

СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЙ ЖУРНАЛ

БУРЕНИЕ & НЕФТЬ



KSA DEUTAG
МБУ Уралмаш 3200/200 ДЭР

Новое поколение тяжелых мобильных установок – Уралмаш 3200/200 ДЭР

Пл. Первой пятилетки,
Екатеринбург, 620012,
тел.: +7 343 336 6492,
факс: +7 343 336 6038,
rig@integra.ru



6 ИЮНЬ
2007

Специальные тампонажные материалы для цементирования обсадных колонн в скважинах с различными термобарическими условиями

И.И. БЕЛЕЙ, к.т.н., ведущий научный сотрудник, Н.Е. ЩЕРБИЧ, к.т.н., нач. отдела, ООО «ТюменНИИГипрогаз»
Е.Б. ЦЫПКИН, генеральный директор, ООО «Гранула»
В.В. ВЯЛОВ, нач. отдела, ООО «Юрхаровнефтегаз»

Для повышения качества цементирования обсадных колонн в газовых, газоконденсатных и нефтяных скважинах очень важным является разработка и внедрение многокомпонентных тампонажных систем со специальными функциональными характеристиками, определяемыми назначением и технологическими особенностями проведения работ по цементированию. Как правило, такие тампонажные системы включают в качестве вяжущего компонента тампонажные портландцементы типа ПЦТ 1-50, ПЦТ 1-100 или ПЦТ 1-G-CC-1 и различные виды добавок: облегчающие, утяжеляющие, ускоряющие начало твердения растворов при низких положительных и отрицательных температурах. Они замедляют начало твердения растворов при умеренных и повышенных температурах, понижают водоотдачу, повышают стабильность, обеспечивают расширение камня в процессе твердения, армируют тампонажный камень, снижают его проницаемость и т.д. Основная масса добавок в большинстве случаев предварительно смешивается в сухом виде с тампонажным портландцементом, и затем смесь доставляется к месту проведения работ по цементированию обсадных колонн.

Учитывая многокомпонентность систем, особые требования предъявляются к обеспечению соответствия применяемых в реальных условиях смесей по видам и количеству добавок данным предшествующего лабораторного тестирования. В связи с этим в последние годы все большее применение получает технологическая схема обеспечения тампонажными смесями, предусматривающая доставку на основные базы хранения, месторождения (или отдельные скважины) приго-

SPECIAL SLURRY MATERIALS FOR CEMENTATION OF CASING IN THE WELLS WITH VARIOUS TERMOBAROMETRIC CONDITIONS

I. BELEY, N. SCHERBICH, ООО TumenNIIGiprogaz, E. TSYPKIN, ООО Granula
V. VJALOV, ООО Urkharovneftegaz
Special slurry systems include the portlandcements with the various additives influencing to the properties of the cement slurries.

товленных в заводских условиях смесей с необходимым соотношением компонентов для затворения тампонажных растворов заданной плотности и технологических характеристик. При такой схеме лишь отдельные быстрорастворимые компоненты вводятся непосредственно на месторождении в жидкость затворения в соответствии с результатами предварительного лабораторного анализа смеси, что обеспечивает требуемую корректировку основных технологических свойств тампонажного раствора в соответствии с условиями цементирования.

По нашему мнению, указанная технологическая схема является более предпочтительной в особенности при строительстве небольшого количества скважин на отдаленных месторождениях или поисково-разведочных скважин при наличии дорожного сообщения только в зимний период, когда использование специальных цехов смешивания компонентов становится нерентабельным. Практикуемая в этих случаях технология покомпонентного затаривания в бункеры цементно-смесительных машин портландцемента и добавок с последующей 2 — 3-разовой перегрузкой шнеками из бункера в бункер достаточно продолжительна по времени, трудоемка и не обеспечивает требуемой однородности сухих смесей при вводе нескольких компонентов в небольших количествах.

