

## БУРЕНИЕ НЕФТЯНЫХ И ГАЗОВЫХ СКВАЖИН

DOI: 10.15593/2224-9923/2015.16.5

УДК 622.245.422.4

© Куницких А.А., 2015

### ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА РАСШИРЯЮЩИХ ДОБАВОК ДЛЯ ТАМПОНАЖНЫХ СОСТАВОВ

А.А. Куницких

Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет, Пермь, Россия

Описаны проблемы, связанные с качеством крепления скважины. Освещены основные негативные последствия некачественного разобщения пластов. Одним из решений данной проблемы является применение расширяющихся тампонажных составов для повышения герметичности крепи скважины и, соответственно, качества разобщения продуктивных и водоносных горизонтов. Рассмотрены механизмы процессов расширения тампонажных составов. Проведен обзор основных типов расширяющих добавок для тампонажных растворов. Выявлено, что наибольшая величина линейного расширения обеспечивается при оксидном механизме расширения за счет ввода добавок оксида кальция и оксида магния. Оксидное расширение обусловлено образованием гидроксидов соответствующих металлов, оксиды которых занимают меньший объем, нежели продукты гидратации. Основной проблемой, сдерживающей широкое применение оксидного типа расширения, является высокая скорость гидратации исходных веществ, что приводит к образованию гидроксидов в подвижном цементном тесте, тем самым исключая расширение цементного камня. С целью получения расширения в пластичном, не набравшем высокую прочность цементном камне проведены исследования и определено влияние определенных химических реагентов на скорость гидратации оксида кальция. Выявлены наиболее оптимальные компонентные составы расширяющих добавок на основе оксида кальция для тампонажных растворов. Установлены требования к технологическим параметрам базового тампонажного раствора. Определен компонентный состав и разработана рецептура базового тампонажного раствора на основе портландцемента марки ПЦТ-I-G-CC-1, который станет основой для расширяющегося тампонажного состава. Для регулирования водоудерживающих и реологических показателей тампонажный раствор модифицирован добавками. В качестве водоудерживающей и структурообразующей добавки предлагается использовать гидроксиэтилцеллюлозу, в качестве пеногасителя – силиконовый пеногаситель. Допускается ввод поликарбоксилатного пластификатора для повышения подвижности и текучести тампонажного раствора.

**Ключевые слова:** тампонажный раствор, оксидное расширение, качество крепления, цементный камень, цемент, скважина, восстановление герметичности крепи, модифицирующие добавки для тампонажных растворов.

### RESEARCH AND DEVELOPMENT OF EXPANSION AGENTS FOR GROUTING MORTARS

A.A. Kunitskikh

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

The paper uncovers some issues related to well casing quality. The main negative consequences of low-quality bed isolation are listed. One of the solutions of this problem is application of grouts to assure structural integrity of well support and improve quality of isolation of production intervals and water beds. The machinery of grouting mortar expansion is explained. The paper reviews the main types of expansion agents for grouting mortars. It is found that the biggest values of linear expansion are obtained by oxide expansion thanks to injection of calcium oxide and magnesium oxide. Oxide expansion is conditioned by hydroxide formation of the corresponding metals which oxides possess a smaller volume than that of the hydration products. The main trouble hindering wide application of oxide expansion is a high speed of hydration of original substances, which results in formation of hydroxides in workable cement paste preventing set cement from expansion. In order to boost expansion in plastic set cement that does not feature high hardness a research was carried out and effects of certain chemical agents on calcium oxide's hydration rate were established. The optimum composition of expansion agents based on calcium oxide for grouting mortars was discovered. The requirements for technological parameters of the standard grouting mortar are established. The composition of the standard grouting mortar is specified, the PZT-I-G-CC-1 portland cement being a base for an expanding mortar. To adjust water-retaining and rheologic parameters grouts are modified by additives. Hydroxyethyl cellulose is recommended to use as a water-retaining and gelling additive, while silicone defoamant serves as a defoamant. Polycarboxylate plasticizer may be applied to improve plasticity and fluid properties.

**Keywords:** grouting mortar, oxide expansion, casing quality, set cement, cement, well, casing integrity restoring, modifying agents for grouting mortars.

