

ЭФФЕКТ ДИНАМИЧЕСКОГО ЗАПИРАНИЯ ИНВЕРТНО-ЭМУЛЬСИОННЫХ РАСТВОРОВ НА ОСНОВЕ ЭМУЛЬГАТОРА-СТАБИЛИЗАТОРА ОБРАТНЫХ ЭМУЛЬСИЙ СЭТ-1

DYNAMIC BLOCKING PHENOMENON OF WATER-IN-OIL EMULSION SOLUTIONS BASED ON EMULSIFIER-STABILIZER FOR WATER-IN-OIL EMULSIONS SET-1

Ахметов А.Т., Саметов С.П.,
Рахимов А.А., Латыпова Д.Р.,
Ханова М.Д., Докичев В.А.

Институт механики
им. Р.Р. Мавлютова Уфимского
научного центра
Российской академии наук,
Институт органической химии
Уфимского научного центра
Российской академии наук,
ФГБОУ ВПО Уфимский
государственный авиационный
технический университет

A.T. Akhmetov, S.P. Sametov,
A.A. Rakhimov, D.R. Latypova,
M.D. Khanova, V.A. Dokichev
Mavlyutov institute of mechanics of Ufa,
RAS
Institute of organic chemistry of Ufa,
RAS
FSBEI Ufa state aviation
technical university

Перспективным составом для бурения и вскрытия коллекторов, в потокоотклоняющих технологиях и для глушения скважин являются инвертно-эмульсионные системы. Успех их применения обусловлен наряду с реологическими свойствами эффектом динамического закипания, состоящим в том, что течение эмульсий в капиллярных структурах и трещинах со временем практически прекращается, несмотря на постоянно действующий перепад давления. Этот эффект обнаруживает существенную особенность эмульсии – она может работать как кольматирующая жидкость. Наиболее простым способом для тестирования эмульсий на проявление этого эффекта является осесимметричное течение в цилиндрических микроканалах. Изучение реологических свойств и особенностей течения эмульсий в микроканалах позволяет выявить характеристики эмульсий, полезные для их использования в качестве буровых растворов.

Water-in-oil emulsion systems are the prospective makeup for a reservoir drilling and well killing at a fluid placement technology. Along with their rheological properties the success of the application is due to the dynamic blocking phenomenon consisting in ceasing in time of emulsion flow in capillary structures and fissures in spite of operating constant pressure drop. The phenomenon shows the essential emulsion feature; it can be used as a colmatage fluid. The easiest way to test emulsion for blocking occurring is to organize a flow in cylindrical microchannels. The study of rheological properties and emulsion flow features in microchannels allows clarifying emulsion characteristics which are helpful for their using as drilling muds.

Ключевые слова: эмульсия, микроканал, буровой раствор, течение, скорость, давление, кольматация, динамическое закипание.

Keywords: emulsion, microchannel, mud, flow, velocity, pressure, colmatation, dynamic blocking.

Основными проблемами при бурении нефтегазовых скважин являются сохранение естественной проницаемости продуктивных пластов и устойчивости ствола скважины, а также обеспечения проходимости по ней бурильной и обсадной колонн. Существенную роль в решении данных вопросов играет буровой раствор, который должен обладать высокой ингибирующей, смазочной, кольматирующей и несущей способностями. Оптимальным для бурения и вскрытия коллекторов является применение инвертно-эмульсионных растворов, что позволяет повысить скорость проходки в сравнении с применением буровых растворов на водной основе [1]. Традиционно улучшение качества инвертно-эмульсионных буровых растворов достигается применением совокупности таких реагентов как эмульгатор – EZ Mul, стабилизатор – Invermul, загуститель-понижитель фильтрации – органоглина

VG-Plus. В результате совместных работ Уфимского государственного нефтяного технического университета и Института органической химии УНЦ РАН разработаны и внедрены в практику смазочная добавка СМАД-1М и эмульгаторы-стабилизаторы обратных эмульсий СЭТ-1 и СЭТ-1М, которые являются более эффективными и дешевыми функциональными аналогами импортных реагентов EZ Mul и Invermul, а также отечественных реагентов СМАД-1 и Эмульгала [2-7]. Оптимальный результат обеспечивается либо применением комплекса эмульгатора-первичного стабилизатора – СЭТ-1, вторичного стабилизатора – СМАД-1М и загустителя-понижителя фильтрации VG-Plus, либо реагента комплексного действия СЭТ-1М, позволяющего заменить собой всю совокупность перечисленных специальных реагентов. Стабилизатор-эмульгатор термостойкий «СЭТ-1» успешно прошел испытания в ООО «Уренгойгазпром» при глушении газоконденсатных скважин, а также на ОАО НК «Роснефть-Сахалинморнефтегаз» при бурении горизонтальных высокотемпературных скважин.

