

6-7 2013

Производственно-технический нефтегазовый журнал

# ИНЖЕНЕРНАЯ ПРАКТИКА

Oilfield Engineering

**В номере:**

Многостадийный ГРП, контроль притока, РУО, ГДИС, мультифазные расходомеры, ОРЭ, модернизация БКНС, ЧРП в системах ППД, 3D проектирование.

## БУРЕНИЕ И ЗАКАНЧИВАНИЕ СКВАЖИН

Выбор метода заканчивания скважин

Технологии и практика применения многостадийного ГРП

Контроль притока в горизонтальных скважинах

Применение буровых растворов на углеводородной основе (РУО)

Гидродинамические исследования и мониторинг добычи

Системы одновременно-раздельной эксплуатации

Модернизация БКНС, ЧРП в системах ППД

**МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМ ППД**





# ООО НПП «БУРИНТЕХ»: ВЛИЯНИЕ ИСПАРЕНИЯ НА СВОЙСТВА ИНВЕРТНО-ЭМУЛЬСИОННОГО БУРОВОГО РАСТВОРА

**ИШБАЕВ Гниятулла Гарифуллович**  
Генеральный директор

**ДИЛЬМИЕВ Марат Рафаилович**  
Начальник СБР УБ



**Н**а сегодняшний день строительство скважин в сложных горно-геологических и технологических условиях (высокие температура и давление на забое, сложный профиль скважин (наклонно-направленный с БОВ, скважины с горизонтальным окончанием и т.д.) обуславливает рост объемов бурения с применением растворов на углеводородной основе (РУО), а точнее инвертных эмульсий.

К основным преимуществам РУО можно отнести хорошую смазывающую способность, устойчивость к влиянию  $H_2S$  и  $CO_2$ , инертность к разбурываемым породам, низкий показатель фильтрации, минимальное загрязнение продуктивного пласта а также возможность многократного повторного использования. Несмотря на эти преимущества, РУО имеют и свои недостатки, один из которых — это сильное загущение раствора при бурении, обусловленное ростом реологических свойств раствора.

Считается, что повышение реологических параметров эмульсионного раствора при углублении скважины связано с попаданием пластовой воды [1], наработкой твердой фазы [2, 3], попаданием влажной выбуренной породы и др. Однако специалистами ООО НПП «БУРИНТЕХ» было выдвинуто предположение о том, что большое влияние на загущение эмульсионного раствора оказывает испарение его компонентов (вода и углеводород) с поверхности в емкостях на буровой.

В подтверждение выдвинутой гипотезы в Испытательной лаборатории буровых растворов ООО НПП «БУРИНТЕХ» проведен ряд экспериментов по испарению эмульсионного раствора. Для проведения исследований был выбран РУО плотностью  $2,1 \text{ г/см}^3$ , специально разработанный для бурения скважин с максимальной температурой на забое (5200-5600 м) —  $190^\circ\text{C}$  (табл. 1). По инициативе заказчика в качестве дисперсионной среды было решено использовать дизельное топливо.

Температура при проведении эксперимента составляла  $70 \pm 5^\circ\text{C}$ , что соответствовало ожидаемой

температуре раствора на поверхности такой скважины в емкостях.

Исследования проводились по следующей методике. Сначала свежеприготовленный раствор был подвергнут термостатированию в герметично закрытых ячейках старения под давлением 10 атм при температуре  $190^\circ\text{C}$  в течение 8-10 часов, необходимых для стабилизации параметров. После этого осуществлялось испарение раствора при атмосферном давлении и температуре  $70^\circ\text{C}$  с постоянным перемешиванием лабораторной мешалкой по восемь часов в день. В начале каждого рабочего дня перед включением нагревания раствор взвешивался на весах с точностью до 1 г, а измерение основных параметров производилось через каждые 16 часов эксперимента.