## Введение

Надежность и долговечность скважины как технического сооружения закладывается на этапе ее строительства. Крепление – неотъемлемая часть цикла строительства скважины. Основным методом разобщения пластов на сегодняшний день является заполнение затрубного пространства тампонажным составом [1, 2]. Основные нагрузки, возникающие в процессе эксплуатации скважины, испытывают обсадные колонны и цементное кольцо. Если качество обсадных труб напрямую зависит от завода-изготовителя, то ответственность за качество цементного кольца в затрубном пространстве лежит на буровом предприятии или тампонажной сервисной компании.

Состояние цементного кольца за обсадной колонной напрямую влияет на герметичность разобщения продуктивных и водоносных горизонтов между собой и изоляцию обсадных колонн от негативного влияния пластовых флюидов.

Низкое качество крепи скважины приводит к возникновению межколонных давлений, появлению грифонов, межпластовым перетокам и преждевременному обводнению пласта [3].

В свою очередь, эти проблемы вынуждают останавливать скважину на ремонт и проводить изоляционные работы по восстановлению герметичности крепи скважины [4–6]. Суммарные финансовые потери от затрат на ремонтные работы и недополученной добычи углеводородного сырья даже в масштабах одного добывающего предприятия являются весьма существенными.

Для исключения возникновения данных проблем к цементному камню предъявляется ряд требований. Тампонажный камень должен обладать, во-первых, низкой проницаемостью, во-вторых, хорошей адгезией к горным породам и обсадной колонне, в-третьих, высокими прочностными показателями [3]. Распределение степени влияния данных требований на герметичность крепи

скважины неравнозначное. Имея высокие показатели адгезии и проницаемости, можно успешно эксплуатировать скважину длительное время, не имея при этом проблем с герметичностью заколонного пространства. Но даже при наличии достаточно высоких показателей прочности и низких показателей проницаемости отсутствие плотного контакта тампонажного камня с сопредельными средами не позволяет добиться создания герметичной крепи скважины. Одним из путей решения данной задачи является использование в тампонажных составах расширяющих добавок [7].

## Механизмы расширения тампонажных составов

В последние годы для повышения качества крепления нефтяных и газовых скважин нефтяные компании стали широко практиковать применение расширяющихся тампонажных материалов. Безусадочные и расширяющиеся цементы известны уже около 180 лет. Выделяются два основных способа получения расширяющегося цемента. По первому способу внутри образующейся структуры цементного камня возникает соединение, имеющее объем больше первоначального. В результате этого происходит раздвижка кристаллов твердеющего цемента, выражающаяся в увеличении его объема [8]. Для того чтобы собственные напряжения привели к значительному расширению без ухудшения свойств цементного камня, последний должен быть способен к своеобразной пластической деформации, при которой нарушенные смещением контакты между элементами структуры восстанавливались бы в ходе последующего твердения. При этом важно согласование кинетики гидратации базового цемента и кинетики гидратации расширяющей добавки. Быстрая гидратация расширяющей добавки (до образования структуры цементного камня) не приведет к расширению цементного камня, поскольку энергия расширения

уйдет на раздвижку зерен цемента или несвязанных продуктов твердения, находящихся еще в цементно-водной суспензии [9]. Поздняя гидратация расширяющей добавки может привести к разрушению цементного камня, поскольку в цементном камне возникает прочная кристаллизационная структура, которая может не выдержать внутренних напряжений при увеличении объема расширяющего компонента. Исходя из этого для тампонажных цементов считается оптимальным получать расширение в период 1–2 сут, когда структура базового вяжущего еще достаточно эластична [10]. Второй способ заключается в увеличении объема тампонажного цемента за счет газообразования. В тампонажном составе в результате химической реакции происходит выделение газа, пузырьки которого равномерно распределяются по объему цементного теста, вследствие чего общий объем тампонажного состава увеличивается на объем, занимаемый пузырьками газа.

Рассмотрим более подробно механизмы расширения тампонажных составов и условия их применения. Существует несколько механизмов расширения.

