облегченных тампонажных растворов на базе ЦТРО и ЦТРС.

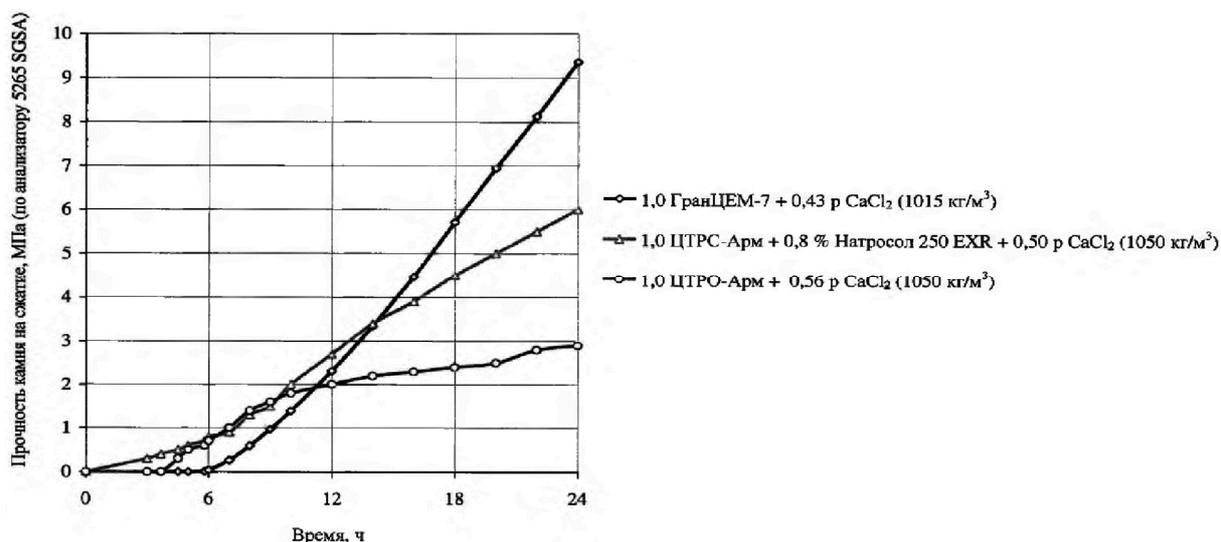
**Таблица 2** – Основные технологические свойства тампонажного раствора и камня составов на основе сухой тампонажной смеси ГранЦЕМ-7 при различных температурах

Состав раствора	Температура, °С	Водоотделение, мл	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Растекаемость, мм	Сроки схватывания, ч-мин		Время загустевания до 30 Вс, мин	Прочность, 2 сут, МПа			Теплопроводность, λ, Вт/(м·К)
					начало	конец		изгиб	сжатие	сцепление	
1,0 ГранЦЕМ-7 + 0,42 в	20	2,0	1680	280	–	–	357	5,7	23,7	–	–
1,0 ГранЦЕМ-7 + 0,43 рСаCl <sub>2</sub> (1015 кг/м <sup>3</sup> )	20	2,0	1710	230	430	465	180	5,0	20,0	1,2	0,50
	14	–	1710	–	657	710	–	4,1	14,5	1,0	
	5	0	1710	–	840	960	–	1,5	3,5	0,7	
1,0 ГранЦЕМ-7 (50) + 0,43 NaCl <sub>2</sub> (1030 кг/м <sup>3</sup> )	20	0	1730	270	–	–	150	15,2	46,1	–	–
	33	0	1730	270	395	425	–	11,0	32,0	–	0,50
1,0 ГранЦЕМ-7 + 0,3 % Натросол 250 EXR + 0,45 рСаCl <sub>2</sub> (1015 кг/м <sup>3</sup> )	20	0	1680	200	360	405	288	4,5	19,5	–	–
	5	0	1680	–	850	980	–	0,9	1,9	–	
1,0 ГранЦЕМ-7 + 0,3 % ПАЦ + 0,43 в	20	0	1700	210	520	580	280	4,3	18,2	–	–
1,0 ГранЦЕМ-7 + 0,25 % ПВА + 0,43 рСаCl <sub>2</sub> (1015 кг/м <sup>3</sup> )	20	0	1710	188	425	449	237	5,2	22,0	–	–
	5	0	1710	188	–	–	–	1,6	3,6	–	–