Реологические свойства измерялись с использованием ротационного восьмикоростного вискозиметра OFITE, плотность — на рычажных весах. Для определения содержания твердой и жидкой фазы применялся ретортный анализ, электростабильность мы определяли при помощи специального измерителя электростабильности. Все это позволило с высокой точностью оценить параметры эмульсионного раствора.

Зависимости, полученные по результатам тестирования, представлены на рис. 1 и 2. На основании данных зависимостей можно оценить скорость испарения жидкости и изменение основных параметров РУО.

Из графиков следует, что испарение жидкостей приводит к увеличению концентрации твердой фазы, за которым следуют увеличение плотности и, соответственно, загущение раствора. Через 64 часа испаре-

**Рис. 1. Зависимость снижения массы эмульсионного раствора, приготовленного на основе дизельного топлива, от времени испарения**

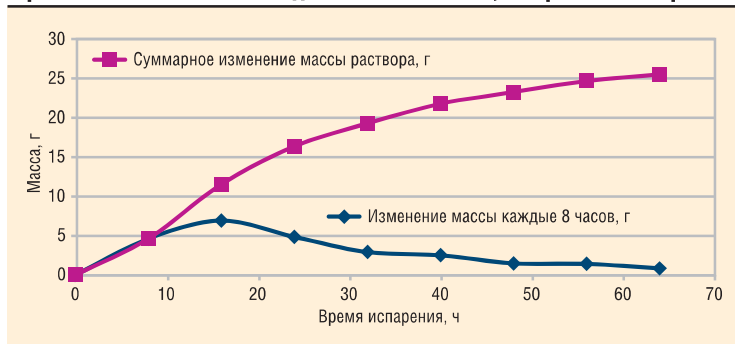


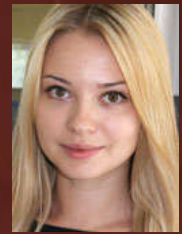
Таблица 1

**Компонентный состав эмульсионного раствора, предназначенного для проведения эксперимента по испарению**

Порядок ввода реагентов	Реагент	Концентрация, кг(л)/м <sup>3</sup>
1	Дисперсионная среда (дизельное топливо)	674
2	Структурообразователь	15
3	Эмульгатор	30
4	Дисперсная фаза (рассол)	210
5	Понижитель фильтрации	30
6	Гидрофобизатор	30
7	Регулятор щелочности	30
8	Утяжелитель (барит)	2200