Инвертные водонефтяные эмульсии широко используются также в потокоотклоняющих техноло-

гиях и для глушения скважин [8]. Успех их применения обусловлен наряду с реологическими свойствами, измеряемыми на ротационных вискозиметрах, эффектом динамического запираания [9-13], который проявляется при течении эмульсий в капиллярных структурах, отдельных капиллярах и трещинах. Закачиваемая в скважину жидкость в призабойной зоне образует радиально расширяющееся течение, радиальная составляющая скорости которой замедляется по мере удаления от центра. При этом вследствие отсутствия идеальной однородности пласта, движение определяется как локальными свойствами породы, так и формирующимися локальными градиентами поля давлений. Поэтому для того, чтобы исследовать поведение нелинейных систем в неоднородном поле, важно изучить особенности их преобразования и движения не столько при постоянных скоростях подачи жидкости, сколько при постоянных перепадах давления. Действительно, наряду с трансформацией эмульсии, при движении в щелях, капиллярных и пористых структурах проявляется необычный эффект – эффект динамического запираания [9–11]. Сущность эффекта состоит в том, что течение эмульсий в капиллярных структурах и трещинах со временем практически прекращается, несмотря на постоянно действующий перепад давления. Детальное изучение образующейся структуры под микроскопом обнаружило наличие микропотоков, то есть на самом деле течение прекращается не полностью, а уменьшается на 3 – 4 порядка, поэтому обнаруженное явление было названо эффектом динамического запираания [9].

Наличие такого эффекта меняет представление о поле скоростей и давлений вокруг скважины, картина течения инвертно-эмульсионных растворов становится совершенно иной по сравнению с традиционным описанием. Потому представляет практический интерес изучение эффекта динамического запираания в случае инвертно-эмульсионных растворов на основе эмульгатора-стабилизатора обратных эмульсий СЭТ-1. Этот эффект обнаруживает существенную, очень важную при бурении, особенность эмульсии – она может работать как коагулирующая жидкость.

Наиболее простым и надежным способом для тестирования эмульсий на проявление эффекта динамического запираания является осесимметричное течение в цилиндрических микроканалах [10]. Изучение реологических свойств и особенностей течения эмульсий в микроканалах позволяет выявить характеристики эмульсий, полезные для их использования в качестве буровых растворов.

Виды эмульсий и их свойства

Экспериментальные исследования проводились с четырьмя типами инвертных высококонцентрированных водоуглеводородных эмульсий с

эмульгатором-стабилизатором обратных эмульсий СЭТ-1:

- (а) без примесей;
- (б) содержащим 0,6% CaO;
- (в) содержащим 5% бентонита;
- (г) содержащим 10% смазочной добавки СМАД-1М.

Приготовление инвертных высококонцентрированных водоуглеводородных эмульсий (а-г) проводилось в соответствии с ТУ 2458-036-22657427-08 на эмульгатор термостойкий СЭТ-1. Для приготовления обратных эмульсий в промышленных условиях используют пресные и пластовые воды, а также растворы минеральных солей (преимущественно NaCl или CaCl₂).

Смесь эмульгатора (1мл) и зимнего дизельного топлива (39,6 мл) перемешивалась в сосуде (200 мл, диаметр 6 см) с помощью механической мешалки (диаметр лопастей мешалки 3 см) при 800 об/мин, в течение 1 мин. К полученному раствору (углеводородная компонента), при тех же скоростях перемешивания, добавлялось 59,4 мл водного раствора хлорида натрия (26г соли на 100мл дистиллированной воды) в течение 2 мин. Далее полученная эмульсия перемешивалась при 3600 об/мин в течение 25 мин.

Эмульсии с эмульгатором-стабилизатором обратных эмульсий СЭТ-1 (а) и с эмульгатором-стабилизатором обратных эмульсий СЭТ-1, содержащим 0,6% CaO, (б) статически устойчивы. По истечении суток сверху выделяется тонкий слой углеводородной фазы.

Эмульсия с эмульгатором-стабилизатором обратных эмульсий СЭТ-1, содержащим 5% бентонита (в) статически менее устойчива. По прошествию около 1 ч после приготовления эмульсии наблюдалось выделение слоя углеводородной фазы и образование небольшого количества скоалесцировавшихся капель воды диаметром от 0,5 до 5 мм. При встряхивании капли воды дробились, эмульсия приобретала устойчивость и заметного расслоения ее в течение суток не происходило.

В эмульсии с эмульгатором-стабилизатором обратных эмульсий СЭТ-1, содержащим 10% смазочной добавки СМАД-1М (г), по прошествии часа после приготовления наблюдалось выделение слоя углеводородной фазы и образование нескольких (меньше 1 мм) коалесцировавшихся капель воды диаметром до 1 мм. При встряхивании капли воды дробились, эмульсия становилась статически устойчивой, заметного расслоения ее в течение суток не происходило.

