БУРЕНИЕ НЕФТЯНЫХ И ГАЗОВЫХ СКВАЖИН

DOI: 10.15593/2224-9923/2015.17.3

УДК 622.245.422

© Кожевников Е.В., 2015

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ТАМПОНАЖНЫХ РАСТВОРОВ ДЛЯ КРЕПЛЕНИЯ СКВАЖИН И БОКОВЫХ СТОЛОВ С НАКЛОННЫМИ И ГОРИЗОНТАЛЬНЫМИ УЧАСТКАМИ

Е.В. Кожевников

Национальный минерально-сырьевой университет «Горный»,
Санкт-Петербург, Россия

Практика цементирования скважин с горизонтальными и наклонными участками показывает, что расслоение цементного раствора у верхней границы ствола скважины приводит к возникновению заколонных перетоков при ее эксплуатации. Это существенно снижает эффективность разработки залежи в целом. Одной из основных причин появления заколонных перетоков является применение тампонажных составов, не удовлетворяющих условиям скважины. Очевидно, что основным способом повышения качества цементирования скважин является изменение свойств тампонажного раствора путем регулирования его состава. Введение различных добавок позволяет в известной степени изменять основные характеристики цементного раствора, причем некоторые из них изменяются в диаметрально противоположном направлении, улучшение одних свойств неизбежно приводит к ухудшению других. Высокая седиментационная устойчивость и прокачиваемость тампонажного раствора как раз являются одними из таких свойств. При цементировании бокового ствола высокая степень прокачиваемости тампонажного раствора является основным требованием к его составу. В условиях малого кольцевого пространства забойное давление при закачке цементного раствора может достигать значений, превышающих давления поглощения и гидроразрыва пласта, что сказывается на успешности операции по креплению бокового ствола и дальнейшей продуктивности скважины. Ввиду малого размера получаемого цементного кольца тампонажный камень также должен обладать повышенными прочностными характеристиками.

В работе представлены результаты исследования влияния различных минеральных добавок на свойства тампонажного раствора. Предложены составы седиментационно устойчивых расширяющихся высокоподвижных тампонажных композиций для крепления наклонных и горизонтальных скважин и боковых стволов.

Ключевые слова: цементирование горизонтальных скважин, боковые стволы, тампонажный раствор, седиментация, продуктивность скважины, гидроразрыв пласта, полимеры, расширяющиеся тампонажные материалы, обсадная колонна, призабойная зона пласта, поверхностно-активные вещества, пластификаторы, адгезия, контракция, гидратация.

STUDY OF PROPERTIES OF CEMENT SLURRIES FOR HORIZONTAL WELL AND SIDETRACK CEMENTING

E.V. Kozhevnikov

National mineral resources university (University of Mines),
Saint Petersburg, Russian Federation

Annular flows during the exploitation of oil and gas wells significantly reduce the efficiency of field development in general. One of the main causes of the annular flow is the use of cementing compositions which do not satisfy the conditions of the well. Obviously, the main way to improve the quality of cementing is a change in the properties of cement slurry by adjusting its composition. Introduction of various additives to a certain extent alter the basic characteristics of the cement slurry, and some of them vary in the opposite direction, improving one property results in the inevitable deterioration of others. High sedimentation stability and pumpability of cement slurry are just some of these properties. While cementing sidetracks high pumpability of cement slurry is a basic requirement for its composition. In the condition of small annulus, bottomhole pressure when pumping the slurry can reach values exceeding leak off and fracturing pressure that affects the success of the operation and subsequent well productivity. Also, since the small size of the cement stone it must have high strength characteristics.

The results of studies of the effect of different mineral additives on the properties of cement slurry are presented. Expanding sedimentary-stable and highly mobile cementing compositions for attaching directional and horizontal wells and sidetracks are offered.

Keywords: horizontal well cementing, sidetracks, cement slurry, sedimentation, well productivity, hydraulic fracturing, polymers, expanding cement slurries, casing, formation pay zone, surfactants, plasticizers, adhesion, contraction, hydration.