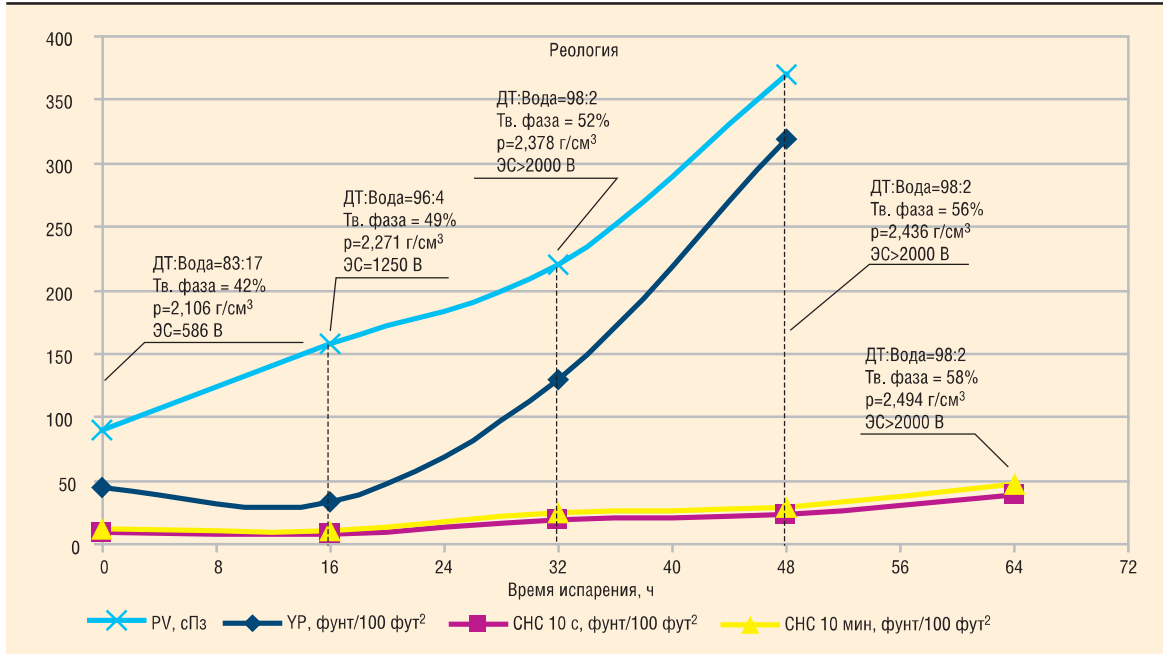


**ХРИСТЕНКО Алексей Витальевич**  
Заведующий ИЛБР СБР УБ



**МАХМУТШИНА Анна Валерьевна**  
Инженер 3 категории ИЛБР СБР УБ

**Рис. 2. Зависимость изменения параметров эмульсионного раствора от времени испарения**



ния реологические параметры раствора на ротационном вискозиметре уже невозможно определить из-за сильного загущения.

Рост электростабильности означает, что из раствора активно испаряется вода (это также видно по ретортному анализу), а зашкаливание прибора по измерению электростабильности (>2000 В) через 32 ч эксперимента означает ее полное отсутствие (почти 100% испарение).

На рис. 2 видно, что за 24-32 ч происходит почти полное испарение воды, после чего начинает испаряться уже дизельное топливо. Это означает, что при бурении на инвертно-эмульсионном растворе необходимо ежедневно восстанавливать исходное содержание воды и дизельного топлива.

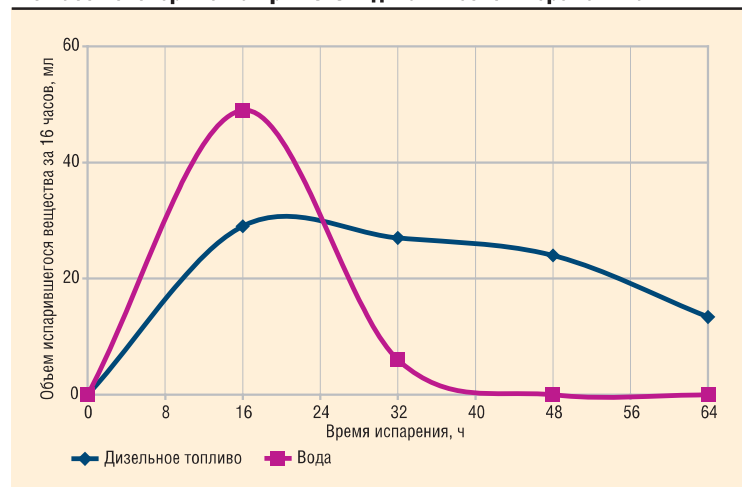
На рис. 1 представлено изменение массы раствора. Известно, что испарилась жидкость, но при этом не известно какая — вода, дизельное топливо или обе жидкости, поэтому, зная массу испарившегося вещества, данные ретортного анализа и изменение плотности раствора, можно рассчитать объем испарения воды и дизельного топлива.

По итогам расчета испарения был построен график скорости испарения дизтоплива и воды, а также график зависимости удельного испарения воды и дизельного топлива от времени (рис. 3, 4).

Из рис. 3 видно, что активное испарение воды происходило первые 24 часа, а через 32 часа испарение

воды полностью прекратилось (вода почти полностью испарилась). Также видно, что с течением времени скорость испарения дизтоплива снижается. Это можно объяснить тем, что в первую очередь испаряются легкие фракции дизельного топлива (летучие соединения), после чего происходит медленное испарение более тяжелых фракций.