Первый тип расширения – сульфатоалюминатный. Увеличение объема цементного камня обеспечивается образованием в твердеющем цементном камне избыточного количества трехсульфатной формы гидросульфатоалюмината кальция (трисульфата) [11]. В основе действия расширяющей добавки лежит взаимодействие между гидроалюминатами кальция и сульфатом кальция. Процесс протекает в еще не затвердевшей массе. Данный механизм расширения присутствует главным образом у глиноземистых типов цементов. В большинстве своем это быстротвердеющие цементы. Введение в состав тампонажного раствора сульфатоалюмината кальция сопровождается небольшим расширением. В основном добавка сульфатоалюмината кальция оказывается эффективной при температуре твердения 80–100 °С.

При больших температурах сульфатоалюминаты разрушаются.

Второй тип расширения – оксидное. Основу расширяющей добавки составляют оксиды кальция и магния. Оксидное расширение обеспечивается за счет образования гидроксида кальция и гидроксида магния, имеющих больший объем по сравнению с первоначально взятыми оксидами. Кинетика гидратации оксидов кальция и магния регулируется температурой обжига, степенью дисперсности известняка и магнезита, вводом дополнительных химических веществ, служащих ингибиторами реакции гидратации. Основным источником получения оксидов кальция и магния служит обжиг карбонатных горных пород. К таковым относятся доломит и известняк. В процессе обжига горной породы происходит выделение углекислого газа и образование оксидов. Добавка в тампонажный состав магнезита (5–10 %) и доломита (10–20 %), обожженного при температуре 700–900 °С, обеспечивает расширение цементного камня до 0,5 % в течение 48 ч. При обжиге доломита при температуре 1200–1300 °С зерна обожженной породы покрываются оболочкой, что замедляет гидратацию оксидов. Данный материал может служить расширяющей добавкой в тампонажные растворы для температур до 180 °С. Оксид магния в виде «мертворожденного» переклиза может использоваться в качестве расширяющей добавки для высокотемпературных тампонажных цементов ( $t > 180$  °С).

Третий тип расширения – применение газвыделяющих добавок. В практике строительства скважин данный механизм расширения применяется в ограниченном объеме ввиду того, что при высоких давлениях образующийся газ может растворяться в поровой жидкости цементного камня [12]. Негативным последствием газового расширения является формирование пористого цементного камня, что отрицательно сказывается на его прочно-

стных характеристиках. Кроме того, наличие пористого цементного камня в затрубном пространстве затрудняет определение качества цементирования скважины акустическими методами каротажа. Также остро стоит проблема замедления реакции выделения газа, в противном случае можно получить пеноцемент. Необходимо, чтобы образование газа произошло, когда тампонажный раствор будет размещен в затрубном пространстве. Основными газыделяющими добавками для тампонажных растворов на основе портландцементов служат алюминий и цинк. Наиболее широко применяется алюминий. Ограничения по давлению, сложность регулирования сроков газыделения и пониженные прочностные характеристики цементного камня сужают диапазон условий применения данного механизма расширения в тампонажных растворах. В большинстве случаев применение алюминия в качестве расширяющей добавки используют для крепления верхних интервалов обсадных колонн.

Необходимо, чтобы расширение, обеспечивая герметичный контакт, создавало небольшие внутренние напряжения, которые не разрушат цементный камень, и образовавшиеся микротрещины могли быть «залечены» при продолжающейся гидратации цемента [13]. Исходя из этих целей величина линейного расширения должна составлять не более 5 %.

Наиболее подходящим для скважинных условий является оксидный тип расширения тампонажного состава, так как он обеспечивает максимальную величину расширения при минимальной концентрации расширяющей добавки. В качестве основы расширяющей добавки выступает оксид кальция.

#### **Разработка базового тампонажного состава**

Важущей основой для испытуемого тампонажного раствора выбран порт-

ландцемент марки ПЦТ-I-G-CC-1 производства ОАО «Сухоложскцемент». Для исследования влияния расширяющих добавок на величину линейного расширения цементного камня разработан базовый тампонажный состав с регулируемыми технологическими свойствами, модифицированный следующими добавками:

1. Пластифицирующая добавка на основе поликарбоксилатов применяется для снижения сдвиговых напряжений в тампонажном растворе, что улучшает его прокачиваемость, способствует снижению гидродинамической составляющей давления при прокачивании раствора по скважине и обеспечивает более полное замещение бурового раствора цементным. Поликарбоксилатные пластификаторы незначительно увеличивает сроки загустевания и схватывания.