Введение

Известно, что решающим фактором, влияющим на качество цементирования скважин с наклонными и горизонтальными участками, является седиментационная устойчивость тампонажного раствора. Наличие водоотделения обуславливает возникновение заколонных перетоков вследствие образования каналов в цементном камне под «висячей» стенкой скважины. Для достижения высокой седиментационной устойчивости тампонажные растворы стабилизируют посредством ввода различных реагентов. В зависимости от природы действия добавок выделяют следующие механизмы стабилизации тампонажных растворов:

- электростатическая стабилизация;
- стабилизация уменьшением размера частиц сухого цемента;
- стерическая стабилизация;
- вытеснительная стабилизация.

Электростатическая стабилизация основана на взаимодействии частиц цемента между собой и присутствует в коллоидных системах всегда. Для повышения ее влияния на седиментационную устойчивость в растворы добавляют электролиты (соли). Недостатком данного способа является быстрое загустевание раствора и, как следствие, снижение прокачивающей способности.

Стабилизация уменьшением размера частиц вяжущего (использование микроцементов) обусловлена меньшим радиусом цементных зерен в растворе и, как следствие, низкой скоростью оседания цемента, сравнительно высокой степенью их электростатического взаимодействия. Высокая стоимость микроцементов, а также возникновение внутренних напряжений в камне и снижение его прочности являются основными недостатками применения тонкомолотых минеральных вяжущих.

Как стерическая, так и вытеснительная стабилизации основаны на применении полимеров и являются наиболее распространенными методами. Ввод стабилизирующих добавок в первом

случае способствует адсорбции полимера на зерне цемента, увеличению его диаметра и снижению общей плотности, а также связыванию части свободной воды. При вытеснительной стабилизации происходит загущение свободной воды затворения и снижение скорости оседания частиц.

Исследование полимерного стабилизатора тампонажных растворов

Лабораторные исследования [1–5] и обзор литературных источников показывают, что на сегодняшний день наиболее эффективными добавками к тампонажным цементам являются полимеры, обладающие вытеснительной природой стабилизации, например такие, как гидроксипропилцеллюлоза (ГЭЦ).

На кафедре бурения скважин Горного университета проводятся исследования по разработке седиментационно устойчивых тампонажных составов. Были проведены исследования влияния добавки гидроксипропилцеллюлозы марки 400 производства ЗАО «Полицелл» на седиментационную устойчивость тампонажного раствора в зависимости от пространственного положения модели ствола скважины. Модель выполнена из прозрачного цилиндра с герметичными пробками на торцах и может располагаться как вертикально, так и горизонтально. Установлено, что при концентрации ГЭЦ более 0,2 % водоотделение у тампонажного раствора в вертикальном цилиндре отсутствует. Однако при размещении раствора в горизонтальной модели скважины отделение воды наблюдается даже при увеличении концентрации реагента (табл. 1).

Горизонтальное расположение модели скважины способствует ускоренному оседанию частиц цемента (эффект Бойкотта), в результате чего в верхней части формируется пленка воды. Низкая прочность тиксотропной структуры цементного раствора также приводит к водоотделению вследствие слабого взаимодействия между зернами цемента, так как

Т а б л и ц а 1

Влияние добавки-стабилизатора на растекаемость и седиментационную устойчивость тампонажного состава

№ п/п	Концентрация ГЭЦ 400, %	Растекаемость, мм	Наличие водоотделения в вертикальном цилиндре	Наличие водоотделения в горизонтальном цилиндре
1	–	250	Да	Да
2	0,1	230	Да	Да
3	0,2	220	Нет	Да
4	0,3	190	Нет	Да

Таблица 2

Свойства тампонажных растворов со структурообразующими добавками
(температура 30 °С)

№ п/п	Добавка	Количество, %	Растекаемость, мм	Время загустевания до 30 Вс	Объем отделившейся воды, мл
1	—	—	250	450	4,5
2	CaCl ₂	2	215	360	1,8
		3	205	310	0,9
3	NaNO ₃	2	220	400	1,7
		3	225	370	1,1
4	FeSO ₄ ·(NH ₄) ₂ SO ₄	0,2	220	420	2,5
		0,4	200	380	1,8
		1	180	320	1,0
		0,2	210	320	1,2
5	Al ₂ (SO ₄) ₃	0,4	195	300	1,1
		0,4	215	370	2,0
6	Al ₂ (OH) _n Cl ₆	0,8	190	340	1,4
		0,4	220	380	1,7
7	KCr(SO ₄) ₂	0,8	195	330	1,2
		0,4	220	380	1,7
8	Na ₂ O(SiO ₂) _n	3	190	350	1,6
9	CaSO ₄ ·0,5H ₂ O	3	210	320	1,2
10	Глиноземистый цемент ГЦ 40	5	220	320	1,3
		10	225	250	0,5
		15	225	200	0,1
		20	230	160	0

добавка полимера блокирует доступ свободной воды к частицам минерального вяжущего, замедляя его гидратацию и снижая образование коагуляционных связей.