Применительно к технологической схеме цементирования обсадных ко-

лонн с готовыми тампонажными смесями ООО «ТюменНИИГипрогаз» и предприятием ООО «Гранула» разработаны различные унифицированные составы смесей и технология смешения при наличии в составе пяти и более компонентов. Унифицированные смеси являются готовым материалом, при необходимости на месторождении в жидкость затворения могут быть добавлены легко-растворимые специальные реагенты (типа ускорителей или замедлителей загустевания и начала схватывания растворов).

При изоляции затрубного пространства обсадных колонн, спускаемых для перекрытия интервалов многолетне-мерзлых пород (ММП), рекомендовано применение цемента тампонажного расширяющегося низкотемпературного (ЦТРО) по ТУ 5734-003-74364232-2006. В соответствии с техническими условиями предусмотрена модификация ЦТРО (по согласованию с заказчиком) добавками специальных материалов: армирующих (ЦТРО-Арм); кольматирующих (ЦТРО-К); повышающих прочность камня (ЦТРО-П). Преимуществом составов ЦТРО-Арм с калиброванными микрофибрами является возможность формирования равномерно армированного по объему безусадочного камня, стойкого к ударным нагрузкам и обладающего лучшим сцеплением с металлом трубы по сравнению с базовым составом.

ЦТРО является унифицированным материалом, который без дополнитель-

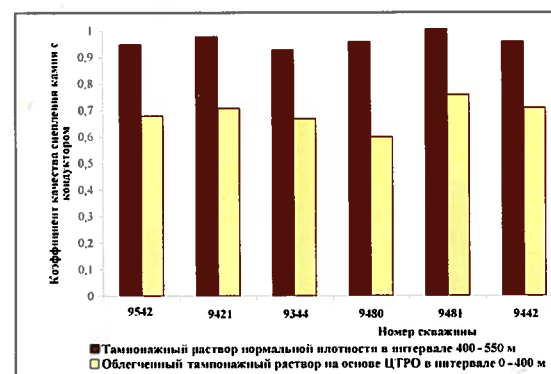


Рис. 1. Соотношение обобщенных коэффициентов качества сцепления тампонажного камня с кондуктором при использовании ЦТРО на Харвутинской площади

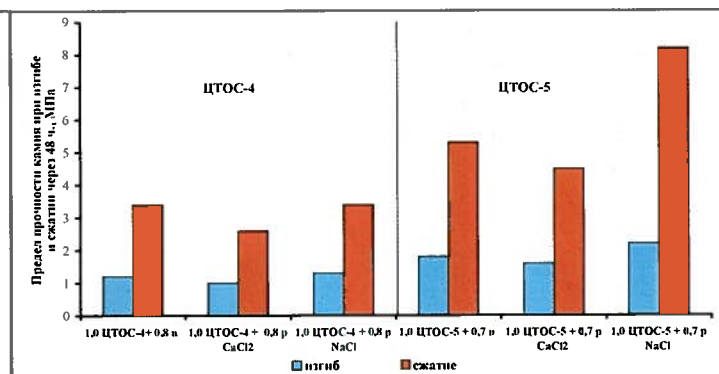


Рис. 2. Прочностные характеристики камня облегченных тампонажных растворов на основе ЦТОС-4 и ЦТОС-5 с добавками солей при нормальных температурах

ных обработок может применяться для цементирования обсадных колонн при статических температурах до 30°C. В качестве противоморозной добавки, а также с целью ускорения затвердевания тампонажного раствора и интенсификации набора ранней прочности камня немодифицированного состава ЦТРО при нулевых и низких положительных температурах рекомендуется добавлять в жидкость затворения хлорид кальция или хлорид натрия (до 5% от массы смеси).

Основные физико-механические характеристики тампонажных растворов и камня на основе ЦТРО показаны в табл. 1.

