



УДК 622.244.443

**ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ЭФФЕКТИВНОСТИ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ БУФЕРНЫХ ЖИДКОСТЕЙ ТИПА МБП-М, МБП-С**

**STUDIES ON THE EFFICIENCY OF MATERIALS FOR THE PREPARATION OF BUFFER LIQUIDS SUCH AS MBP-M, MBP-C**

**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»

**Функ Роман Александрович**

магистрант 2 курса,  
Тюменский индустриальный университет

**Щербич Данила Андреевич**

бакалавр 4 курса,  
Тюменский индустриальный университет

**Мансурова Машхура Музаффаровна**

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

**Аннотация.** Данная статья посвящена экспериментальным исследованиям и оценке эффективности материалов для приготовления буферных жидкостей типа МБП-М, МБП-С.

**Ключевые слова:** буферная жидкость, материалы для приготовления буферных жидкостей типа МБП-М, МБП-С, смывающая способность буферной жидкости.

**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

**Funk Roman Alexandrovich**

Second-year Student,  
Tyumen Industrial University

**Shcherbich Danila Andreevich**

Fourth-year Bachelor's degree,  
Tyumen Industrial University

**Mansurova Mashkhury Muzaffarovna**

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

**Annotation.** This article is devoted to experimental research and evaluation of the effectiveness of materials for the preparation of buffer liquids such as MBP-M, MBP-C.

**Keywords:** Buffer fluid, materials for the preparation of buffer liquids such as MBP-M, MBP-C, flushing capacity of the buffer fluid.

**М**атериал буферный, порошкообразный моющий (МБП-М) выпускается по ТУ 2148-002-20935980-2009 [1] и предназначен для приготовления буферных жидкостей низкой плотности с целью смыва бурового раствора с обсадных труб и стенок скважины за счет наличия химически активных компонентов и повышенной глиноемкости.

Основные технические показатели материма МБП-М приведены в таблице 1.

**Таблица 1** – Технические показатели МБП-М

Технический показатель	Нормируемого показателя по ТУ 2148002-20935980-2009 [1]	Метод испытаний
Моющая способность, %, не менее	50	ТУ 2148-002-20935980-2009 [1]
Массовая доля общей пятиокиси фосфора (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ), %, не менее	50	ГОСТ 20291-80 и ТУ 2148002-20935980-2009 [1]
pH 1 %-ного водного раствора, не более	9,5	ТУ 2148-002-20935980-2009 [1]



Учитывая, что техническими условиями предусмотрена оценка моющей способности водных растворов МБП-М только по отношению к глинистым растворам, приготовленным в лабораторных условиях, а сама процедура выполнения испытаний не обеспечивает получения объективных данных, была проведена оценка эффективности растворов МБП-М по отношению к реальным промысловым жидкостям с использованием специальной методики.

В качестве тестового раствора, который подлежал смыву буферной жидкостью, в опытах использовался рабочий полимер-глинистый буровой раствор, отобранный при бурении под хвостовик в скважине 2092 Уренгойского ГКМ. Выбор данного раствора обусловлен повышенным содержанием смазочных добавок и других антифрикционных материалов, вводимых для обеспечения безаварийного бурения в условиях больших углов отклонения ствола скважины от вертикали (более  $70^\circ$ ), которые необходимо удалять в процессе цементирования для обеспечения сцепления тампонажного камня со стенками скважины и обсадной колонной.

Для оценки смывающей способности применялась методика, позволяющая с одной стороны имитировать условия удаления слоев бурового раствора с неровной поверхности, а с другой – определять влияние интенсивности (скорости) и времени прокачивания буферной жидкости на степень удаления бурового раствора. С этой целью в опытах использовался ротационный вискозиметр модели 3500 LS (фирмы «Chandler Engineering»). Условия тестирования буферных жидкостей при низких скоростях сдвига обуславливаются необходимостью получения информации о химической активности жидкости, поскольку в условиях высоких скоростей сдвига удаление глинистого раствора происходит в основном за счет эрозийного смыва. Учитывая наличие во многих случаях ламинарного режима течения, испытания при низких скоростях сдвига позволяют оценить степень удаления бурового раствора в зоне, близкой к стенке скважины, очистка которой является весьма важным и необходимым мероприятием.