Исследования влияния структурообразующих добавок на седиментационную устойчивость тампонажного раствора

Для снижения водоотделения в условиях горизонтальных и наклонных участков скважин необходимо, чтобы раствор образовывал тиксотропную структуру сразу после его закачки в затрубное пространство. В связи с этим авторами проведены исследования влияния структурообразующих добавок на свойства цементного раствора. Методикой исследования предусматривается перемешивание цементного раствора в консисометре в течение 60 минут с последующей заливкой в стеклянный цилиндр и установкой его в горизонтальном положении. Далее наблюдают за образованием канала жидкости затворения, и через 90 минут производится отбор отстоявшейся воды и измерение ее объема.

Базовый состав содержит: портландцемент ПЦГ I-50, суперпластификатор С-3 – 1,3 % и ГЭЦ 400 – 0,2 %. Результаты исследования тампонажных растворов с добавками

структурообразующих реагентов представлены в табл. 2.

Результаты исследований показывают, что введение солей в базовый состав снижает водоотделение из цементного раствора, но приводит к существенному его загущению. При добавке солей, в результате их электролитического действия, на цементных зернах происходит образование ионных оболочек, снижающих свободный поверхностный потенциал, что приводит к коагуляции частиц цемента, образованию крупных агрегатов и частичному связыванию свободной воды [6]. Следует отметить, что данные явления протекают сразу после начала затворения и приводят к снижению растекаемости раствора. Наличие полимера и пластификатора также снижает дальнейшую растворимость вяжущего и замедляет образование коагуляционных связей.

Положительное действие добавки глиноземистого цемента ГЦ 40 на седиментационную устойчивость тампонажного раствора обусловлено ускоренной гидратацией его минералов и, как следствие, созданием достаточно прочной тиксотропной структуры. Растворение алюминатов и их гидратация происходят в короткие сроки даже при наличии в растворе пластификатора и полимера, в результате чего пока зерна портландцемента находятся в инкубационном периоде, кристаллизация гидратов алюмината

Рис. 1. Зависимость консистенции тампонажного раствора от времени

кальция происходит на их поверхности [7]. Ввиду невысокой прочности образующихся оболочек, состоящих преимущественно из трехкальциевых гидроалюминатов, раствор остается достаточно подвижным, при этом седиментационная устойчивость повышается и водоотделение снижается до нуля.

В результате проведенных исследований был разработан тампонажный состав для крепления скважин с наклонными и горизонтальными участками, содержащий в качестве вяжущего смесь портландцемента ПЦТ I-50 и глиноземистого цемента ГЦ 40 в соотношении 80:20, с добавками суперпластификатора С-3 – 1,3 % и ГЭЦ 400 – 0,2 %. Полученный тампонажный камень обладает следующими физико-механическими свойствами: прочностью на изгиб – 4,7 МПа, на сжатие – 13,0 МПа, адгезией к стальной поверхности – 1,6 МПа, расширением – 0,3 %. Данные характеристики соответствуют требованиям ГОСТ 1581-96.

Исследование свойств тампонажных растворов на основе портландцемента и глиноземистого цемента

Однако полученный цементный раствор имеет высокую начальную консистенцию (16 Вс) (рис. 1), которая интенсивно возрастает, и к 50 минутам достигает показателя 20 Вс, и далее продолжает расти, что, естественно, приводит к ухудшению его прокачиваемости.

В этой связи были проведены исследования влияния соотношения ГЦ/ПЦТ на подвижность цементного раствора и физико-механические свойства цементного камня.

На рис. 2 показаны результаты исследования зависимости консистенции раствора от соотношения минеральных вяжущих в его составе. Из графиков видно, что увеличение концентрации глиноземистого цемента приводит к значительному снижению подвижности раствора в ранние сроки твердения в связи с тем,

Рис. 2. Зависимость изменения консистенции тампонажных растворов от соотношения ГЦ/ПЦТ

что повышение показателя ГЦ/ПЦТ в смеси способствует ускоренному образованию быстротвердеющих минералов, таких как трехкальциевый гидроалюминат [8].