**Рис. 3. Скорость испарения дизтоплива и воды через каждые 16 часов эксперимента при 70°C и динамическом перемешивании**







Известно, что испарение зависит прежде всего от температуры, а также времени, скорости ветра, интенсивности перемешивания и площади открытой поверхности. В связи с этим для удобства и оперативности управления свойствами и составом инвертно-эмульсионного раствора при бурении в полевых условиях специалистами ООО НПП «БУРИНТЕХ» были составлены математические уравнения, позволяющие рассчитать количество испарившихся дизтоплива и воды в условиях эксперимента (температура на поверхности — 70°C) на единицу площади испарения. Эти математические зависимости представлены на рис. 4.

Расчет испарения дизельного топлива ( $I_d$ , л/м<sup>2</sup>) и воды ( $I_b$ , л/м<sup>2</sup>) выполняется по следующим формулам:

$$I_d = -0,011t^2 + 0,24t - 0,0763, \quad (1)$$

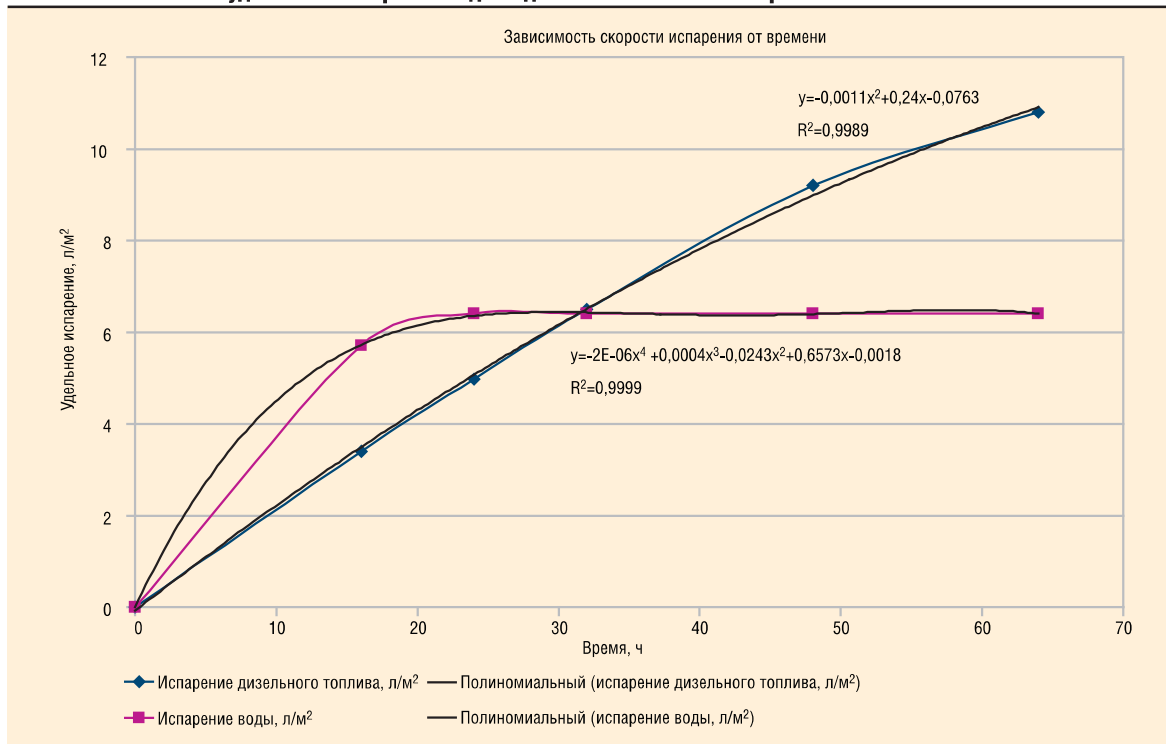
$$I_b = -0,000002t^4 - 0,0004t^3 - 0,0243t^2 + 0,6573t - 0,0018, \quad (2)$$

где  $t$  — время, ч.