В качестве модели поверхности горных пород, на которую наносится буровой раствор, применялся специальный сетчатый цилиндрический элемент, который размещался на цилиндре из нержавеющей стали. Последний был изготовлен дополнительно и по размерам соответствовал стандартному внешнему вращающемуся цилиндру прибора, но без верхних циркуляционных отверстий и с заглушенной нижней частью.

Для изготовления сетчатого элемента использовалось стандартное металлическое сито с размером ячейки 0,85 мм. Методика оценки смывающей способности буферных жидкостей заключалась в следующем.

Наружный цилиндр с помещенным сетчатым элементом обезжиривались и закреплялись на приборе (без установки внутреннего измерительного цилиндра). Затем сборка помещалась в буровой раствор (аналогично процедуре по определению реологических свойств) из расчета погружения в раствор сетчатого элемента на всю высоту. Сборка выдерживалась 20 мин в буровом растворе, после чего стакан с раствором опускался, а избыток раствора стекал с цилиндра с сетчатым элементом в течение 5 мин. В дальнейшем сборка с налипшим буровым раствором снималась с прибора, взвешивалась, повторно устанавливалась на прибор и помещалась в стакан с испытываемой буферной жидкостью. Включением вращения наружного цилиндра с сетчатым элементом, покрытым буровым раствором, производился смыв раствора в течение 5 мин. Частота вращения цилиндра составляла 30 об/мин, что соответствовало расчетной линейной скорости течения 0,063 м/с и в большей степени имитирует процессы смыва бурового раствора в пристенной области скважины за счет химической активности буферной жидкости. После 5 мин смыва вращение прекращалось, сборка снималась с прибора и взвешивалась. В дальнейшем производился повторный смыв бурового раствора со сборки в течение еще 5 мин и повторно определялась масса сборки.

Эффективность смыва бурового раствора определялась из отношения массы сборки после воздействия буферной жидкости к начальной массе сборки с буровым раствором. Для сравнения, помимо МБП-М, по указанной методике проверялись другие составы буферных жидкостей, а также вода.

Результаты выполненных исследований приведены в таблице 2. Рассматривая полученные результаты, можно отметить необходимость увеличения времени контакта буферных жидкостей с загрязненной буровым раствором поверхностью до 10 мин для обеспечения максимальной очистки ее от остатков раствора. Очевидно, что это не всегда выполнимо вследствие опасности снижения гидростатического давления в затрубном пространстве составного столба бурового раствора и буферной жидкости низкой плотности ниже пластового давления и возникновение газопроявлений уже в процессе окончания закачивания буферной жидкости.

Для повышения степени очистки ствола скважины при небольших объемах моющей буферной жидкости необходимо обеспечивать скорость движения ее в затрубном пространстве не менее 0,8 м/с.

Материал буферный порошкообразный структурированный МБП-С предназначен для получения буферной жидкости, служащей для разделения по составу и плотности тампонажных и буровых растворов, выпускается по ТУ 9291-001-20935980-2009 [2]. Основные технические показатели материала МБП-С приведены в таблице 3.