Помимо времени загустевания тампонажных растворов исследовались прочностные показатели, а также степень расширения получаемого камня. Результаты представлены в табл. 3.

Таблица 3

Физико-механические свойства тампонажного камня

ГЦ/ ПЦТ	Прочность, МПа			Адгезия к стали, МПа	Расшире- ние через 2 суток, %
	при изгибе	на сжатие через 2 суток	на сжатие через 7 суток		
0,26	4,7	13,0	18,7	1,6	0,3
0,36	3,0	5,6	14,7	1,4	0,5
0,40	1,1	1,9	8,8	0,9	0,5

Исследования физико-механических свойств тампонажного камня показывают, что добавка глиноземистого цемента способствует его расширению при одновременном снижении его прочностных и адгезионных характеристик. Снижение прочности вызвано различной скоростью твердения ПЦТ и ГЦ, так как гидратация алюминатных составляющих глиноземистого цемента протекает быстрее с пересыщением раствора продуктами гидратации и снижением растворимости портландцемента, в результате чего каркас полученного камня представлен слабыми минералами гидроалюмината кальция [9–11].

Как видно из рис. 3, при повышенном содержании глиноземистого цемента в смеси камень в ранние сроки твердения имеет крупнокристаллическую структуру. Это подтверждается исследованиями Ф.В. Лохера [12],

а

б

Рис. 3. Скол цементного камня (слева направо составы с ГЦ/ПЦТ 0,26; 0,36; 0,4, температура 30 °С): а – через 2 суток; б – через 7 суток

Содержание песка, %: — 0 — 20 — 30 — 40

Рис. 4. Зависимость изменения консистенции тампонажных растворов от содержания песка

показавшими, что при избытке алюминатных составляющих в цементе на поверхности его зерен образуются оболочки гидроалюминатов кальция, имеющие объемную рыхлую структуру, что приводит к раннему схватыванию и обуславливает низкую прочность камня, хотя в дальнейшем его прочность значительно увеличивается.

Для уменьшения начальной консистенции цементного теста в тампонажный состав вводят химически инертные наполнители, имеющие существенно меньшую удельную поверхность по сравнению с вяжущими [13]. Исследовалось изменение консистенции базового состава при частичной замене портландцемента на кварцевый песок в количестве

20, 30 и 40 мас. %. Результаты исследования влияния кварцевого песка на консистенцию тампонажного раствора представлены на рис. 4.

Из рис. 4 следует, что замена части вяжущего на кварцевый песок способствует снижению начальной консистенции раствора.

Кроме того, при соотношении ГЦ/ПЦТ, равном 0,36 и 0,4, в растворе водоотделение отсутствует, что свидетельствует о положительном влиянии наполнителя на седиментационную устойчивость системы (табл. 4).

Очевидно, что введение кварцевого песка в состав цементного раствора должно существенно отразиться на свойствах цементного камня. Это подтверждается результатами исследования, представленными в табл. 5.

Таблица 4

Влияние добавки кварцевого песка на седиментационную устойчивость тампонажного раствора

ГЦ/ПЦТ	Добавка песка, %	Водоотделение в горизонтальном цилиндре, см ³
0,26	20	0,1
	30	0,3
	40	0,6
0,36	20	0,0
	30	0,0
	40	0,0
0,40	20	0,0
	30	0,0
	40	0,0

Таблица 5

Влияние добавки кварцевого песка на физико-механические свойства тампонажного камня при ГЦ/ПЦТ = 0,36

Добавка песка, %	Прочность, МПа			Адгезия к стали, МПа	Расширение через 2 суток, %
	при изгибе	на сжатие через 2 суток	на сжатие через 7 суток		
0	3,0	5,6	14,7	1,40	0,5
20	2,9	6,4	8,6	0,92	—
30	2,0	3,9	6,5	0,85	—
40	1,1	2,3	4,6	0,76	—

Рис. 5. Зависимость физико-механических свойств тампонажного камня от содержания CaO