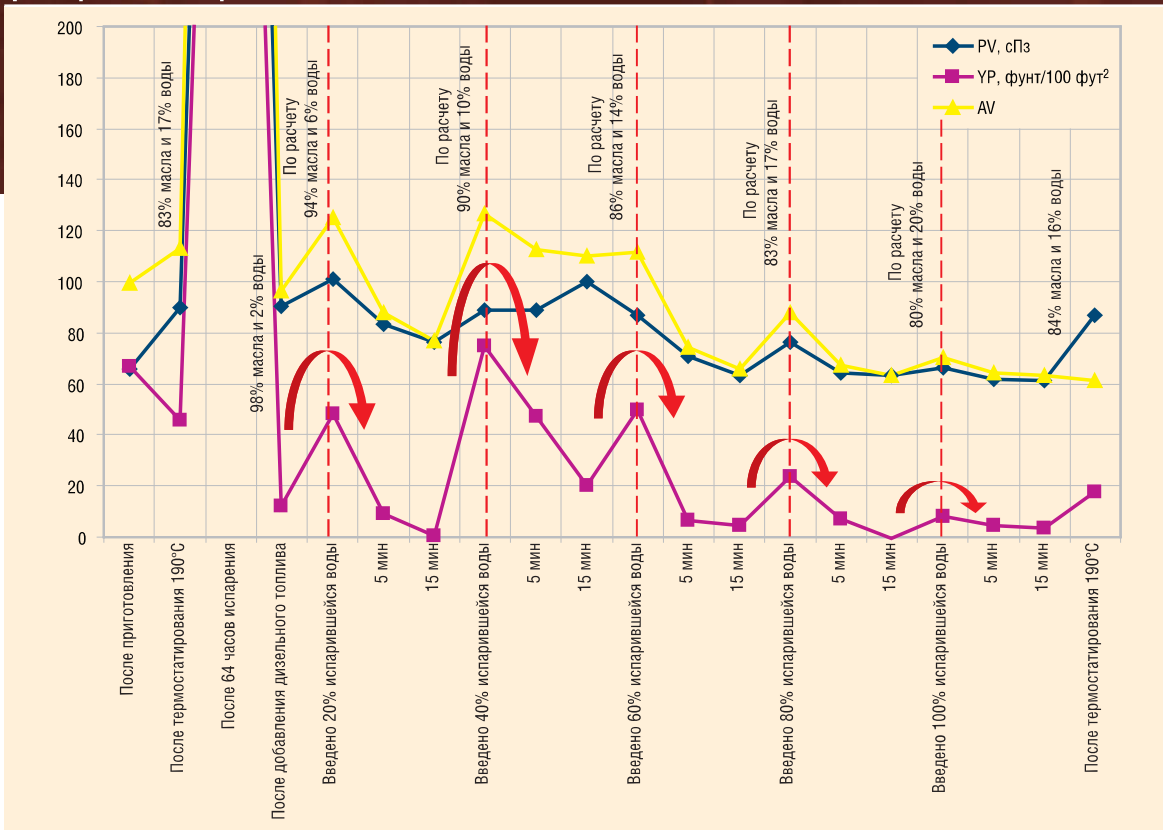
Данные уравнения позволяют расчетным методом определить необходимое количество дизтоплива и воды для восстановления исходных концентраций в эмульсии как в лабораторных, так и в полевых условиях. Для моделирования процесса восстановления параметров раствора в полевых условиях в Испытательной лаборатории буровых растворов проводилось восстановление начального состава раствора путем добавления дизельного топлива и воды (соли остались в растворе).