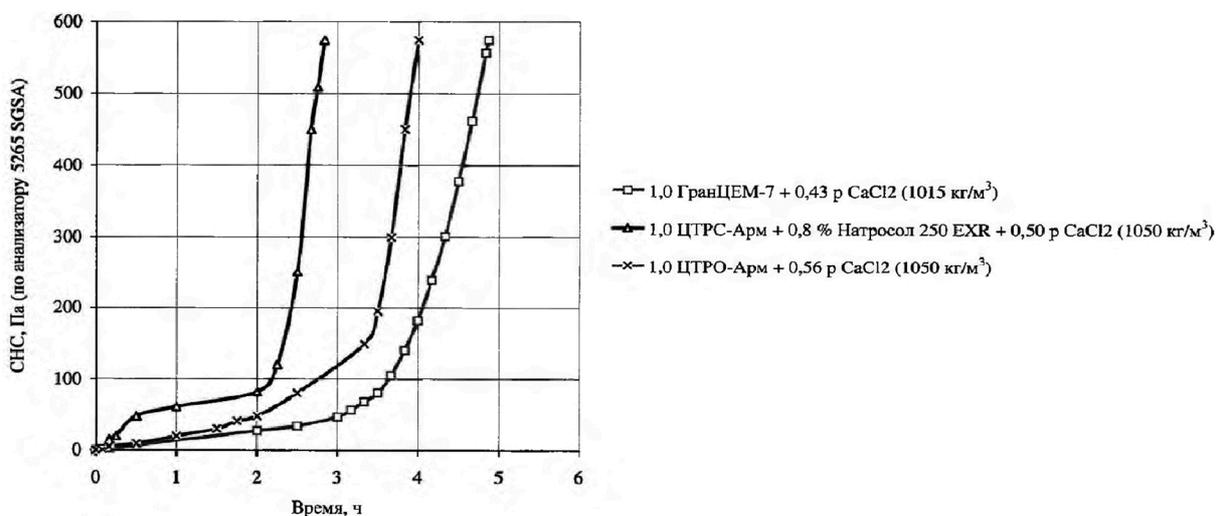


**Таблица 3** – Результаты оценки газоблокирующих свойств тампонажного раствора и камня составов на основе сухой тампонажной смеси ГранЦЕМ-7 при температуре 20 °С

Состав раствора, мас.ч.	Водоотдача при 4,0 МПа, см <sup>3</sup> / 30 мин	Время изменения СНС от 47,9 до 239,4 Па, мин	Время набора СНС 47,9 Па, мин	Время набора СНС 239,4 Па, мин	Время набора СНС 574,6 Па, мин	Начало набора прочности, мин	Проницаемость камня через 36 ч, мкм <sup>2</sup>
1,0 ГранЦЕМ-7 + 0,43 рСаCl <sub>2</sub> (1015 кг/м <sup>3</sup> )	300	67	184	251	292	348	непроницаемый
1,0 ГранЦЕМ-7 + 0,3 % Натросол 250 EXR + 0,45 рСаCl <sub>2</sub> (1015 кг/м <sup>3</sup> )	70	155	412	567	629	718	непроницаемый
1,0 ГранЦЕМ-7 + 0,25 % ПВА + 0,43 рСаCl <sub>2</sub> (1015 кг/м <sup>3</sup> )	28	32	236	268	297	367	непроницаемый
1,0 ГранЦЕМ-7 + 0,3 % ПАЦ + 0,43 в	180	–	–	–	–	–	непроницаемый