На примере эмульсии с эмульгатором-стабилизатором обратных эмульсий СЭТ-1, содержащего 10% смазочной добавки СМАД-1М, непосредственно перед проведением гидродинамического эксперимента была изучена структура эмульсий и

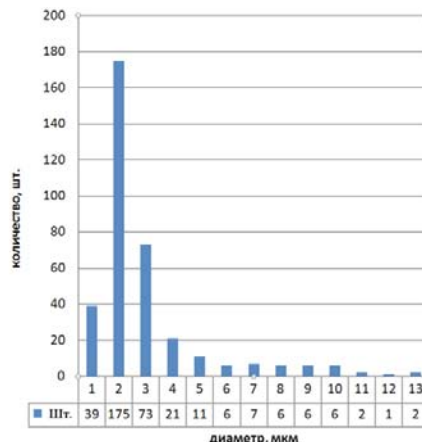
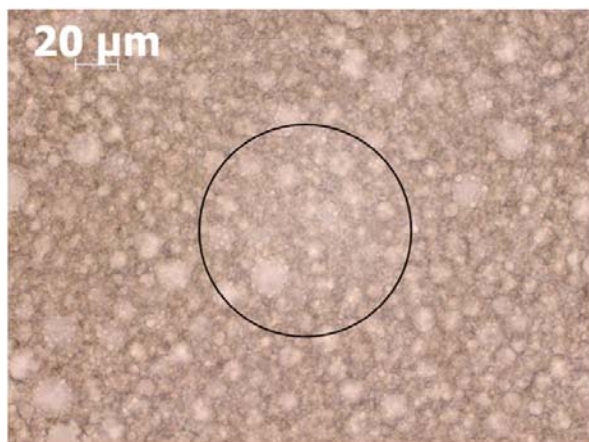


Рисунок 1. Микрофотография эмульсии с гистограммой распределения микрокапель по размерам; а) на изображении эмульсии, диаметр нарисованной окружности соответствует диаметру капилляра (100мкм), б) гистограмма распределения количества капель с различными диаметрами

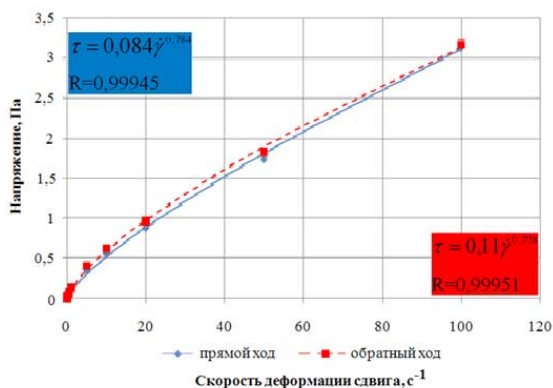
распределение капель по размерам, построена гистограмма (рисунок 1). Для её построения использовалась 1/9 часть поля приведенного изображения. На этой площади с помощью программы AxioVision отмечались размеры диаметров капель, которые заносились автоматически в таблицу. Далее в программе Excel проводилась сортировка по размерам. Подсчитывалось количество капель с диаметром до 1мкм (минимальный диаметр 0,64 мкм) – первый столбец, от 1 до 2 мкм – второй столбец и подобным образом с шагом 1 мкм до максимального диаметра, по полученным значениям получена гистограмма распределения числа капель в зависимости от диаметра. Изученная эмульсия преимущественно содержит капли размером от 1 до 4 мкм.

Реологические характеристики эмульсий измерялись на ротационном реометре НААКЕ MARS III с системой двойной конус при температуре 22°C, в диапазоне скоростей деформации сдвига ($\dot{\gamma}$) 0,01÷2000 с⁻¹. Измерения проводились по мере

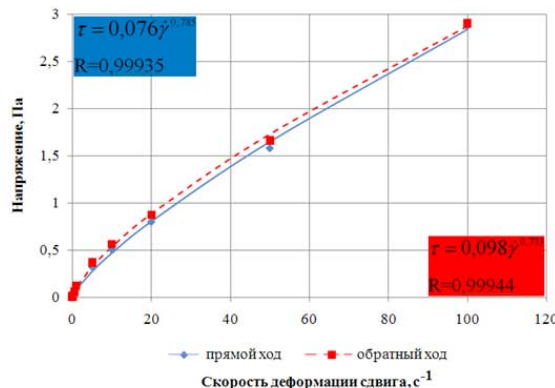
увеличения скорости деформации сдвига 0,01÷2000 с⁻¹ (прямой ход) и затем по мере уменьшения 2000÷0,01 с⁻¹ (обратный ход).