2. Понижитель водоотдачи на основе гидроксиэтилцеллюлозы применяется для снижения фильтрации жидкости затворения из цементного раствора в интервалах проницаемых пластов, для стабилизации раствора и повышения его седиментационной устойчивости.

3. Пеногаситель вводится для удаления из тампонажного раствора вовлеченного воздуха, что обеспечивает создание плотного низкопроницаемого камня.

4. Расширяющие добавки исключают усадки цементного камня при его твердении, обеспечивают линейное расширение цементного камня, что обеспечивает его плотный контакт с обсадной колонной и горной породой.

Концентрации модифицирующих добавок подбирались с таким условием, чтобы обеспечивались необходимые технологические параметры тампонажного состава, удовлетворяющие требованиям безопасного проведения работ по цементированию скважины и обеспечивающие высокое качество формируемого цементного камня [14, 15].

Рецептура и параметры базового раствора представлены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1  
Рецептура базового тампонажного  
состава

Наименование реагента	Назначение реагента	Количество добавки, % от массы ПЦТ
ПЦТ-I-G-CC1	Вязущее	100
Natrosol 250 NHR	Понижитель водоотдачи	0,2
Пластик ПГ-07	Пеногаситель	0,04
Вода	Жидкость затворения	В/Ц = 0,5

Основные параметры тампонажного раствора: плотность  $\rho = 1,85$ , г/см<sup>3</sup>, растекаемость 220 мм, водоотделение 0 мл, показатель фильтрации 29 см<sup>3</sup>/30 мин при 690 кПа.

#### Регулирование скорости гидратации оксида кальция

Первостепенной задачей при использовании оксида кальция в составе тампонажного раствора является регулирование скорости реакции гидратации. Время реакции гидратации чистого оксида кальция составляет порядка 0,5–1,0 мин, что недопустимо для получения расширяющегося тампонажного состава. Необходимо, чтобы образование гидроксида кальция, а соответственно, и расширение тампонажного состава, происходило по окончании продавки тампонажного раствора в затрубное пространство. Исходя из анализа опыта цементирования скважин в большинстве случаев от момента затворения сухой тампонажной смеси до момента окончания продавки цементного раствора проходит в среднем 1–5 ч. С целью замедления протекания реакции взаимодействия оксида кальция с водой был проведен обзор реагентов и химических веществ, способных выступить в роли ингибиторов. На основании обзора выбран следующий список реагентов и веществ, с которыми проведены исследования по их влиянию на динамику реакции гидратации:

– ангидрид (CaSO<sub>4</sub>);

- КССБ-2М;
- медный купорос (CuSO<sub>4</sub>);
- сульфенол;
- стекло натриево жидкое (ЖС);
- Atren Light;
- метасиликат натрия (Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>);
- ФХЛС-МН.

Для определения времени «гашения» оксида кальция готовилась сухая смесь из оксида кальция и замедляющего реагента в определенных пропорциях. Данная смесь затворялась пресной водой при водосмесевом отношении 0,7. Временем реакции гидратации считался интервал времени от момента затворения сухой смеси до момента закипания жидкости затворения. В ряде случаев замедляющий реагент предварительно растворялся в воде затворения. Испытания проводились при атмосферном давлении и температуре окружающей среды 22 °С.

Результаты исследований замедления реакции гидратации оксида кальция приведены в табл. 2 и на рис. 1 и 2.

В ходе опытов выявлено, что введение в тампонажный состав медного купороса не приводило к схватыванию тампонажного раствора в течении 24 ч, поэтому данная добавка была исключена из дальнейших экспериментов. При гидратации состава № 2 не было зафиксировано время гашения извести, вследствие чего данная добавка также была исключена из дальнейших опытов. Состав № 8 был исключен по причине растрескивания цементного камня даже при введении малых концентраций данной добавки. Также было решено разделить испытываемые составы на две группы по времени протекания реакции:

- 1) время гашения оксида кальция менее 60 мин;
- 2) время гашения оксида кальция более 60 мин.

Данное разделение позволило исключить из дальнейших экспериментов ряд добавок, которые не соответствуют срокам реакции гидратации.

