

УДК 532.135; 532.5

ПРОЯВЛЕНИЕ ЭФФЕКТА ДИНАМИЧЕСКОГО ЗАПИРАНИЯ ОБРАТНЫХ ВОДОНЕФТЯНЫХ ЭМУЛЬСИЙ В ЭЛЕМЕНТАХ ПЛАСТА

А. Т. Ахметов, А. А. Рахимов, С. П. Саметов

Институт механики УНЦ РАН, Уфа

Аннотация. На основе ранее проведенных экспериментов известно, что течение водонефтяной эмульсии в щелевидной модели и в капиллярах разного диаметра при постоянном перепаде давления приводит к тому, что массоперенос эмульсии со временем прекращается. Это явление было названо эффектом динамического запираания. В работе исследовано на наличие запираания радиально-расширяющееся течение водонефтяной дисперсии в модели трещины при постоянном перепаде давления и фильтрационное течение в керне.

Ключевые слова: динамическое запираание, эмульсия, радиально-расширяющееся течение, линейная модель пласта, ячейка Хили–Шоу

1. Введение

В качестве дисперсионной системы использовались две обратные водородоуглеводородные эмульсии (микрокапли воды в углеводороде) с концентрациями водной фазы 75% и 48%. Изучение движений эмульсии проводилось в радиальной ячейке Хили–Шоу и в линейной модели пласта – керне. Радиально-расширяющееся течение характерно тем, что происходит в изначально неоднородном поле давления. Для экспериментального изучения радиально-расширяющегося течения была использована стабилизированная нефтенолом водонефтяная эмульсия (состав: минерализованная вода – 73%, эмульгатор нефтенол НЗ – 4%, нефть – 20%, 32%

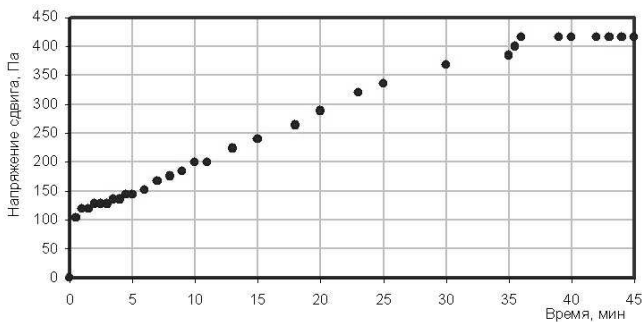


Рис. 1. Зависимость касательного напряжения сдвига от времени при скорости деформации сдвига $\dot{\gamma} = 900 \text{ с}^{-1}$

водный раствор хлорида кальция — 3%), используемая в нефтедобывающей промышленности. Размеры капель воды в нефти составляют менее 5 мкм. Стабилизированная эмульсия отличается большой динамической стабильностью [2], и даже имеющиеся капли в процессе измерения вязкости диспергируют в микрокапли [3]. Реологические характеристики эмульсии измерялись на ротационном вискозиметре с системой конус-пластина. Процесс упрочнения наиболее ярко проявляется при снятии зависимости касательного напряжения от времени при постоянном значении $\dot{\gamma} = 900 \text{ с}^{-1}$ (Рис. 1), то есть эмульсия обладает свойством реопексии [3]. Следует также отметить, что кривая «упрочнения», как видно на графике, насыщается через 35 минут, при этом величина напряжения сдвига увеличивается в 4 раза.

2. Экспериментальная часть

Радиальная ячейка Хили–Шоу была использована в серии экспериментов с зазором 17 мкм и 35 мкм при различных перепадах давления от 50 кПа до 300 кПа между входным отверстием и внешней образующей пластин. По показаниям градуированной трубки и по визуальным наблюдениям картины течения в масштабе модели движение эмульсии со временем во всех проведенных экспериментах полностью останавливается в интервале от 22 минут до 2.4 часа от начала эксперимента. На Рис. 2 приведен характерный результат, иллюстрирующий изменение расхода при ступенчатом увеличении давления после запираания. Увеличение давления на входе вдвое приводит к возобновлению движения с расходом, несколько меньшим начального, и запираение наступает намного раньше. Повторное удвоение давления вновь приводит к возобновлению движе-

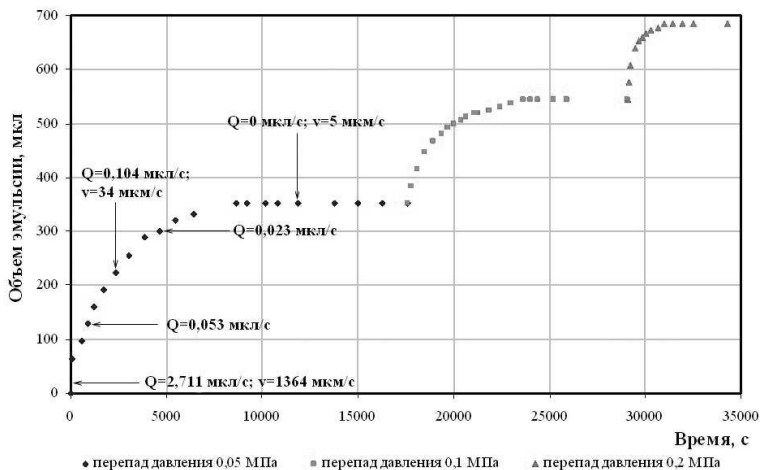


Рис. 2. Зависимость объема протекшей эмульсии от времени при ступенчатом изменении перепада давления

ния, но уже через 20 минут система снова переходит в состояние запирания.

Можно отметить (Рис. 3), что в начале происходит формирование радиальных трубок тока (кадр 1), хаотизация течения (кадр 2), сопровождаемая уменьшением расхода эмульсии, и конвульсивный процесс приостановления движения, характерный формированием эквипотенциальных поверхностей (кадр 3).