Результаты измерения напряжения сдвига при различных скоростях деформации сдвига (кривые течения) показали, что реологические кривые для эмульсий (а) и (б) при прямом и обратном ходе практически совпадают, что говорит о динамической устойчивости эмульсии. В случае эмульсий (в), (г) наблюдается небольшое различие – обратный ход идет выше прямого (рисунок 2, 1), что говорит о незначительных реопектических свойствах этих эмульсий. Измерения, проведенные через 2 суток для эмульсии (г) показали некоторое снижение кривых течения (рисунок 2, 2).

Сравнение реологических свойств свежеприготовленных эмульсий (прямой ход) наглядно иллюстрируется на рисунке 3, там же приведены значения параметров степенных функций, описывающих реологические кривые. По реологическим свойствам можно распределить



1



2

Рисунок 2. Кривые течения для эмульсии (г) (измерения выполнены после взбалтывания), первый (1) и 3-й день (2). На цветных полях приведены значения параметров аппроксимирующей степенной функции

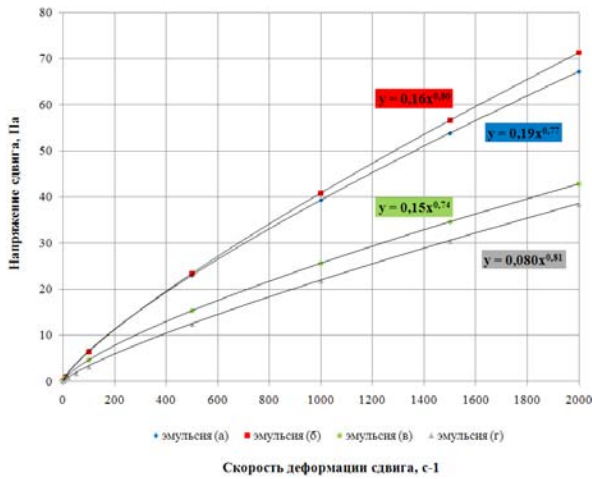


Рисунок 3. Кривые течения для эмульсии (а), (б), (в), (г)

эмульсии по мере уменьшения эффективной вязкости – эмульсии б, а, в, г.

Приведенные экспериментальные зависимости с большой степенью достоверности ($R = 0,9995$) аппроксимируются степенной зависимостью напряжения сдвига от скорости деформации сдвига (жидкость Освальда-де-Ваале):

$$\tau = k\dot{\gamma}^n, \quad (1)$$

где k – индекс консистенции, а n – показатель неньютоновского поведения [16].

Эффективная вязкость при этом будет определяться выражением:

$$\eta = \tau / \dot{\gamma} = k \cdot \dot{\gamma}^{n-1}, \quad (2)$$

где числовые значения k и n соответствуют данным, приведенным на рисунке 3.

Проведенные измерения реологических характеристик показали, что все эмульсии являются псевдопластичными жидкостями, зависимость касательного

напряжения от скорости деформации сдвига аппроксимируется степенной функцией – модель жидкости Освальда-де-Ваале.

Экспериментальные исследования течения эмульсий в капиллярах

Эксперименты проводились на стеклянных капиллярах диаметром 100 мкм, длиной 2 см. Течение организовывалось путём подачи эмульсий под давлением на вход капилляра, на выходе давление соответствовало атмосферному, расходные характеристики потока измерялись при помощи электронных весов НМ-200, сопряженных с компьютером [11]. Структура течения изучалась под микроскопом и фиксировалась цифровой видеокамерой. Значения веса считывалось с показаний электронных весов с интервалом 1 с, поэтому экспериментальные точки там, где изменения веса происходят медленно, сливаются в сплошную линию (рисунки 4, 5, 7).

Для течения жидкостей Освальда-де-Ваале через цилиндрический канал известная формула Пуазейля переходит в более сложную зависимость расхода от двух параметров k и n [14]:

$$Q = \frac{n}{3n+1} \pi R^{\frac{3n+1}{n}} \left(\frac{\Delta P}{2kl} \right)^{\frac{1}{n}}. \quad (3)$$

При $n=1$ это выражение обращается в формулу Пуазейля.

Реологические измерения проводились при изменении $\dot{\gamma}$ до 2000 с^{-1} , при течении эмульсий в капилляре на начальных участках значения $\dot{\gamma}$ менялись от 1500 с^{-1} до 5500 с^{-1} .