Для повышения контактной прочности цементного камня с породой и обсадной колонной твердеющему тампонажному составу необходимо обеспечить объемное расширение вплоть до момента образования цементного камня. В большинстве расширяющихся цементов используется кристаллизационное давление трехсульфатной формы гидросульфата алюмината кальция. Для кристаллизации этого соединения необходимо присутствие в водном растворе ионов Ca^{2+} , Al^{3+} и SO_4^{2-} при достаточно высоком pH среды [6]. Однако образование этtringита на стадии кристаллизации приводит к позднему расширению структуры с последующим ее разрушением. Поэтому для тампонажных цементов значительно больше подходят расширяющие добавки на оксидной основе, которые создают кристаллизационное давление в результате образования труднорастворимых гидроксидов на стадии гидратации и коагуляции [14]. В этой связи в качестве расширяющейся добавки к базовому составу использовался оксид кальция (CaO). Исследования проводились с добавкой негашеной извести от 2 до 10 %, их результаты представлены на рис. 5.

Исследования влияния CaO на физико-механические свойства полученного цементного камня показали, что добавка негашеной извести способствует улучшению прочностных характеристик камня и его расширению. Во всех случаях при увеличении содержания CaO в смеси до 10 % прочность тампонажного камня на изгиб увеличивается более чем на 60 %. Наибольшее значение адгезии к стали наблюдается при добавке CaO в количестве от 4 до 6 %.

Рис. 6. Зависимость изменения консистенции тампонажных растворов от содержания CaO

Также было исследовано влияние расширяющей добавки на консистенцию тампонажного раствора. Результаты представлены на рис. 6.

Исследования показали, что повышение содержания гидроксида кальция способствует сохранению подвижности раствора в течение длительного времени.

Снижение консистенции тампонажного раствора при добавке CaO вызывается ускоренным переходом одно- и двухкальциевых гидроалюминатов в более устойчивую форму — трехкальциевый гидроалюминат, обладающий замедленными вяжущими свойствами [6, 7]. Скорость перехода напрямую зависит от количества свободного гидроксида кальция.

Однако значительное увеличение сроков загустевания наблюдается только при совместной добавке кварцевого песка и негашеной извести (рис. 7). Их совместное действие обу-

Рис. 7. Изменение консистенции тампонажных растворов в зависимости от содержания негашеной извести и кварцевого песка

Таблица 6

Составы предлагаемых тампонажных растворов

№ состава п/п	ГЦ/ПЦТ	СаО, %	Кварцевый песок, %	Стабилизатор ГЭЦ 400, %	Суперпластификатор С-3, %	Пеногаситель, %
1	0,36	5	20	0,2	1,3	0,05
2		7				

Таблица 7

Свойства предлагаемых тампонажных растворов и камня

№ состава п/п	Растекательность, см	Плотность, кг/м ³	Консистенция, Вс		Время загустевания, мин		Сроки схватывания, мин		Прочность камня, МПа			Линейное расширение через 2 суток, %	Адгезия к стали через 2 суток, МПа
			начальная	через 60 мин	до 30 Вс	до 50 Вс	начало	конец	изгиб через 2 суток	сжатие через 2 суток	сжатие через 7 суток		
1	24	1820	10	16	260	300	380	450	3,1	7,4	12,3	3,7	1,44
2	23	1835	11	15	295	320	390	440	3,3	8,2	13,3	5,9	1,35

словлено тем, что в начальный период избыток гидроксида кальция способствует образованию рыхлых малопрочных минералов трехкальциевого гидроалюмината на частицах цемента [15]. Увеличение времени загустевания до продолжительности инкубационного периода портландцемента обеспечивает значительное увеличение прочности получаемого камня, так как его каркас усиливается прогидратированными зернами основного минерального вяжущего.

Заключение

Таким образом, результаты, полученные при проведении экспериментальных исследований свойств тампонажного раствора и камня, позволили разработать композицию седиментационно устойчивой расширяющейся тампонажной смеси (табл. 6, 7) для крепления скважин и боковых стволов с наклонными и горизонтальными участками.