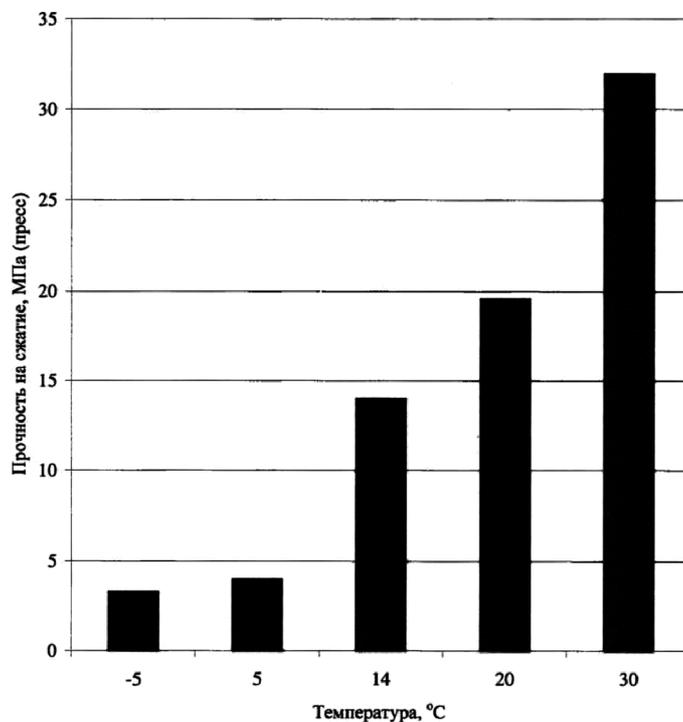
**Рисунок 1** – Изменение прочности камня тампонажных растворов на основе ГранЦЕМ-7, ЦТРО и ЦТРС во времени (при температуре 20 °С и давлении 7,0 МПа)



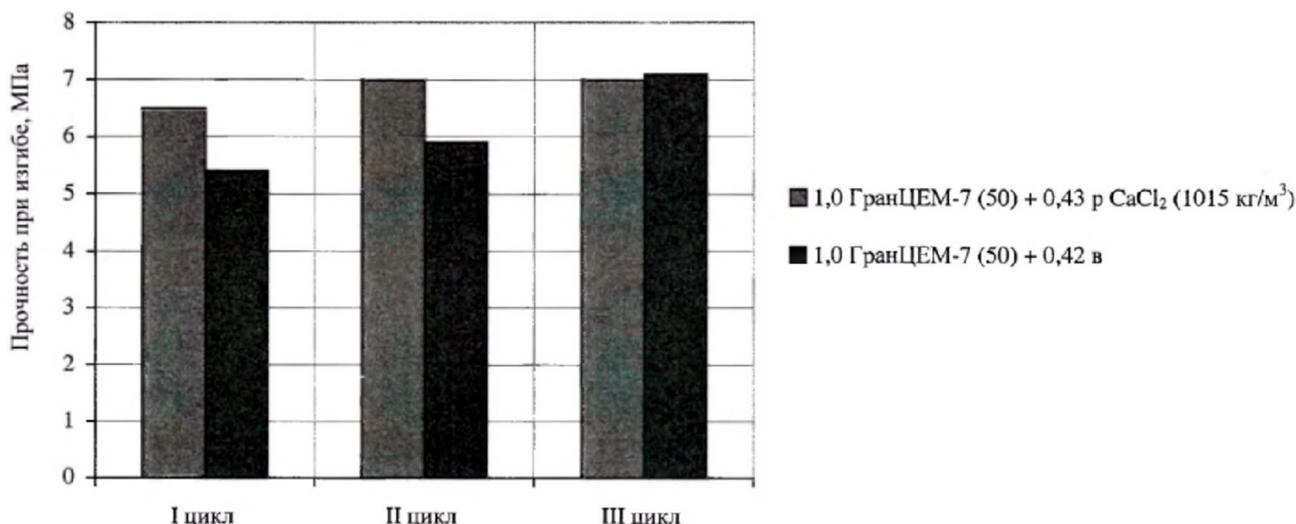
**Рисунок 2** – Изменение СНС тампонажных растворов на основе ГранЦЕМ-7, ЦТРО и ЦТРС во времени (при температуре 20 °С и давлении 7,0 МПа)



Дополнительно исследовалось влияние условий твердения на значения прочности на сжатие тампонажного камня состава 1,0 ГранЦЕМ-7 + 0,43 р СаСl<sub>2</sub> (1015 кг/м<sup>3</sup>) в широко диапазоне температур от минус 5 °С до плюс 30 °С (рис. 3). Согласно полученным данным, можно заключить, что гидравлической активности компонентов ГранЦЕМ-7 достаточно для формирования прочного камня как в условиях забойной, так и в условиях устьевого пачки при креплении кондукторов, направлений и технических колонн в интервалах размещения ММП. Исследования проведены по методике [3] и результаты приведены в статье [4] и представлены на рисунке 4.