В период 2005 — 2006 гг. ЦТРО применялся филиалом «Тюменбурггаз» при цементировании кондукторов в зоне ММП и эксплуатационных колонн в сеноманских скважинах на Песцовой площади Уренгойского ГКМ, Харвутинской площади Ямбургского ГКМ, Заполярном ГКМ и др. На рис. 1 приведены некоторые результаты оценки качества цементирования кондукторов (по данным АКЦ) на Харвутинской площади при использовании облегченных тампонажных растворов на основе ЦТРО. Можно видеть, что в целом коэффициенты качества сцепления облегченного камня ЦТРО сопоставимы по различным скважинам и составляют не менее 0,6, т.е. контакт характеризуется преимущественно как «частичный». Это является достаточно высоким показате-

лем для облегченного тампонажного камня, твердеющего в условиях ММП, и свидетельствует о высокой гидратационной активности данного цемента при низких положительных и отрицательных температурах.

Для случаев цементирования обсадных колонн в интервалах с низкими градиентами гидроразрыва пород и проницаемых пластов с низкими давлениями при температурах от 15 до 100°C разработаны унифицированные цементы тампонажные облегченные стабилизированные (ЦТОС-4 и ЦТОС-5 по ТУ 5734-001-74364232-2006).

Облегченные цементы типа ЦТОС представляют собой смесь портландцемента и комплексной облегчающей добавки КОД-1 (ТУ 5734 — 002-7464232-2006), состав которой подобран из расчета приготовления стабильных, седиментационно-устойчивых тампонажных растворов с пониженной фильтрацией, формирующих при твердении безусадочный камень. Полидисперсные компоненты КОД-1 помимо высокой стабилизирующей способности характеризуются также активным взаимодействием с продуктами гидратации портландцемента и обеспечивают однородность структуры и низкую проницаемость камня, его термо- и коррозионную стойкость.

По основным физико-механическим характеристикам облегченные растворы на основе ЦТОС-4 и ЦТОС-5 соответствуют, а по прочностным показате-

лям камня превышают требования ГОСТ 1581-96, предъявляемые к облегченным цементам типа ПЦТ III Об-4-50 (100) и ПЦТ III Об-5-50 (100). В соответствии с техническими условиями предусмотрена модификация ЦТОС (по согласованию с заказчиком) с применением расширяющихся компонентов (цементы ЦТОС-4 и ЦТОС-5), армирующих материалов (цементы ЦТОС-4-Арм и ЦТОС-5-Арм) и их сочетания (цементы ЦТРОС-4-Арм и ЦТРОС-5-Арм).

Для условий низких положительных температур с целью сокращения сроков схватывания тампонажных растворов и интенсификации набора прочности камня в ранний период рекомендуется добавлять в воду затворения 4 — 6% (от массы смеси) хлоридов кальция или натрия. С учетом необходимой конечной прочности предпочтительней является добавка хлорида натрия, способствующая получению камня с более высокими прочностными характеристиками к моменту окончания ОЗЦ (рис. 2).

При умеренных температурах (от 51 до 100°C) тампонажные растворы на основе ЦТОС-4 и ЦТОС-5 характеризуются более высокой скоростью реакций гидратации компонентов и интенсивностью набора прочности камня в начальный период твердения по сравнению с другими видами цементов (рис. 3). Для регулирования времени загустевания и начала затвердевания облегченных тампонажных растворов в

Табл. 1. Физико-механические свойства тампонажного раствора и камня на основе ЦТРО