Проведено сравнение объёмных расходов эмульсий при течении через капилляр, полученных расчётным путём $Q_{\text{расч}}$ по формуле (3) (k и n из рисунка 3) и из гидродинамических измерений, приведены

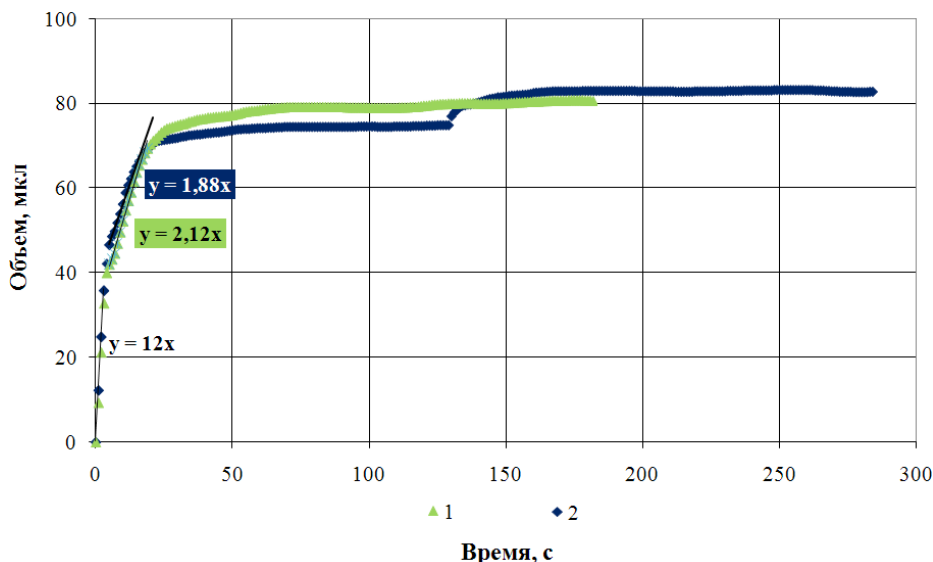


Рисунок 4. Зависимость объема протекшей эмульсии (в) в капилляре диаметром 100мкм длиной 2 см при перепаде давления 100 кПа, первый (1) и второй (2) эксперименты с интервалом 1 час

усреднённые по сечению скорости течения v , оценки $\dot{\gamma} \sim v/r$ (r – радиус капилляра):

(а) $Q_{\text{расч}} = 0,40$ мкл/с, гидродинамические $Q = 0,75$ мкл/с, $v = 96$ мм/с, $\dot{\gamma} = 1920$ с⁻¹;

(б) $Q_{\text{расч}} = 0,37$ мкл/с, гидродинамические $Q = 0,59$ мкл/с, $v = 75$ мм/с, $\dot{\gamma} = 1500$ с⁻¹;

(в) $Q_{\text{расч}} = 1,90$ мкл/с, гидродинамические $Q = 2,12$ мкл/с, $v = 280$ мм/с, $\dot{\gamma} = 5600$ с⁻¹;

(г) $Q_{\text{расч}} = 1,02$ мкл/с, гидродинамические $Q = 0,83$ мкл/с, $v = 110$ мм/с, $\dot{\gamma} = 2200$ с⁻¹.

Расчет объёмного расхода эмульсии на основе реологических измерений дает неплохое соответствие с гидродинамическими измерениями течения эмульсии через цилиндрический микроканал в случае эмульсий (в), (г); для эмульсий (а), (б) различие порядка 40%.

При течении в капиллярах всех видов эмульсий, вне зависимости от типа эмульгатора, обнаруживается эффект динамического запириания. Течение эмульсий, несмотря на действие постоянного перепада давления, на капилляре, по показаниям весов, практически полностью прекращается (рисунки 4,5,7).

В приведенном выше эксперименте (рисунок 4) начальный участок с расходом 12 мкл/с соответствовал течению воды. Во втором эксперименте на 130-ой секунде произошел прорыв, но достаточно быстро течение перешло в состояние «запириания».

Для эмульсии (г) с эмульгатором, содержащим смазочную, добавку были проведены 2 эксперимента с интервалом в 2 суток (рисунок 5), перед каждым экспериментом проводились реологические измерения (рисунок 2). По данным графика (рисунок 5) расходные характеристики для нижней кривой перед запирианием $Q_1 = 0,83$ мкл/с, для верхней кривой $Q_2 = 1,0$ мкл/с, соответствующие им усредненные по сечению скорости – $v_1 = 110$ мм/с, $v_2 = 130$ мм/с, $Q_{1\text{расч}} = 1,02$ мкл/с, $Q_{2\text{расч}} = 1,15$ мкл/с. Расчетные значения в пределах 20% соответство-

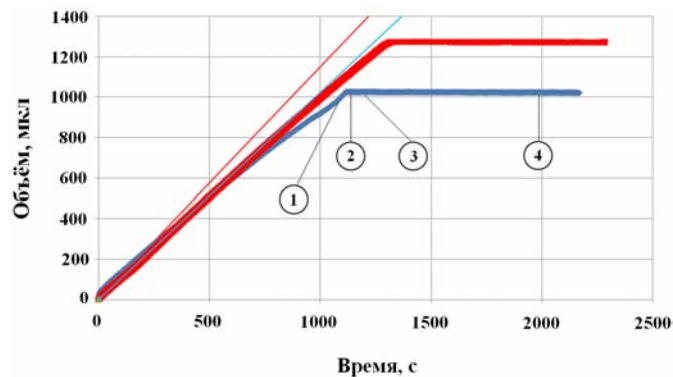


Рисунок 5. Зависимость объема протекшей эмульсии (г) от времени (перепад давления 100 кПа). Верхний (красный) график получен через 2 дня. Тонкие линии соответствуют расчетным значениям ($Q_{\text{расч}}$) по параметрам аппроксимирующих экспериментальных данных функций. Цифры в кружках соответствуют кадрам, приведенным на рисунке 6

вали данным гидродинамическим измерениям (рисунок 5).