Список литературы

- Мелехин А.А. Тампонажные работы в нефтяных и газовых скважинах // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2011. – № 1. – С. 62–67.
- Кунищких А.А., Чернышов С.Е., Крапивина Т.Н. Тампонажные составы для проведения ремонтно-изоляционных работ на нефтедобывающих скважинах // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2011. – № 1. – С. 53–61.
- Рябokonь С.А., Ашрафян М.О., Гринько Ю.В. Седиментационно-устойчивые тампонажные составы для цементирования горизонтальных и пологих скважин // Нефтяное хозяйство. – 2003. – № 4. – С. 98–101.
- Горонович С.Н., Цыцмуншин П.Ф., Коновалов Е.А. Тампонажные растворы для крепления наклонно направленных и горизонтальных скважин // Геология, геофизика и разработка нефтяных месторождений. – 2001. – № 2. – С. 31–32.
- Николаев Н.И., Кожевников Е.В. Повышение качества крепления скважин с горизонтальными участками // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2014. – № 11. – С. 29–37. DOI: 10.15593/2224-9923/2014.11.3.
- Данюшевский В.С. Проектирование оптимальных составов тампонажных цементов. – М.: Недра, 1978. – 293 с.
- Химия и технология специальных цементов / И.В. Кравченко, Т.В. Кузнецова, М.Т. Власова, Б.Э. Юдович. – М.: Стройиздат, 1979. – 208 с.
- Ларионова З.М., Никитина Л.В., Гарашин Л.В. Фазовый состав, микроструктура и прочность цементного камня и бетона. – М.: Стройиздат, 1977. – 319 с.
- Исследование влияния седиментации тампонажного раствора на свойства получаемого цементного камня / Е.В. Кожевников, Н.И. Николаев, О.А. Ожигибесов, Р.В. Дворецкас // Нефтяное хозяйство. – 2014. – № 6. – С. 23–25.
- Чернышов С.Е., Турбаков М.С., Крысин Н.И. Основные направления повышения эффективности строительства боковых стволов // Нефтяное хозяйство. – 2011. – № 8. – С. 98–100.
- Мелехин А.А., Чернышов С.Е., Турбаков М.С. Расширяющиеся тампонажные составы для ликвидации поглощений при крепении обсадных колонн добывающих скважин // Нефтяное хозяйство. – 2012. – № 3. – С. 50–52.
- Лохер Ф.В. Исследование механизма гидратации цемента // 6-й Международный конгресс по химии цемента. – М.: Стройиздат, 1974. – С. 122–133.
- Fujii K., Kondo W., Wataabe T. The hydration of portland cement immediately after mixing water // Cement-Klak-Gips. – 1970. – № 2.
- Чернышов С.Е. Совершенствование технологии строительства дополнительных стволов из ранее пробуренных скважин // Нефтяное хозяйство. – 2010. – № 6. – С. 22–24.
- Ulm F.-J., Coussy O. Strength growth as chemo-plastic hardening in early age concrete // Journal of Engineering Mechanics. – 1996. – Vol. 122, № 12. – P. 1123–1132.