Состав раствора, мас/ч	Температура, °С	Плотность, г/см ³	Растекаемость, мм	Водоотделение, мл	Сроки схватывания, ч, мин		Прочность, МПа, через 2 сут		
					начало	конец	изгиб	сжатие	сцепление
1,0 ЦТРО + 0,55в	22	1,49	240	3,2	7 — 45	9 — 30	1,8	3,4	0,9
1,0 ЦТРО + 0,55р CaCl ₂ (1,03 г/см ³)	22	1,51	235	0,2	2 — 20	3 — 40	1,8	4,1	1,0
1,0 ЦТРО + 0,55р NaCl (1,03 г/см ³)	22	1,51	250	2,4	5 — 10	6 — 40	2,2	6,5	1,5
1,0 ЦТРО + 0,55р CaCl ₂ (1,03 г/см ³)	5	1,51	235	0,5	6 — 30	8 — 30	1,0	2,6	0,3
1,0 ЦТРО + 0,55р NaCl (1,03 г/см ³)	5	1,51	250	3,0	8 — 20	10 — 40	1,3	2,9	0,5

Примечание
Линейное расширение: состав 1 — 0,28%; состав 2 — 0,36%; состав 3 — 0,36%.

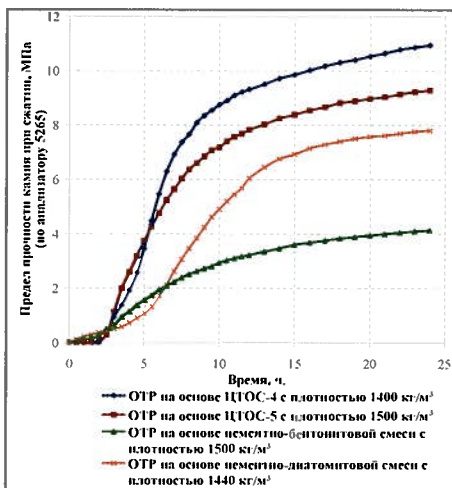


Рис. 3. Изменение прочности камня на сжатие в процессе твердения облегченных тампонажных растворов на основе различных типов цемента (температура 75°C; давление 40 МПа)

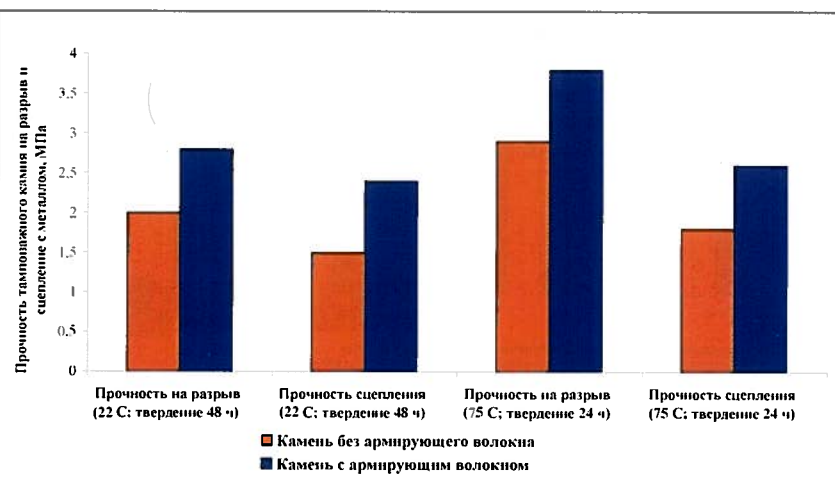


Рис. 4. Влияние добавок армирующего волокна на прочностные характеристики тампонажного камня на основе ЦТРС-50 и ЦТРС-100