**Таблица 2** – Результаты исследований смывающей способности МБП-М, ТПФН, НИКА-4, НТФ и воды

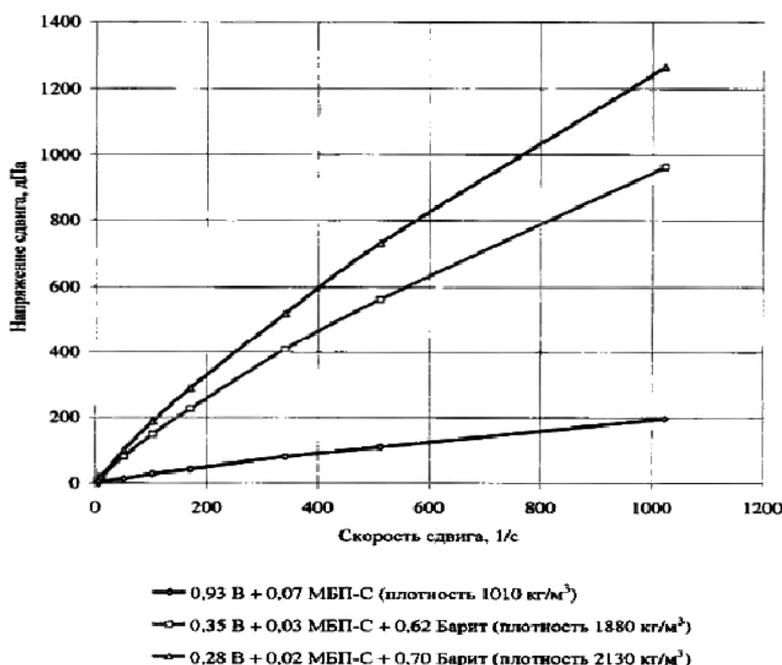
Составы «моющих» растворов	Масса «налипшего» бур. раствора, г	Масса бур. раствора, «смытого» в течение 5 мин, г	Масса бур. раствора, «смытого» в течение 10 мин, г	Степень смыва» бур. раствора через 5 мин, %	Степень «смыва» бур. раствора через 10 мин, %
1,0 вода	10,8	4,8	–	44,4	–
1,0 вода + 0,5 %МБП-М	9,7	5,2	7,8	53,6	80,4
1,0 вода + 1,0 %МБП-М	9,4	4,9	7,8	52,1	82,9
1,0 вода + 2,0 %МБП-М	8,7	5,0	7,4	57,5	85,1
1,0 вода + 1,0 % ТПФН	10,3	4,9	8,2	47,6	79,6
1,0 вода + 2,0 % ТПФН	10,1	5,0	8,3	49,5	82,2
1,0 вода + 0,5 % НИКА-4	9,5	5,5	8,0	57,9	84,2
1,0 вода + 1,0 % НИКА-4	9,5	5,6	8,2	58,9	86,3
1,0 вода + 5,0 % НИКА-4	9,3	4,8	8,2	51,6	88,2
1,0 вода + 10,0 % НИКА-4	9,1	4,9	8,2	53,8	90,1
1,0 вода + 0,1 % НТФ	9,0	4,8	7,0	53,3	77,8

Примечание. Сборка выдерживалась 20 мин в бур.растворе, затем смывалась 5,10 минут со скоростью 30 об/мин

**Таблица 3** – Технические показатели МБП-С

Технические показатели	Нормируемое значение показателя по ТУ 2148002-20935980-2009 [1]	Метод испытаний
Условная вязкость неутяжеленной буферной жидкости, с, не менее	22	ТУ 9291-001-20935980-2009 [2]
Показатель фильтратоотдачи см <sup>3</sup> , не более	15	-/-
Седиментация утяжелителя из буферной жидкости при 20 °С, кг/м <sup>3</sup> , не более	100	-/-

На данном этапе работ были проведены испытания исходной буферной жидкости в соответствии с техническими условиями, а также дополнительные испытания утяжеленных составов с различной плотностью по оценке их стабильности и совместимости с тампонажными растворами. Результаты исследований приведены в таблице 4 и на рисунках 1–4.