При переходе в состояние «запириания» движение в капилляре можно изучать с помощью микроскопа по последовательности видеок кадров (рисунок 6). Скорость движения становилось медленной. В первую минуту процесса запириания скорость уменьшалась в 180 раз, далее за 14 минут падала в 2200 раз. Структура течения со временем существенно преобразовалась: в стационарном гидродинамическом потоке картина однородна (кадр 1), в состоянии «запириания» наблюдалась перемежающаяся структура, на кадре 4 можно различить 3 составляющих: углеводородная – прозрачная, эмульсия – белая (за счет рассеивания света), и выделившаяся водная фаза – прозрачная, ограниченная менисками. Следует отметить, что образование перемежающейся структуры происходило у входа в капилляр. Углеводородная дисперсионная среда выжималась из эмульсии. При течении эмульсии в капилляре про-

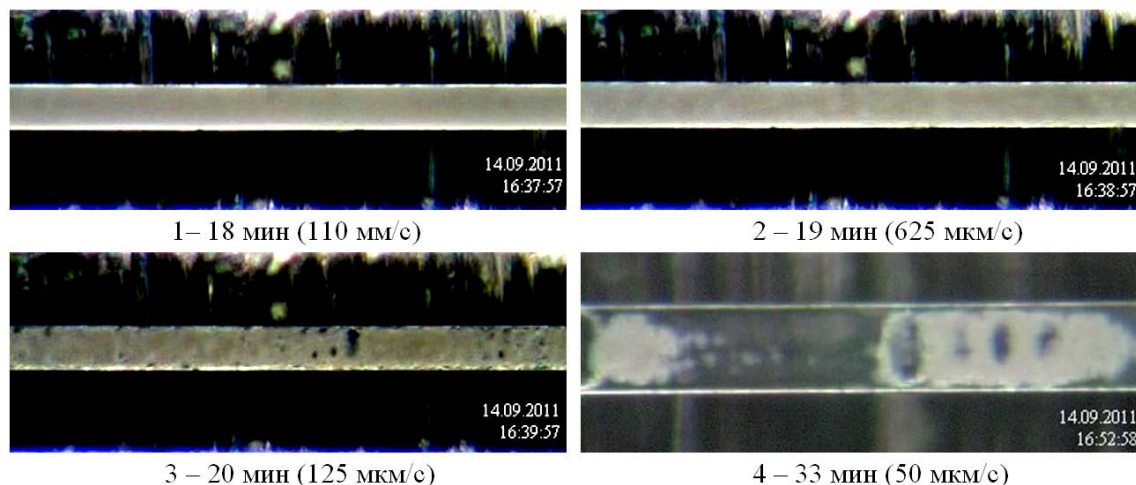


Рисунок 6. Микровидеоизображения структуры течения эмульсии (г) в цилиндрическом микроканале (диаметр 100 мкм) при перепаде давления 100 кПа

исходило образование непрерывной водной фазы вследствие коалесценции микрокапель воды.

Подобно приведенным выше на одном рисунке (рисунок 3) кривым течения четырёх эмульсий, совместим на одном рисунке данные гидродинамических измерений при тчении эмульсий через капилляр (рисунок 7).

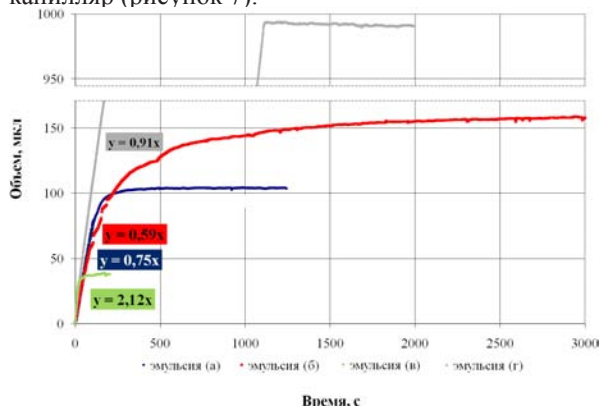


Рисунок 7. Зависимость объема протекших эмульсии а, б, в, г от времени (перепад давления 100 кПа)

Если эмульсии по мере уменьшения вязкости предполагались б, а, в, г, то расходы по гидродинамическим данным по мере увеличения расхода б, а, в, г.