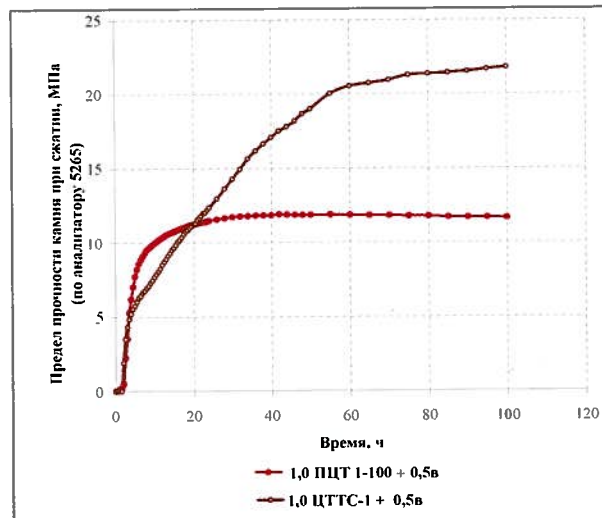


Рис. 5. Изменение прочности камня тампонажных растворов на основе ПЦТ 1-100 и ЦТТС-1 при длительном твердении в условиях повышенных температур (температура 120°C, давление 50 МПа)

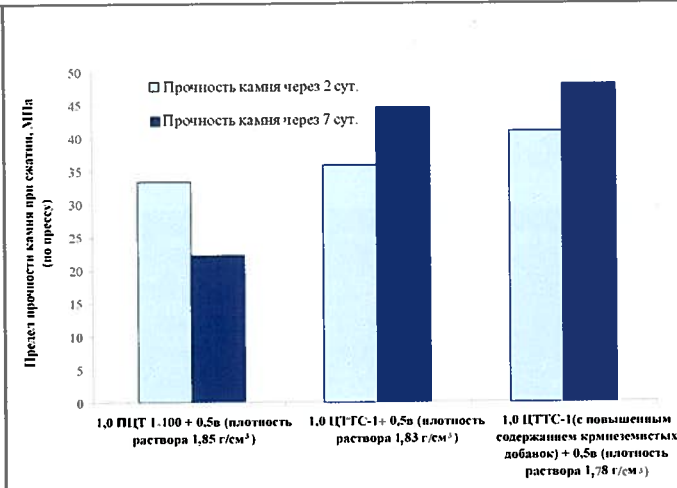


Рис. 6. Изменение прочности камня тампонажных растворов на основе ПЦТ 1-100 и ЦТТС-1 (по прессу) после 2 и 7 сут. твердения в условиях повышенных температур (температура — 120°C; давление — 50 МПа)

этом случае могут применяться стандартные замедляющие добавки.

Особенностью облегченных тампонажных растворов на основе ЦТОС-4 и ЦТОС-5 является формирование в процессе твердения безусадочного камня, прочность сцепления которого с металлом трубы через 48 ч. составляет от 1,0 МПа при нормальных температурах до 2,8 МПа при умеренных температурах. В случае ввода расширяющихся добавок в ЦТОС наблюдается увеличение прочности контакта камня с металлом трубы за счет оптимального расширения по времени и величине (не более 1,5%), что в условиях умеренных температур исключает опасность «саморазрушения» камня вследствие возникающих объемных деформаций.

Цементы ЦТОС прошли промышленные испытания при цементировании обсадных колонн в валанжинских и поисково-разведочных скважинах (глубиной до 3700 м) на Уренгойском и Ямбургском ГКМ [1], применялись ООО «Юрхаровнефтегаз» при строительстве скважин на Юрхаровском месторождении, Первой национальной Буровой Компанией на Каменной площади.

Для надежного разобщения продуктивных пластов в интервалах с нормальными и умеренными температурами и предотвращения заколонных перетоков в период эксплуатации скважины разработаны цементы тампонажные расширяющиеся стабилизированные ЦТРС-50 и ЦТРС-100 (ТУ 5734-007-74364232-2006). Данный вид цемента представляет собой смесь вяжущего вещества, активных полидисперсных кремнеземистых добавок и расширяющихся компонентов, обеспечивающих высокую седиментационную

устойчивость тампонажного раствора для условий цементирования обсадных колонн в вертикальных, наклонно-направленных и горизонтальных скважинах и создание низкопроницаемого цементного кольца с уплотняющимся во времени контактом с колонной и породами.