**Рисунок 1** – Изменение напряжения сдвига от скорости сдвига буферных жидкостей с различной плотностью на основе МБП-С

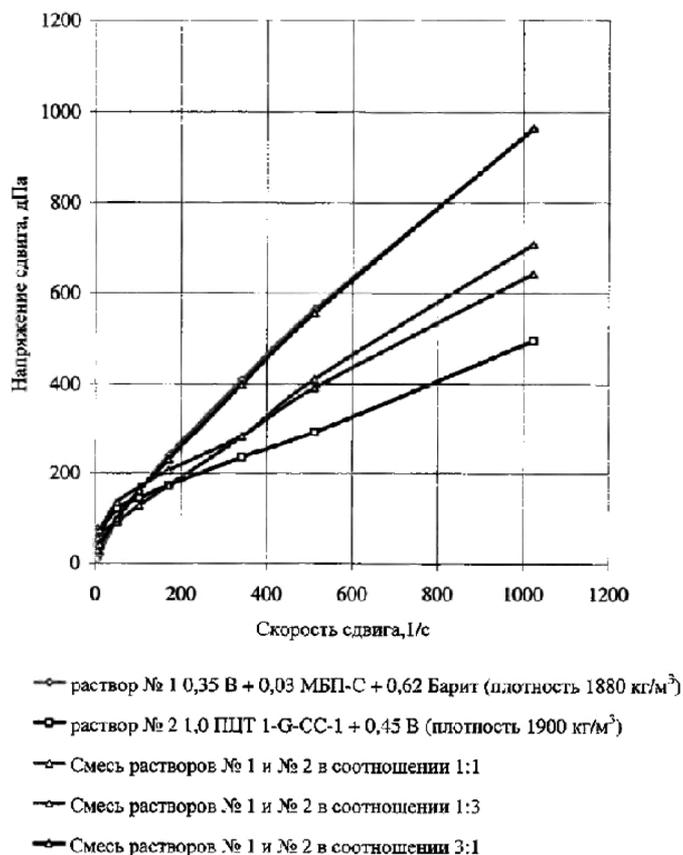


Рисунок 2 – Изменение напряжения сдвига от скорости сдвига утяжеленной буферной жидкости, тампонажного раствора и их смесей в различных соотношениях

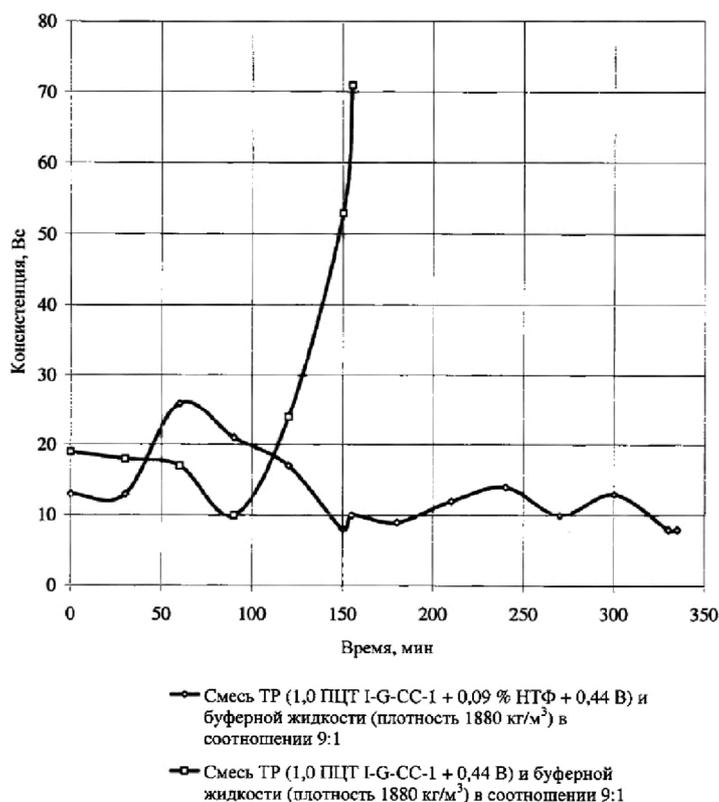
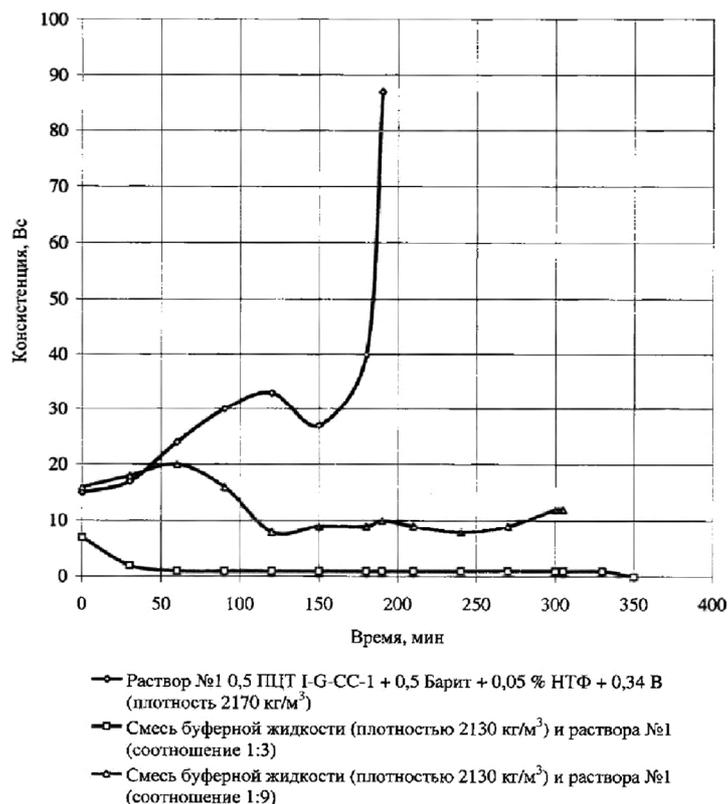