**Рисунок 3** – Прочность на сжатие тампонажного камня состава 1,0 ГранЦЕМ-7 + 0,43 р СаСl<sub>2</sub> (1015 кг/м<sup>3</sup>) при различных температурах через 48 ч твердения



**Рисунок 4** – Изменение прочности на изгиб тампонажного камня при циклическом воздействии знакопеременных температур

Из рисунка 4 видно, что конечные значения прочности камня на сжатие у состава с добавлением хлористого кальция к жидкости затворения и без него ко времени окончания ОЗЦ – 48 ч, различаются на величину не более погрешности метода испытания [4]. Добавление ускорителя необходимо для сокращения времени загустевания и сроков схватывания, т.е. увеличения скорости гидратации вяжущего в начальный период, в то время как на более поздних стадиях гидратации и формирования камня показатели систем нивелируются.



В случае использования ГранЦЕМ-7 для крепления обсадных колонн в условиях более высоких температур (до 35 °С) и давлений (от 10 Мпа до 20 Мпа) целесообразно применение более «мягкого» ускорителя – хлористого натрия в составе жидкости затворения.

Основные технологические свойства раствора состава 0,1 ГранЦЕМ-7+0,43 рNaCl(1030 кг/м<sup>3</sup>) приведены в таблице 2.

Раствор характеризуется высокой растекаемостью, приемлемым значением времени загустевания при температуре 20 °С высокими значениями прочности на сжатие и изгиб при температуре твердения 33 °С, превосходящим аналогичные показатели тампонажных растворов нормальной плотности 1820 кг/м<sup>3</sup>.

Совместимость цементной тампонажной смеси ГранЦЕМ-7 с добавками для контроля водоотдачи и газоблокаторами проверялась на примере реагентов Натросол 250 EXR, ПАЦ низкой степени полимеризации и сополимерами поливинилацетата (ПВА).

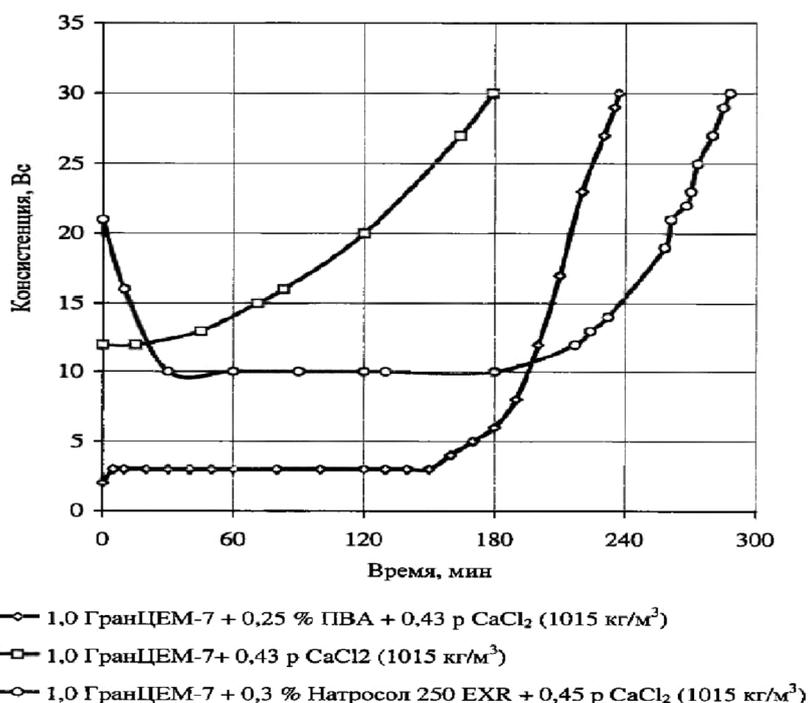
Ввиду низкого водоцементного соотношения, необходимого для выхода на плотность 1700 кг/м<sup>3</sup>, количество воды, идущей на гидратацию и подвижность тампонажного раствора минимально. Соответственно, ввод добавок для контроля водоотдачи, повышающих вязкость жидкости затворения (ПАЦ, Натросол 250 EXR), неизбежно приводит к снижению растекаемости и ухудшению технологических характеристик системы по прокачиваемости (табл. 2, 3).