Таблица 2

Реакция гидратации оксида кальция с замедлителями

Номер состава	Компонентный состав смеси	Соотношение реагентов в сухой смеси, %	Время реакции, мин
1	CaO / ангидрит	80/20	3,5
2	CaO / ангидрит / КССБ-2М	80/17/3	более 300
3	CaO / медный купорос	90/10	26,2
4	CaO / медный купорос (предварительно разведенный в воде)	90/10	243,5
5	CaO / ЖС	98/2	2,5
6	CaO / ЖС	97/3	13
7	CaO / ЖС	96/4	34
8	CaO / ЖС	95/5	150,3
9	CaO / метасиликат натрия	98/2	1,5
10	CaO / Atr Light	98/2	6,5
11	CaO / Atr Light (предварительно разведенный в воде)	98/2	130
12	CaO / Atr Light	96/4	127
13	CaO / КССБ-2М	98/2	39
14	CaO / КССБ-2М	97/3	75
15	CaO / ТПФН	90/10	20
16	CaO / ТПФН	80/20	19
17	CaO / ФХЛС-МН	99/1	120

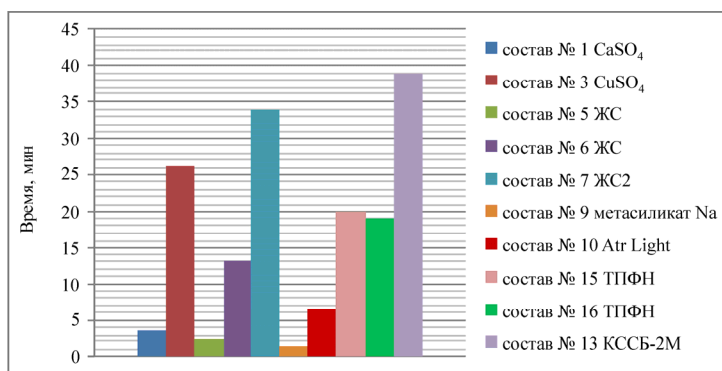


Рис. 1. Реакция гидратации оксида кальция. Время гашения менее 60 мин

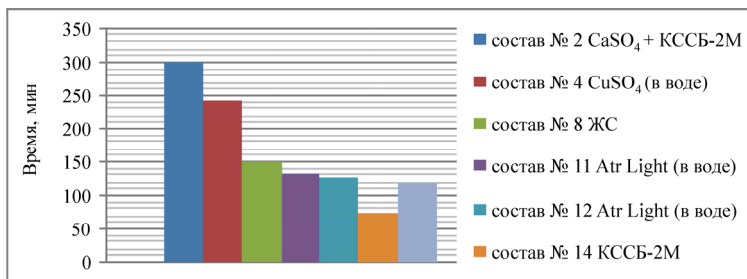


Рис. 2. Реакция гидратации оксида кальция. Замедление более 60 мин

По результатам проведенных исследований и с учетом исключяющих факторов выявлено, что наиболее оптимальными для применения в качестве расширяющих добавок являются составы № 11 (СаО / Atren Light), № 14 (СаО / КССБ-2М) и № 17 (СаО / ФХЛС-МН) (см. табл. 2). Данные составы были выбраны как перспективные для проведения испытаний с базовым тампонажным раствором.

### Заключение

Проведенный анализ позволил выявить оксидный тип расширения тампонажных составов как наиболее перспективный. Допускается одновременное

применение нескольких механизмов расширения.

Определены основные требования к параметрам тампонажного раствора и цементного камня, обеспечивающие создание герметичной крепи скважины. С целью исследования расширяющих добавок разработана рецептура базового тампонажного раствора, удовлетворяющая требованиям технологических параметров.

В качестве основы расширяющей добавки выбран оксид кальция, реакция гидратации которого контролируется вводом добавок лигносульфонатов или метасиликатов натрия.