Рисунок 3 – Кривые загустевания смесей тампонажного раствора на основе ПЦТ I-G-CC-1 и буферной жидкости (плотность 1880 кг/м<sup>3</sup>) при температуре 105 °С, давлении 80 МПа (время выхода на режимные параметры 90 мин)



**Рисунок 4** – Кривые загустевания утяжеленного тампонажного раствора и его смесей с буферной жидкостью (плотность 2160 кг/м<sup>3</sup>) при температуре 105 °С и давлении 80 МПа (время выхода на режимные параметры 90 мин)

**Таблица 4** – Состав и технологические свойства буферных жидкостей на основе МБП-С

Состав смеси, мас.ч			Плотность, кг/м <sup>3</sup>	СНС <sub>1</sub> / СНС <sub>10</sub> , дПа	Водоотдача, см <sup>3</sup> / 30 мин	Условная вязкость, с	Пластическая вязкость, мПа · с	Динамическое напряжение сдвига, дПа	Стабильность через 15 мин, кг/м <sup>3</sup>
Вода	МБП-С	Барит							
0,93	0,07	—	1100	4,8/9,6	20,0	40	18	24,1	—
0,47	0,06	0,47	1500	9,6/9,6	15,0	55	25	42,0	340
0,36	0,04	0,60	1850	12,1/12,1	10,0	68	38	110,0	60
0,35	0,03	0,62	1880	14,5/14,5	4,0	98	83	163,9	80
0,28	0,02	0,70	2130	24,1/24,1	4,0	100	112	197,6	140
0,26	0,03	0,71	2180	106/159	3,5	110	120	205,0	10

Как можно видеть из таблицы 2 и рисунка 1 по мере увеличения концентрации барита в составе буферных жидкостей происходит повышение реологических показателей и стабильности суспензий, обусловленное усилением структурирующих свойств с увеличением объемного содержания твердой фазы. Тем не менее, отмечается некоторый диапазон плотностей (от 1400 до 1600 кг/м<sup>3</sup>), при которых стабильность полученных утяжеленных буферных жидкостей имеет предельные значения. Этот недостаток может быть устранен повышением начальной концентрации МБП-С в воде до 12 %, либо использованием утяжеляющих материалов с меньшей плотностью (мраморная крошка, кварцевый песок и др.).

Тестирование буферных жидкостей на основе МБП-С на совместимость с тампонажными растворами производилось применительно к условиям цементирования скважин с АВГД в интервале умеренных и повышенных температур.

Вначале в качестве базового буферного раствора использовался состав МБП-С, утяжеленный баритом до плотности 1880 кг/м<sup>3</sup>, который смешивался с тампонажным раствором на основе цемента ПЦТ I-G-CC-1, в соотношениях 1 : 1; 1 : 3; 3 : 1. В данном случае проверялось наличие коагуляции и ее интенсивность, а также изменение реологических показателей тампонажного раствора с увеличением содержания буферной жидкости в смеси с раствором (рис. 2). Как видно из рисунка, увеличение содержания утяжеленной буферной жидкости (в смеси с тампонажным раствором) приводит к постепенному загущению смеси по сравнению с исходным тампонажным раствором, что объясняется изначально более высо-



кой вязкостью буферной жидкости. В случае соотношения в смеси буферной жидкости и тампонажного раствора, равном 3 : 1, т.е. при существенном повышении содержания буфера над тампонажным раствором, практически совпадает с аналогичным графиком для исходной буферной жидкости.