После введения в систему состава «0,1 ГранЦЕМ-7+0,43 в» минимального количества ПАЦ-0,3 %, растекаемость сокращается от 280 до 210 мм. При этом показатель фильтрации уменьшается не столь существенно – от 300 (без ПАЦ) до 180 мл (0,3 % ПАЦ).

В случае добавления Натросол 250 EXR, тампонажный раствор состава 1,0 ГранЦЕМ-7 + 0,3 % Натросол 250 +0,43 рCaCl (1015 кг/м<sup>3</sup>) представляет собой вязкую, непрокачиваемую пасту. Увеличение водоцементного соотношения до 0,45 способствует разжижению системы, снижению реологических показателей, что, однако, существенно увеличивает время загустевания, снижает прочностные характеристики и приводит к увеличению сроков схватывания в условиях приустьевой пачки (при температуре 5 °С) (табл. 2).

Газоблокатор другого типа, снижающий проницаемость фильтрационной корки и не влияющий на вязкость жидкости затворения (ПВА), более эффективно работает в системе с пониженным водоцементным соотношением.

Так, тампонажный раствор состава 1,0 ГранЦЕМ-7+0,25 % ПВА+0,43 рCaCl<sub>2</sub> (1015 кг/м<sup>3</sup>) характеризуется достаточно низкой начальной консистенцией по сравнению с составами с Натросол 250 EXR (0,1 ГранЦЕМ-7+0,3 % Натросол 250 EXR+0,43 р CaCl<sub>2</sub> (1015 кг/м<sup>3</sup>) и без добавок (0,1 ГранЦЕМ-7+0,43 р CaCl<sub>2</sub> (1015 кг/м<sup>3</sup>) (рис. 6).



**Рисунок 6** – Изменение консистенции во времени тампонажных растворов различных составов на основе сухой смеси ГранЦЕМ-7 (при температуре 20 °С и давлении 7,0 МПа; выход на режим 30 минут)



Скорость набора прочности тампонажного камня состава 1,0 ГранЦЕМ-7+0,25 % ПВА+0,43 рСаCl<sub>2</sub> (1015 кг/м<sup>3</sup>) значительно превосходит аналогичные характеристики составов без газоблокатора и с добавкой Натросол 250 EXR (табл. 3).

Аналогичная тенденция проявляется при наблюдении роста СНС-критический период гидратации тампонажного раствора с добавкой ПВА значительно короче по сравнению с составом, содержащим Натросол 250 EXR (табл. 3).

Таким образом, можно заключить, что сухая тампонажная смесь ГранЦЕМ-7 позволяет готовить тампонажные растворы с улучшенными технологическими характеристиками (высокие значения прочности на сжатие и изгиб, растекаемости, короткий критический период гидратации, низкая теплопроводность) по сравнению с составами на основе ЦТРО и ЦТРС для крепления кондукторов, направлений и промежуточных колонн. Формируемый ГранЦЕМ-7 тампонажный камень характеризуется приемлемыми значениями прочности на сжатие в широком температурном диапазоне – от минус 5 °С до плюс 30 °С. Ввиду низкого водоцементного соотношения, использование водорастворимых добавок для контроля водоотдачи, работающих по принципу увеличения вязкости жидкости затворения, несколько затруднено и приводит к повышению реологических характеристик получаемого раствора.