### Список литературы

1. Improving oil well cement slurry performance using hydroxypropylmethylcellulose polymer / G. Abbas, S. Irawan, S. Kumar, A.A.I. Elrayah // *Advanced Materials Research*. – 2013. – Vol. 787. – P. 222–227. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.787.222
2. Technology for liner cementing in Well 1 of storage Bai-6, Bannan, Dagang / J. Jin, W. Xie, H. Zhang, G. Wang, Z. Zhou // *Drilling Fluid and Completion Fluid*. – 2014. – № 31(6). – P. 58–61. DOI: 10.3969/j.issn.1001-5620.2014.06.016
3. Куницких А.А., Чернышов С.Е., Русинов Д.Ю. Влияние минеральных добавок на прочностные характеристики тампонажного камня // *Нефтяное хозяйство*. – 2014. – № 8. – С. 20–23.
4. Мелехин А.А., Чернышов С.Е., Турбаков М.С. Расширяющиеся тампонажные составы для ликвидации поглощений при креплении обсадных колонн добывающих скважин // *Нефтяное хозяйство*. – 2012. – № 3. – С. 50–52.
5. Васильева К.Е., Мелехин А.А., Крысин Н.И. Расширяющиеся тампонажные составы для установки цементных мостов при ликвидации поглощений // *Нефтяное хозяйство*. – 2014. – № 6. – С. 28–30.
6. Ismailov A.A., Kabdulov S.Z., Tikebayev T.A. Analysis of the existing methods for elimination of cement slurry losses while well cementing // *International Journal of Chemical Sciences*. – 2013. – № 11(1). – P. 150–158.
7. Исследование расширяющей способности тампонажных составов на основе портландцементов / С.Е. Чернышов [и др.] // *Нефтяное хозяйство*. – 2013. – № 11. – С. 104–106.
8. Кравченко И.В. Расширяющиеся цементы. – М.: Госстройиздат, 1962. – 155 с.
9. Овчинников В.П., Родер С.А., Белей И.И. Результаты исследований объемных изменений при твердении тампонажных растворов с расширяющими добавками в условиях умеренных температур // *Бурение и нефть*. – 2013. – № 3. – С. 25–28.
10. Герасимов М.П., Ломоносов В.В., Чжао П.Х. Тампонажные расширяющиеся цементы // *Бурение газовых и газоконденсатных скважин*. – 1980. – № 4.
11. Пат. № 2211194 Российская Федерация, МПК 7С 04В 7/02 А. Расширяющая добавка, гидравлическое вяжущее с указанной добавкой и способ его изготовления / Юдович Б.Э., Кириллов Г.М., Грилли Д. – № 2002107243/03; заявл. 22.03.2002, опубл. 27.08.2003, Бюл. № 14.
12. Данюшевский В.С., Лигогонья Р.И. Расширяющийся тампонажный цемент для газовых скважин // *Цемент*. – 1966. – № 2. – С. 10–11.
13. Булатов А.И. Тампонажные материалы и технология цементирования скважин. – М.: Недра, 1977. – 325 с.
14. Investigating rheological properties of high performance cement system for Oil wells / K.R. Memon, M.T. Shuker, S.Q. Tunio, A.A. Lashari, G. Abbass // *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*. – 2013. – № 6(20). – P. 3865–3870.
15. A modified testing method for low density cement slurry / S. Zhang, Z. Li, X. Cheng, H. Luo, X. Guo // *Drilling Fluid and Completion Fluid*. – 2014. – № 31(3). – P. 65–68. DOI: 10.3969/j.issn.1001-5620.2014.03.017

### References

1. Abbas G., Irawan S., Kumar S., Elrayah A.A.I. Improving oil well cement slurry performance using hydroxypropylmethylcellulose polymer. *Advanced Materials Research*, 2013, vol. 787, pp. 222-227. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.787.222
2. Jin J., Xie W., Zhang H., Wang G., Zhou Z. Technology for liner cementing in Well 1 of storage Bai-6, Bannan, Dagang. *Drilling Fluid and Completion Fluid*, 2014, no. 31(6), pp. 58-61. DOI: 10.3969/j.issn.1001-5620.2014.06.016
3. Kunitskikh A.A., Chernyshov S.E., Rusinov D.Iu. Vliianie mineral'nykh dobavok na prochnostnye kharakteristiki tamponazhnogo kamnia [Effects of mineral additives on strength properties of grouting stone]. *Neftianoe khoziaistvo*, 2014, no. 8, pp. 20-23.