В результате проведения нескольких экспериментов было установлено, что добавление сразу всего объема недостающей воды приводит к нежелательному резкому загущению, а имеющийся раствор уже обладает большой вязкостью. Поэтому в дальнейшем мы сначала вводили весь объем дизельного топлива, а затем пор-

Рис. 4. Зависимость удельного испарения воды и дизельного топлива от времени



**Рис. 5. Изменение реологических параметров эмульсии в ходе восстановления концентраций компонентов раствора после испарения**



ционно добавляли воду (медленно, по 20% от рассчитанного объема). Для того чтобы отследить влияние ввода воды в готовую эмульсию, после каждого добавления раствор перемешивался в миксере, а сразу после добавления выполнялся замер реологических параметров (через 5 и 15 мин перемешивания) (рис. 5).

Из рисунка видно, что добавление даже небольшого количества воды приводит к резкому загущению системы бурового раствора и росту реологических параметров, но после перемешивания в течение 15 мин при больших скоростях сдвига параметры стабилизируются.

В табл. 2 представлены основные характеристики исходного эмульсионного раствора после термостатирования при температуре 190°C (до эксперимента по испарению), а также конечные параметры раствора

(после испарения, доведения плотности и повторного термостатирования при температуре 190°C).

Если сравнить параметры исходного раствора после термостатирования и конечные параметры раствора (после испарения, доведения плотности и повторного термостатирования), то можно увидеть, что пластическая вязкость и СНС почти вернулись к начальному значению. Значение ДНС снизилось в два раза (предположительно, из-за ухудшения работы органобентонита при длительном воздействии высокой температуры), но все равно осталось достаточным для удержания твердой фазы в растворе. Также нам удалось добиться нужной плотности, при этом раствор сохранил стабильность. Фактическое значение электростабильности (722В) оказалось выше требуемого (600В).

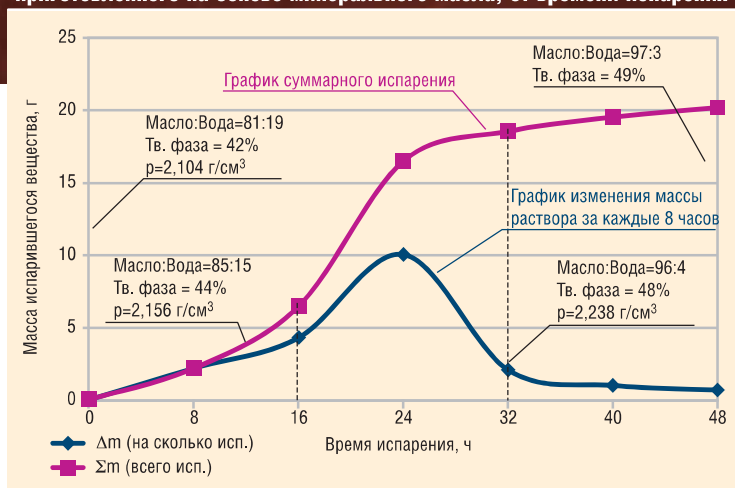
Таблица 2

**Сравнение основных параметров эмульсионного раствора до испарения и после восстановления свойств**

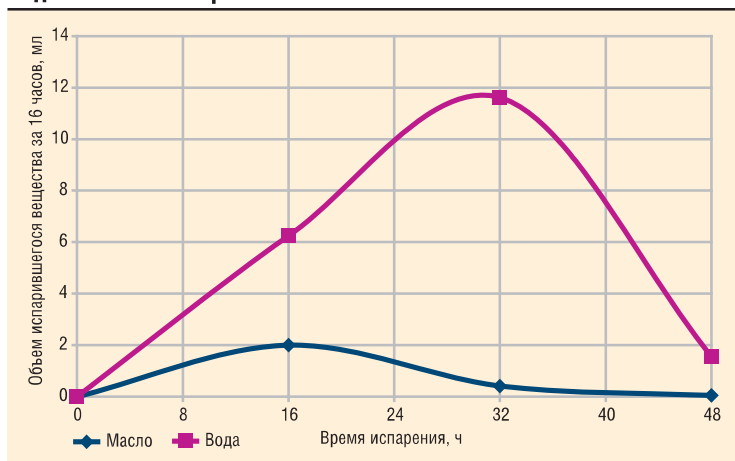
Параметры	Исходный раствор	Конечный раствор
PV, сПз	90	86
YP, фунт/100 кв.фут	45	17
GeI, фунт/100 кв.фут	10 / 13	8 / 19
ЭС, В	586	722
Плотность, г/см <sup>3</sup>	2,106	2,112
Соотношение дизтопливо: вода (по реторте)	83:17	84:16