В соответствии с техническими условиями (по согласованию с заказчиком) предусмотрен выпуск ЦТРС с дополнительными специальными добавками: армирующими (ЦТРС-50 (100) — Арм); кольматирующими (ЦТРС-50 (100) — К); пластифицирующими (ЦТРС-50 (100) — Пл); понижающими водоотдачу (ЦТРС-50 (100) — В). Основные физико-механические характеристики растворов аномальной плотности и тампонажного камня на основе ЦТРС приведены в табл. 2.

Модификация ЦТРС-50 (100) — Арм предназначена для создания в за трубном пространстве изолирующего цементного кольца, устойчивого к динамическим ударным нагрузкам (перфорация обсадной колонны), деформациям изгиба, разрыва, сжатия, возникающим при строительстве наклонно-направленных (с большими отходами от вертикали) или с горизонтальным окончанием скважин, знакопеременным деформациям, возникающим при эксплуатации скважины или проведении работ по интенсификации притоков методом ГРП. Использование специального вида калиброванных микроволокон и технологии смешивания с цементом и добавками позволяют обеспечивать равномерное распределение волокон и армирование камня по всему объему. Помимо армирующего эффекта отмечается повышение прочности камня при разрыве и прочности сцепления с металлом трубы (рис. 4).

В 2006 г. тампонажным управлением филиала «Тюменбурггаз» были проведены работы по цементированию 426 мм кондуктора (спущенного на глубину 548 м) и 324 мм первой промежуточной колонны (спущенной на глубину 1404 м) в скважине №131 на Юрхаровском месторождении с применением цемента ЦТРС-50 — Арм. Промысловые работы показали технологичность приготовления тампонажных растворов с армирующей добавкой с применением стандартного цементировочного оборудования и возможность увеличения длины интервалов сплошного контакта армированного камня с колонной и породами в 1,5 — 1,8 раза.

Учитывая достаточно низкую термостойкость применяемых в настоящее время базовых тампонажных портландцементов типа ПЦТ 1-100 (не более 100°C), разработаны составы тампонажных материалов для цементирования обсадных колонн в условиях повышенных температур. Данные материалы представляют собой смесь портландцемента и специальных полидисперсных добавок с высоким содержанием оксида кремния и выпускаются под названием

Табл. 2. Физико-механические показатели цементов тампонажных высокотемпературных ЦТТС-1 и ЦТТС-2 по ТУ 5734-004-74364232-2005

Наименование показателя	Норма для марок	
	ЦТТС-1	ЦТТС-2
Плотность тампонажного раствора, г/см³	до 1,85	более 1,85
Водосмесовое отношение	0,48	0,44
Водоотделение, мл, не более	7,5	
Растекаемость, мм	от 200 до 260	
Время загустевания с добавкой нитрилотриметилфосфоновой кислоты (0,03% от массы цемента) при 120°C и давлении 40 МПа, мин, не менее	не менее 90	не менее 90
Предел прочности цементного камня при сжатии через 24 часа (при 120°C и давлении 40 МПа), МПа, не менее	12,0	10,0

ем «цемент тампонажный высокотемпературный» (марки ЦТТС-1 и ЦТТС-2).

На рис. 5 и 6 приведены сравнительные данные изменения во времени предела прочности камня при сжатии тампонажного портландцемента ПЦТ 1-100 (ОАО «Сухоложскцемент») и ЦТТС-1 при твердении в условиях повышенной температуры 120°C и давлении 40 — 50 МПа. Различия в значениях $R_{сж}$, определяемого на анализаторе SGSA 5265 (рис. 5) и на прессе после автоклавной выдержки образцов-кубиков (рис. 6), обусловлены особенностями метода определения предела прочности камня при сжатии по скорости прохождения ультразвука. Учитывая косвенность данного метода, расчетные значения $R_{сж}$ изначально являются заниженными по сравнению с методом прямого испытания образцов-кубиков на прессе.