Таким образом, увеличение реологических показателей смеси, с увеличением содержания буферной жидкости, не обусловлено коагуляцией контактирующих растворов, а связано с повышенными реологическими показателями буферного состава. Это фиксируется и визуальным контролем: при смешивании двух растворов отсутствует даже кратковременное коагуляционное загустевание как в процессе добавления буфера, так и при полном его смешивании с тампонажным раствором.

На рисунке 3 приведены консистограммы смесей тампонажного раствора на основе ПЦТ-I-G-CC-1 и утяжеленной буферной жидкости в соотношении 9 : 1. Такое соотношение обычно рекомендуется для проверки влияния буферных жидкостей как наиболее критичное с точки зрения сокращения времени загустевания. Можно видеть, что даже в случае использования исходного тампонажного раствора без замедлителя, при такой концентрации буферной жидкости в смеси время загустевания при температуре 105 °С и давлении 80 МПа даже несколько увеличивается. Для смеси тампонажного раствора на основе ПЦТ I-G-CC-1 с замедляющей добавкой и утяжеленной буферной жидкостью, время загустевания составляет более 335 мин.

Оценка влияния утяжеленной буферной жидкости на время загустевания тампонажного раствора производилась также с использованием составов с более высокой плотностью, которые составляли, соответственно 2130 и 2170 кг/м<sup>3</sup>. Тампонажный раствор представлял собой смесь 50 % портландцемента ПЦТ I-G-CC-1 и 50 % барита, затворенную водой с добавлением 0,05 % (по массе смеси) НТФ. На рисунке 4 приведены результаты испытания тампонажного раствора и его смеси с утяжеленной буферной жидкостью в соотношениях 1 : 3 и 1 : 9 при температуре 105 °С и давлении 80 МПа (выход на режим 90 мин). Данные термобарические условия при определении времени загустевания характерны для случаев цементирования эксплуатационных колонн при разобщении продуктивных пластов в юрских отложениях.

Как видно на рисунке 4, ввод буферной жидкости в утяжеленный тампонажный раствор не сказывает дополнительного загущающего действия и не сокращает время загустевания раствора. Следует отметить, что наиболее критичным является соотношение суспензий 1 : 9, т.е. при небольшом объемном содержании буферной жидкости в смеси. С увеличением ее содержания в смеси уже в большей степени проявляется разжижающее действие компонентов, входящих в состав МБП-С. Кроме того, при наличии в смеси буферной жидкости исключается ее первичная температурная коагуляция, которая отмечается для исходного тампонажного раствора в процессе выхода на режимные температуру и давления.

Таким образом, выполненные исследования позволяют рекомендовать применение материала МБП-С для приготовления буферных жидкостей различной плотности при цементировании обсадных колонн в условиях АВПД и повышенных температур. Наиболее целесообразно использование МБП-С для получения буферных растворов с плотностью более 1600 кг/м<sup>3</sup>, поскольку при меньших значениях плотности (в случае утяжеления баритом) возможно седиментационное расслоение суспензии. Кроме того, для приготовления составов с плотностью до 1600 кг/м<sup>3</sup> целесообразнее применение других материалов, характеризующихся изначально высокими структурно-реологическими показателями (например, системы на основе СБП-2, СБП-3, СБП-4).

Более эффективным будет также применение буферных жидкостей на основе МБП-С в случае утяжеления их не инертными утяжеляющими материалами, а кремнесодержащими материалами с абразивными свойствами (типа кварцевого песка) или мраморной крошкой.

#### Литература:

1. Материал буферный порошкообразный моющий МБП-М. Технические условия ТУ 2148-002-20935980-2009: утв. ОАО «НПО «Бурение»; введ. в действие с 2009. – М. : ОАО «НПО «Бурение», 2009.
2. Материал буферный порошкообразный моющий МБП-С. Технические условия ТУ 9291-001-20935980-2009: утв. ОАО «НПО «Бурение»; введ. в действие с 2009. – М. : ОАО «НПО «Бурение», 2009.

#### References:

1. Material buffer powder detergent MBP-M. Specifications TU 2148-002-20935980-2009: approved by ОАО NPO Burenie; put into effect since 2009. – M. : ОАО NPO Burenie, 2009.
2. Material buffer powdery washing MBP-C. Specifications TU 9291-001-20935980-2009: approved by ОАО NPO Burenie; put into effect since 2009. – M. : ОАО NPO Burenie, 2009.