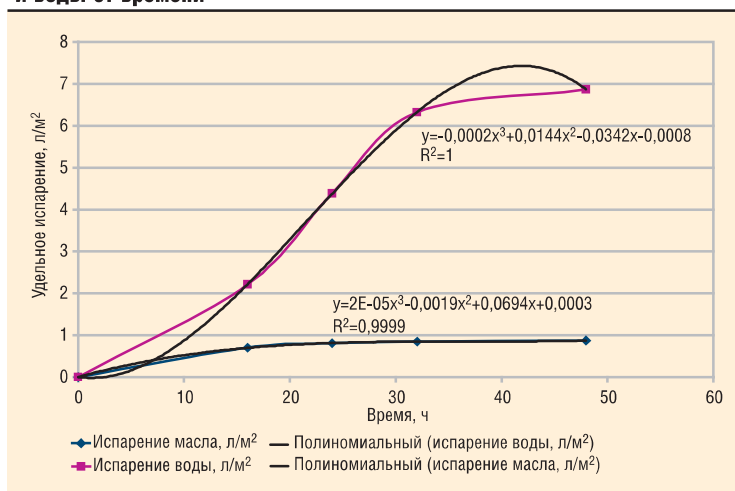
**Рис. 6. Зависимость снижения массы эмульсионного раствора, приготовленного на основе минерального масла, от времени испарения**



**Рис. 7. Скорость испарения минерального масла и воды через каждые 16 часов эксперимента при температуре 70°C и динамическом перемешивании**



**Рис. 8. Зависимость удельного испарения минерального масла и воды от времени**



Для подтверждения полученных результатов был проведен аналогичный эксперимент по изучению влияния испарения на свойства эмульсии, но в этот раз в качестве основы эмульсионного раствора (вместо дизельного топлива) использовалось минеральное масло той же концентрации. Эмульсия была приготовлена в соответствии с представленным ранее составом — все компоненты введены в той же последовательности согласно концентраций. Таким образом, все условия эксперимента были соблюдены.

На рис. 6 представлены зависимости, полученные по результатам тестирования. Эти зависимости позволяют оценить скорость испарения жидкости и изменение основных параметров РУО.

Если сравнить рис. 1 и 6, то можно заметить, что в первом случае происходит более активное испарение за меньший промежуток времени. Это также видно по изменению содержания твердой фазы, водонефтяному соотношению и увеличению плотности. Так, в первом случае за 16 часов эксперимента содержание твердой фазы увеличилось до 49% (рис. 2), а во втором — только до 44%. Для формирования общей картины были проведены расчеты, позволяющие оценить испарение каждого компонента (вода, масло) в отдельности. Результаты этого расчета представлены на рис. 7.

Из приведенного графика видно, что полное испарение воды происходит менее чем за 50 часов, при этом масло практически не подвержено процессу испарения. В то же время полное испарение воды в эмульсии на дизельном топливе происходит менее чем за 40 часов (рис. 3), а дизельное топливо подвержено испарению.

Аналогично для удобства и оперативности управления свойствами и составом инвертно-эмульсионного раствора при бурении в полевых условиях специалистами ООО НПП «БУРИНТЕХ» были выведены математические уравнения, позволяющие рассчитать количество испарившихся масла и воды с единицы площади испарения в условиях эксперимента (температура на поверхности 70°C) (рис. 8).