По результатам лабораторных и опытно-промысловых работ ГранЦЕМ-7 в настоящее время широко применяется при цементировании колонн на Бованенковском и других месторождениях.

Цементирование направления, удлиненного направления, кондуктора, промежуточной колонны и эксплуатационного хвостовика осуществляется тампонажным раствором на основе сухой смеси ГранЦЕМ-7 БГ, плотностью от 1700 до 1730 кг/м<sup>3</sup> с размещением данного состава по всему интервалу цементирования.

Преимуществами данной схемы крепления является следующее:

1. Исключается большая дифференциация свойств тампонажных растворов, находящихся на забое и на устье.

2. Появляется возможность более строго и эффективно контролировать плотность и другие технологические показатели закачиваемого состава за счет упрощения схемы затворения – готовится только один тампонажный раствор с плотностью 1700 кг/м<sup>3</sup>, которую не нужно изменять (увеличивать) при проведении операций по креплению.

3. Снижается время, необходимое для проведения лабораторных испытаний за счет использования единого состава для кондукторов и направлений.

4. Облегчающая и стабилизирующая добавки, необходимые для выхода на проектную плотность 1700 кг/м<sup>3</sup>, а также обеспечивают морозостойкость камня, снижают коэффициент теплопередачи, выступают в качестве демпфирующих добавок.

5. Сухая тампонажная смесь ГранЦЕМ-7 БГ не содержит вяжущих компонентов с короткими сроками хранения и высокой реакционной способностью по отношению к атмосферному воздуху, парам воды и т.д.

6. По прочностным характеристикам раствор плотностью 1700 кг/м<sup>3</sup> превосходит аналогичные показатели ТР нормальной плотности и ОТР.

7. С целью предотвращения газопроявлений в период ОЗЦ в результате возможного растепления газовых гидратов и контакта с продуктивными горизонтами, ГранЦЕМ-7 БГ имеет в составе газоблокирующие добавки (модификация ГранЦЕМ-7 БГ), которые в сочетании с ускоряющей добавкой обеспечивают быстрый набор структуры геля.

8. При цементировании направления, удлиненного направления и кондуктора в качестве жидкости затворения применяется раствор хлористого кальция плотностью 1015 кг/м<sup>3</sup>, выступающего в качестве ускорителя процессов твердения и структурообразования тампонажного камня, а также в качестве противоморозной добавки.

#### Литература:

1. Цементная тампонажная смесь «ГранЦЕМ-7». Технические условия. ТУ 5734-013-80338612-2010: утв. ЗАО «Гранула»: введен в действие с 2010 г. – Екатеринбург : ЗАО «Гранула», 2010. – 9 листов.

2. Инструкция по креплению нефтяных и газовых скважин. РД 39-00147001-767-2000. – Москва-Краснодар : ООО «Просвещение Юг», 2000. – 277с.

3. Гриценко А.И. и др. Методика испытания тампонажных материалов при пониженных температурах. – М. : ВНИИ Газ, 1980.

4. Щербич Н.Е., Венедиктова А.А., Коростелев А.С. Скважины Бованенковского. Использование тампонажной смеси «ГранЦЕМ-7» // Деловой журнал NEFTEGAZ.RU. – 2017. – № 2. – С. 38–43.

#### References:

1. Cement tamponage mixture «Grancem-7». Specifications. TU 5734-013-80338612-2010: approved by CJSC «Granula»: put into operation since 2010. – Yekaterinburg : CJSC Granula, 2010. – 9 sheets.



2. Instruction on mounting of oil and gas wells. PD 39-00147001-767-2000. – Moscow-Krasnodar : LLC Prosveshchenie Yug, 2000. – 277 p.
3. Gritsenko A.I. et al. Methods of testing plugging materials at low temperatures. – M. : VNII Gaz, 1980.
4. Shcherbich N.E., Venediktova A.A., Korostelev A.S., Bovanenkovsky A.S. Bovanevskoe wells. Use of the tamponage mixture «Grancem-7» // Business Journal NEFTEGAZ.RU. – 2017. – № 2. – P. 38–43.