Движение эмульсий до наступления состояния запираания происходило почти с постоянным расходом, что обусловлено ее динамической стабильностью. При этом наблюдался некоторый разброс в объеме протекшей эмульсии и времени до наступления запираания, это обусловлено как структурой эмульсии, так и сложным механизмом запираания.

Введение в состав эмульгатора кальциевых солей кислот талового масла (эмульсия б) способствовало увеличению объема протекшей эмульсии и времени до наступления запираания. Это явление согласовывалось с экспериментальными данными: включение в состав инвертно-эмульсионного раствора солей кальция приводит к снижению показателя фильтрации и увеличению степени восстановления проницаемости пористой среды [15].

При использовании эмульсии, содержащей органобентонит (эмульсия в) — эффективного структурообразователя буровых растворов на углеводородной основе, наблюдалась высокая скорость движения жидкости через капилляр на начальной стадии (рисунок 4).

Смазочная добавка СМАД-1 (эмульсия г) привела к увеличению объема жидкости, прошедшей через капилляр и времени запираания.

Физический механизм динамического запираания

Многочисленные эксперименты показали, что физический механизм динамического запираания обратных водоуглеводородных эмульсий в микро-

каналах связан с образованием структуры из микрокапель воды у входа в микроканал [16], проявлением силы трения, структурированием микрокапель и их деформацией [10]. Оболочки микрокапель воды состоят из молекул ПАВ эмульгатора, размеры которых около 3 нм. На начальном этапе практически весь перепад давления падает на участке цилиндрического микроканала (рисунок 8, 2), с течением времени происходит некоторая сепарация микрокапель воды у входа в капилляр.

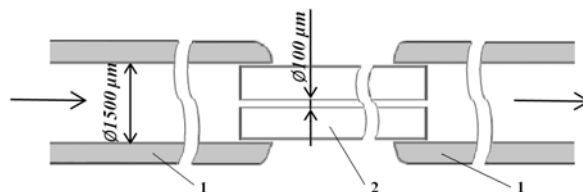


Рисунок 8. Схематичное изображение движения эмульсии при тчении через цилиндрический микроканал (2) по подводящим трубкам (1)

Концентрация эмульсии у входа в микроканал возрастает, что приводит к увеличению вязкости во входной зоне и падению части перепада давления в зоне у входа в капилляр. Это приводит к увеличению градиента давления, дальнейшей сепарации капель воды и их сближению (рисунок 9, б).

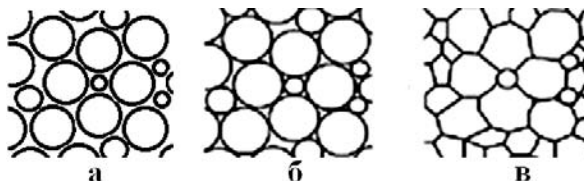


Рисунок 9. Схематичное изображение микрокапель эмульсии для объяснения эффекта динамического запираания

Постепенно несущая фаза выжимается из пространства между поверхностями микрокапель, появляются силы молекулярного взаимодействия между молекулами ПАВ «соприкасающихся» оболочек, аналогично черной пленке в пенах [17]; проявляется сила «трения». Происходит структурирование эмульсии у входной зоны, преобразование капель воды из сферической формы в подобие многогранников, точки касания между каплями переходят в поверхности (рисунок 9, в). Таким образом, можно предположить, что под действием большого градиента давления углеводородная фаза выжимается из пространства между микрокаплями воды. В результате движение эмульсии приостанавливается.

Выводы

Экспериментальные исследования, проведенные на ротационном вискозиметре показали, что реологические свойства рассмотренных эмульсий соответствуют модели жидкости Освальда-де-Ваале.

Установлено, что общим для всех типов эмульсий на основе эмульгатора-стабилизатора обратных эмульсий СЭТ-1 при течении через капилляр (диаметр 100 мкм, длина 2 см) при перепаде давления

100 кПа является возникновение эффекта динамического запираания.

Проявление эффекта динамического запираания говорит о том, что изученные эмульсии обладают кольматационными свойствами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Technical services news letter // GEO Drilling Fluids Inc., Vol. III, Number 2, March 25, 1999. P.1

2. Высококачественные инвертно-эмульсионные буровые растворы для пологих скважин / Соловьев А.Я. и др. // Нефтегазовое дело: науч.-техн. журн. №2, 2004. С.67-73.

3. Исмаков Р.А. Разработка реагентов эмульгаторов-стабилизаторов для бурового раствора с улучшенной характеристикой // Нефтегазовое дело: науч.-техн. журн. 2006. №1. С.59-63.