4. Melekhin A.A., Chernyshov S.E., Turbakov M.S. Rasshiraiushchiesia tamponazhnye sostavy dlia likvidatsii pogloshchenii pri krepilenii obsadnykh kolonn dobyvaiushchikh skvazhin [Expanding grouting mortars for lost-circulation control in output well casing columns]. *Neftianoe khoziaistvo*, 2012, no. 3, pp. 50-52.
5. Vasil'eva K.E., Melekhin A.A., Krysin N.I. Rasshiraiushchiesia tamponazhnye sostavy dlia ustanovki tsementnykh mostov pri likvidatsii pogloshchenii [Expanding grouting mortars for cement bridging in lost-circulation control]. *Neftianoe khoziaistvo*, 2014, no. 6, pp. 28-30.
6. Ismailov A.A., Kابدulov S.Z., Tikebayev T.A. Analysis of the existing methods for elimination of cement slurry losses while well cementing. *International Journal of Chemical Sciences*, 2013, no. 11(1), pp. 150-158.
7. Chernyshov S.E. [et al.]. Issledovanie rasshiraiushchei sposobnosti tamponazhnykh sostavov na osnove portlandtsementov [Research of expanding capacity of cement slurry based on portland cement]. *Neftianoe khoziaistvo*, 2013, no. 11, pp. 104-106.
8. Kravchenko I.V. Rasshiraiushchiesia tsementy [Expanding cements]. Moscow: Gosstroizdat, 1962. 155 p.
9. Ovchinnikov V.P., Roder S.A., Belei I.I. Rezul'taty issledovaniia ob'emnykh izmenenii pri tverdenii tamponazhnykh rastvorov s rasshiraiushchimi dobavkami v usloviakh umerennykh temperatur [Results of research into volume dynamics during solidification of cement slurry with expansion agents in moderate temperatures]. *Burenie i nefi'*, 2013, no. 3, pp. 25-28.
10. Gerasimov M.P., Lomonosov V.V., Chzhao P.Kh. Tamponazhnye rasshiraiushchiesia tsementy [Expanding cement slurry]. *Burenie gazovykh i gazokondensatnykh skvazhin*, 1980, no. 4.
11. Iudovich B.E., Kirillov G.M., Grilli D. Rasshiraiushchaia dobavka, gidravlichesкое viazhushchee s ukazannoi dobavkoi i sposob ego izgotovleniia [Expansion agent, hydraulic binding agent with the additive and its production method]. Patent 2211194 Russian Federation, MPK 7S 04V 7/02 A. No. 2002107243/03; submitted 22.03.2002, published 27.08.2003, Bulletin No. 14.
12. Daniushevskii B.C., Liogon'kaia R.I. Rasshiraiushchiesia tamponazhnyi tsement dlia gazovykh skvazhin [Expanding cement slurry for gas wells]. *Tsement*, 1966, no. 2, pp. 10-11.
13. Bulatov A.I. Tamponazhnye materialy i tekhnologiia tsementirovaniia skvazhin [Grouting material and well cementing technology]. Moscow: Nedra, 1977. 325 p.
14. Memon K.R., Shuker M.T., Tunio S.Q., Lashari A.A., Abbass G. Investigating rheological properties of high performance cement system for Oil wells. *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*, 2013, no. 6(20), pp. 3865-3870.
15. Zhang S., Li Z., Cheng X., Luo H., Guo X. A modified testing method for low density cement slurry. *Drilling Fluid and Completion Fluid*, 2014, no. 31(3), pp. 65-68. DOI: 10.3969/j.issn.1001-5620.2014.03.017

### Об авторе

**Куницких Артем Александрович** (Пермь, Россия) – аспирант кафедры нефтегазовых технологий Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29; e-mail: artem\_kunitskikh@mail.ru).

### About the author

**Artem A. Kunitskikh** (Perm, Russian Federation) – Postgraduate Student, Department of Oil-and-Gas Technology, Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, Komsomolsky av., 29; e-mail: artem\_kunitskikh@mail.ru).

Получено 18.06.2015

Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом:

Куницких А.А. Исследование и разработка расширяющих добавок для тампонажных составов // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2015. – № 16. – С. 46–53. DOI: 10.15593/2224-9923/2015.16.5

Please cite this article in English as:

Kunitskikh A.A. Research and development of expansion agents for grouting mortars. *Bulletin of PNRPU. Geology. Oil & Gas Engineering & Mining*, 2015, no. 16, pp. 46-53. DOI: 10.15593/2224-9923/2015.16.5