Для расчета испарения масла ( $I_m$ , л/м²) и воды ( $I_v$ , л/м²) могут применяться следующие формулы:

$$I_m = 2 \cdot 10^{-5} \cdot t^3 - 0,0019t^2 + 0,0694t + 0,0003, \quad (3)$$

$$I_v = -0,0002t^3 + 0,0144t^2 - 0,0342t - 0,0008, \quad (4)$$

где  $t$  — время, ч.

### ВЫВОДЫ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИССЛЕДОВАНИЙ

В ходе проведенных исследований по испарению утяжеленного эмульсионного раствора было выявлено, что при температуре 70°C происходит сильное испарение водной и углеводородной фаз. Предположение о

значительном влиянии испарения на свойства инвертной эмульсии подтвердилось.

В условиях эксперимента за первые 24 часа из РУО испаряется больше 95% воды. Также мы установили, что при испарении воды и дизельного топлива происходит интенсивный рост реологических параметров эмульсии из-за увеличения концентрации твердой фазы и плотности.

Дополнительно выведены зависимости удельной скорости испарения от времени, позволяющие рассчитать количество воды и углеводорода, необходимое для восстановления начального водонефтяного соотношения.

Закономерности испарения водной и углеводородной фаз и влияния этого процесса на реологические параметры инвертной эмульсии, полученные при тестировании раствора на дизельном топливе, подтвердились, в том числе в случае испарения эмульсии с минеральным маслом в качестве дисперсионной среды. Также был сделан вывод о том, что при использовании минерального масла для приготовления инвертной эмульсии испарение самого масла незначительно, а ис-

парение водной фазы происходит значительно медленнее, чем в случае использования дизельного топлива.

Таким образом, для предотвращения сильного загустевания эмульсионного раствора из-за испарения в условиях буровой необходимо постоянно следить за изменением параметров раствора и ежедневно проводить восстановление исходного содержания воды и углеводорода. ♦

#### Список литературы

1. Патент №2016041 Российской Федерации, МПК С09К7/06. Буровой раствор на углеводородной основе / Канзафаров Ф.Я. НИИПИП «Нижнеартовск-НИПИнефть»; Заявка: 4929267/03 от 22.04.1991
2. Патент №1383774 Российской Федерации, МПК С09К7/06. Инвертный эмульсионный буровой раствор / Казьмин А.В., Логинов Ю.Ф., Сергиенко Л.П.; Заявка: 4077531/03 от 21.04.1986
3. Патент №2224002 Российской Федерации, МПК С09К7/06. Буровой раствор на углеводородной основе / Лукманов Р.Р., Лукманова Р.З., Ахметшин Р.З., Коньков В.Н., Пушилин В.В.; Заявка: 2002109343/032002109343/03 от 10.04.2002



# BURINTEKH

## МУЛЬТИБУР

### ГЕЛЕВО-ЭМУЛЬСИОННЫЙ БУРОВОЙ РАСТВОР

**МУЛЬТИБУР** – гелево-эмульсионный буровой раствор с повышенной ингибирующей способностью. Благодаря применению солей двухвалентных металлов в **МУЛЬТИБУР** достигается плотность до 1600 кг/м<sup>3</sup>. Из-за отсутствия в составе баритового утяжелителя раствор идеально подходит для вскрытия продуктивных пластов.

#### Применение

Для бурения различных типов скважин, содержащих протяженные интервалы активных глин, обвалных и неустойчивых глин, и вскрытия продуктивных пластов.

#### Преимущества

- Высокая ингибирующая способность.
- Низкий показатель фильтрации.
- Хорошие смазочные свойства.
- Относительно низкая стоимость.
- Сохранение проницаемости продуктивного пласта.
- Широкий диапазон плотностей без применения баритовых утяжелителей.

#### Экономия

Благодаря улучшенным ингибирующим, смазочным, капиллярным воздействиям на стенки скважины **МУЛЬТИБУР** по эксплуатационным свойствам не только не уступает **РУО**, но превосходит его по экономическим характеристикам.

[www.burintekh.ru](http://www.burintekh.ru)