Несмотря на это, испытания на анализаторе-5265 позволяют оценивать характер изменения прочности камня во времени и конечные значения $R_{сж}$ непосредственно в условиях, имитирующих по давлению и температуре скважинные, что невозможно с применением разрушающего метода испытаний [2].

Как видно на рис. 5, для тампонажных растворов на основе ПЦТ 1-100 характерно достаточно быстрое (в течение первых 20 ч) формирование камня максимальной прочности. При имитируемых забойных условиях достигнутая максимальная прочность камня ПЦТ 1-100 сохраняется лишь некоторое время, а затем наблюдается постепенное ее снижение. Это согласуется с ранее полученными различными авторами результатами оценки термостойкости портландцементов, указывающих на нали-

чие процессов термодеструкции камня уже в первые 7 сут автоклавной выдержки образцов при 120°C [3, 4, 5, 6].

Характер изменения $R_{сж}$ во времени, несомненно, свидетельствует об изменении структуры камня и появлении дефектов, приводящих к увеличению времени прохождения ультразвукового сигнала через образец, выдерживаемый в неизменяемых термобарических условиях.

Для ЦТТС наблюдается несколько иной характер изменения $R_{сж}$ при твердении в аналогичных термобарических условиях, что объясняется быстрым связыванием кремнеземистыми компонентами ЦТТС образующегося гидроксида кальция в низкоосновные гидросиликаты кальция (рис. 5). Основной процесс набора прочности камня ЦТТС завершается в основном через 58 — 60 ч, но в дальнейшем еще сохраняется тенденция к увеличению $R_{сж}$, в то время как для ПЦТ 1-100 наблюдается ее снижение.

Полученные на анализаторе-5265 результаты подтверждаются данными по определению прочностных характеристик камня на прессе после автоклавной выдержки образцов в аналогичных термобарических условиях (рис. 6).

Согласно техническим условиям при изготовлении ЦТТС могут быть дополнительно введены (по согласованию с заказчиком) расширяющаяся и армирующая добавки. Для регулирования времени загустевания тампонажных растворов на основе ЦТТС и времени начала затвердевания могут быть использованы стандартные замедляющие реагенты.

Благодаря полидисперсности и более высокой реакционной способности

кремнеземосодержащих компонентов ЦТТС, по сравнению со смесями, содержащими только кварцевый песок, возможно получение седиментационно-устойчивых тампонажных растворов со стандартным водосмесовым отношением, характеризующихся повышенной прочностью камня. Состав обеспечивает формирование камня с требуемой прочностью также и в случае умеренных температур, что позволяет производить цементирование интервалов большой протяженности одним типом цемента.

В период 2005 — 2006 гг. компаниями «Юрхаровнефтегаз», «Бургаз», «Сургутнефтегаз» цементы ЦТТС-1 и ЦТТС-2 применялись при цементировании 26 обсадных колонн в высокотемпературных скважинах на месторождениях севера Тюменской области.

Литература

1. И.И. Белей, Н.Е. Щербич, В.Ф. Штоль и др. Разработка и применение новых облегченных тампонажных материалов для цементирования обсадных колонн при нормальных и умеренных температурах // Бурение и нефть. 2006. №5. С. 12 — 15.
2. И.И. Белей, Н.Е. Щербич, В.Ф. Штоль и др. Тампонажные растворы с повышенной термостойкостью // ЕНПЖ Газовая промышленность. 2006. №4. С. 51 — 54.
3. В.С. Данюшевский. Проектирование оптимальных составов тампонажных растворов // М., Недра. 1987. 280 с.
4. А.И. Булатов, В.С. Данюшевский. Тампонажные материалы // М., Недра. 1987. 280 с.
5. А.И. Булатов. Управление физико-механическими свойствами тампонажных систем // М., Недра. 1976. 246 с.
6. В.Ф. Будников, А.И. Булатов, П.П. Макаренко. Проблемы механики бурения и заканчивания скважин // М., Недра. 1996. 495 с.