4. Пат. 2271378 РФ. Реагент комплексного действия для технологических жидкостей, применяемых в бурении и капитальном ремонте скважин / Валитов Р.А. и др. публ.10.03.06.

5. Пат. 2236286 РФ. Эмульгатор-стабилизатор инвертных эмульсий и способ его получения / А.Я. Соловьев и др. Опубл. 20.09.04, Бюл. № 26. С.7.

6. Соловьев А.Я. Совершенствование качества буровых эмульсионных растворов применением реагентов комплексного действия: дисс... канд. техн. наук. Уфа, 2003. 241 с.

7. Валитов Р.А., Исмаков Р.А. Технология проводки горизонтальных скважин на примере месторождения Одопту-море (Северный купол) // Нефтегазовое дело: науч.-техн. журн. 2004. № 2. С.61-66.

8. Мусабиринов М.Х. Технологии обработки призабойной зоны нефтяного пласта в процессе подземного ремонта скважин. М.: ОАО «ВНИИОЭНГ». 2002. 221с.

9. Akhmetov A., Telin A., Glukhov V., Mavletov M. Flow of Emulsion through Slot and Pore Structures. Advances in Incremental Petroleum Production // Progress in Mining

and Oilfield Chemistry. Vol. 5. Akademiai Kiado. Budapest. 2003. P. 287-295.

10. Ахметов А.Т., Саметов С.П. Особенности течения дисперсии из микрокапель воды в микроканалах // Письма в ЖТФ. 2010. Т.36, вып.22. С.21 – 28.

11. Новые принципы применения обратных водонефтяных эмульсий в потокоотклоняющих технологиях и глушении скважин /Ахметов А.Т.и др. // Нефтегазовое дело: науч.-техн. журн. 2005. №3. С.119-126.

12. Mars M. Khasanov, Guzel T. Bulgakova, Aleksey G. Telin, Alfir T. Akhmetov. Unsteady Non-equilibrium and Nonlinear Effects in Water-in-Oil Emulsion Flows in Porous Media. Energy Fuels 2011, 25, 1173–1181/

13. Мирзаджанзаде А.Х., Хасанов М.М., Бахтизин Р.Н. Этюды о моделировании сложных систем нефтедобычи. Нелинейность, неравновесность, неоднородность. Уфа: Гилем, 1999. С.79

14. Chhabra R. P., Richardson J.F. Non-Newtonian Flow and Applied Rheology, Second Edition: Engineering Applications (Butterworth-Heinemann/SChE), 2008. 518 p.

15. Токунов В.И., Хейфец И.Б. Гидрофобно-эмульсионные буровые растворы // М., Недра. 1983. 167 с.

16. Akhmetov A.T., Telin A.G., Mavletov M.T., Sametov S.P., Silin M.J.(2005) «Flow of Invert Water-Oil Dispersions in Capillaries» // International Conference. Fluxes and Structures in Fluids, Moscow 2005. Selected Papers edited by YU.D. Chashechkin and V.G.Baydulov. Institute for Problems in Mechanics of the RAS M.V. Lomonosov Moscow State University. Moscow 2006. P.16-21

17. Denkov N.D., Tcholakova S., Golemanov K., Lips A. Jamming in Sheared Foams and Emulsions, Explained by Critical

Instability of the Films between Neighboring Bubbles and Drops. Phys. Rev. Lett., 103, 2009, 118302. -4 p.

Ахметов А.Т., канд. физ.-мат. наук, зав. лаб. «Экспериментальная гидродинамика», ин-тут механики им. Р.Р. Мавлютова УИЦ РАН

A.T. Akhmetov, cand.phys.-math.sci., head of lab. «Experimental fluid dynamics», Mavlyutov institute of mechanics of Ufa branch, RAS

Саметов С.П., канд. физ.-мат. наук, ин-тут механики им. Р.Р. Мавлютова УИЦ РАН

S.P. Sametov, cand.phys.-math.sci., Mavlyutov institute of mechanics of Ufa branch, RAS

Рахимов А.А., мл. науч. сотр. лаб. «Экспериментальная гидродинамика», ин-тут механики им. Р.Р. Мавлютова УИЦ РАН

A.A. Rakhimov, junior researcher laboratory «Experimental fluid dynamics», Mavlyutov institute of mechanics of Ufa branch, RAS e-mail: ragar83@mail.ru

Латыпова Д.Р., канд. хим. наук., ин-тут орг. хим. УИЦ РАН

D.R. Latypova, cand.chem.sci., institute of organic chemistry of Ufa branch, RAS

Ханова М.Д., канд. хим. наук., ин-тут орг. хим. УИЦ РАН

M.D. Khanova, cand.chem.sci., institute of organic chemistry of Ufa branch, RAS

Докичев В. А., д-р. хим. наук, проф., ФГБОУ ВПО УГАТУ

V.A. Dokichev, dr.chem.sci., prof., FSBEI USATU