References

1. Melekhin A.A. Tamponazhnye raboty v neftiannykh i gazovykh skvazhinakh [Cementing of oil and gas wells]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Geologiya. Neftegazovoe i gornoe delo*, 2011, no. 1, pp. 62-67.
2. Kunitskikh A.A., Chernyshov S.E., Kravtina T.N. Tamponazhnye sostavy dlia provedeniia remontno-izoliatsionnykh rabot na nefte dobyvaishchikh skvazhinakh [Cement slurries for isolation workovers on oil wells]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Geologiya. Neftegazovoe i gornoe delo*, 2011, no. 1, pp. 53-61.
3. Riabokon' S.A., Ashraf'ian M.O., Grin'ko Iu.V. Sedimentatsionno-ustoiichivye tamponazhnye sostavy dlia tsementirovaniia gorizonta'nykh i pologikh skvazhin [Sedimentary-stable cement slurries for horizontal and deviated well cementing]. *Neftiannoe khoziaistvo*, 2003, no. 4, pp. 98-101.
4. Goronovich S.N., Tsytymushkin P.F., Kononov E.A. Tamponazhnye rastvory dlia krepeleniia naklonno napravlennykh i gorizonta'nykh skvazhin [Cement slurries for deviated and horizontal well cementing]. *Geologiya, geofizika i razrabotka nefiannykh mestorozhdenii*, 2001, no. 2, pp. 31-32.
5. Nikolaev N.I., Kozhevnikov E.V. Povyshenie kachestva krepeleniia skvazhin s gorizonta'nyimi uchastkami [Improved quality of horizontal well cementing]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Geologiya. Neftegazovoe i gornoe delo*, 2014, no. 11, pp. 29-37. DOI: 10.15593/2224-9923/2014.11.3.
6. Danushevskii V.S. Proektirovanie optimal'nykh sostavov tamponazhnykh tsementov [Design of optimal cement slurries compositions]. Moscow: Nedra, 1978. 293 p.
7. Kravchenko I.V., Kuznetsova T.V., Vlasova M.T., Iudovich B.E. Khimiia i tekhnologiia spetsial'nykh tsementov [Chemistry and technology of special cements]. Moscow: Stroizdat, 1979. 208 p.
8. Larionova Z.M., Nikitina L.V., Garashin L.V. Fazovyi sostav, mikrostruktura i prochnost' tsementnogo kamnia i betona [Phase composition, microstructure and strength of cement or concrete]. Moscow: Stroizdat, 1977. 319 p.
9. Kozhevnikov E.V., Nikolaev N.I., Ozhgibesov O.A., Dvoret'skas R.V. Issledovanie vliianiia sedimentatsii tamponazhnogo rastvora na svoistva poluchaemogo tsementnogo kamnia [Study of cement slurry sedimentation influence on obtaining cement properties]. *Neftiannoe khoziaistvo*, 2014, no. 6, pp. 23-25.
10. Chernyshov S.E., Turbakov M.S., Krysin N.I. Osnovnye napravleniia povysheniia effektivnosti stroitel'stva bokovykh stvolov [Main direction to increase sidetracks construction efficiency]. *Neftiannoe khoziaistvo*, 2011, no. 8, pp. 98-100.
11. Melekhin A.A., Chernyshov S.E., Turbakov M.S. Rasshiriaushchiesia tamponazhnye sostavy dlia likvidatsii pogloshchenii pri krepelenii ob-sadnykh kolonn dobyvaishchikh skvazhin [Expanding cement slurries for lost circulation control during production well cementing]. *Neftiannoe khoziaistvo*, 2012, no. 3, pp. 50-52.
12. Lokher F.V. Issledovanie mekhanizma gidratatsii tsementa [Study of cement hydration mechanism]. *6 Mezhdunarodnyi kongress po khimii tsementa*. Moscow: Stroizdat, 1974, pp. 122-133.
13. Fujii K., Kondo W., Wataabe T. The hydration of portland cement immediately after mixing water. *Cement-Klak-Gips*, 1970, no. 2.
14. Chernyshov S.E. Sovershenstvovanie tekhnologii stroitel'stva dopolnitel'nykh stvolov iz ranee proburenykh skvazhin [Upgrade of technology of construction of sidetracks from parent well]. *Neftiannoe khoziaistvo*, 2010, no. 6, pp. 22-24.
15. Ulm F.-J., Coussy O. Strength growth as chemo-plastic hardening in early age concrete. *Journal of Engineering Mechanics*, 1996, vol. 122, no. 12, pp. 1123-1132.

Об авторе

Кожевников Евгений Васильевич (Санкт-Петербург, Россия) – аспирант кафедры бурения скважин Национального минерально-сырьевого университета «Горный» (199106, г. Санкт-Петербург, Васильевский остров, 21-я линия, 2; e-mail: kozhevnikov_evvg@mail.ru).

About the author

Evgenii V. Kozhevnikov (Saint-Petersburg, Russia) – postgraduate student at Oil and Gas Department of National Mineral Resources University (University of Mines) (199106, 21 Line, Vasilevsky island, St.-Petersburg, e-mail: kozhevnikov_evvg@mail.ru).

Получено 25.09.2015

Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом:

Кожевников Е.В. Исследование свойств тампонажных растворов для крепления скважин и боковых стволов с наклонными и горизонтальными участками // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2015. – № 17. – С. 24–31. DOI: 10.15593/2224-9923/2015.17.3

Please cite this article in English as:

Kozhevnikov E.V. Study of properties of cement slurries for horizontal well and sidetrack cementing. *Bulletin of PNRPU. Geology. Oil & Gas Engineering & Mining*, 2015, no. 17, pp. 24-31. DOI: 10.15593/2224-9923/2015.17.3