После запирания при увеличении перепада давления, подающаяся из центра эмульсия вытесняет структурированную эмульсию, находящуюся в ячейке в состоянии запирания. Удивительным является то, что при этом картина вытеснения является устойчивой, то есть поступающая эмульсия заполняет ячейку в виде расширяющихся колец (Рис. 4).

Изучение процессов, происходящих в ячейке в состоянии запирания, с помощью микроскопа Stemi-2000C позволяет обнаружить наличие микропотоков (Рис. 5). Скорость таких микротечений колеблется в пределах 2–5 мкм/с. Особенностью этих течений является то, что микропоток весьма извилист (Рис. 5, кадр 3), движение происходит не в радиальном направлении, как следовало бы ожидать, а по некоторым «каналам», то есть структурированная в ячейке эмульсия препятствует движению вновь поступающей эмульсии.

Были испытаны различные способы выведения системы из состояния запирания с помощью механических и мощных ультразвуковых волновых воздействий. Состояние запирания очень устойчиво, в течение

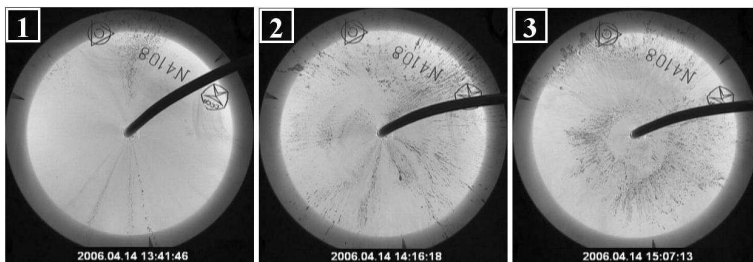


Рис. 3. Изменение структуры течения в радиально- расширяющемся потоке при постоянно действующем перепаде давления

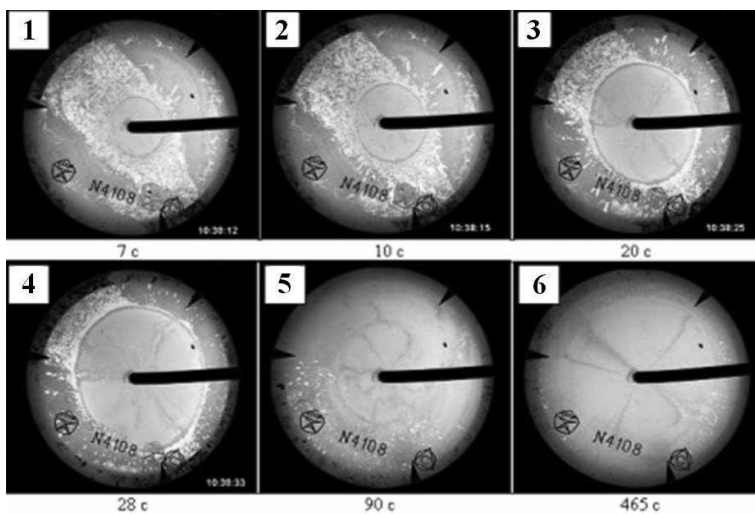


Рис. 4. Заполнение ячейки и дальнейшее радиально-расширяющееся течение при перепаде давления 200 кПа (под кадрами указано время от начала подачи перепада давления 200 кПа)

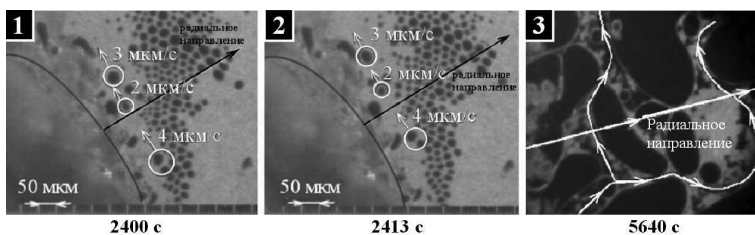


Рис. 5. Микропотоки в состоянии замирания (под кадрами указано время от перехода системы в состояние замирания)

нескольких суток микропотоки только уменьшаются, механические воздействия приводят к изменениям, заметным только в микромасштабе. Для испытания влияния ультразвуковых полей модель в состоянии запираания (при постоянно действующем избыточном давлении 200 кПа) помещалась в ультразвуковую ванну УЗВ 3/100 ТН на 2, 5, 10 минут. Структура потока после воздействия мощных УЗ полей меняется приблизительно таким же образом, как и при обычном запираании, при повторных воздействиях картина аналогична, причем увеличение длительности воздействия УЗ полей приводит к увеличению расхода и времени до наступления запираания.

Изучение течения эмульсий в объёмных капиллярных структурах проводилось в реальных кернах нефтеносных пород, характеристики которых приведены в Табл. 1.

Таблица 1

Паспортные данные кернов

Шифр образца	Проницаемость $k_{\text{сред}}$, мД	L , см	d , см	Размер пор S , см ²	Размер пор V , см ³	λ , мкм $m = 0.2$
Ю-Б7	75.6	5.8	2.88	6.511	37.76	4.918536
А-4	1073.6	5.84	2.88	6.511	38.02	18.53516

Течение эмульсии через керн организовывалось при постоянном перепаде давления при изолированных боковых гранях. Для изучения течений использовали высококонцентрированную обратную стабилизированную эмульсию, применявшуюся в предыдущих экспериментах, и эмульсию ЖГ, предназначенную для глушения скважин (состав: диз. топливо — 125 мл, нефтенол НЗ Б — 10 мл, водный раствор хл. натрия 26% — 125 мл). Для последней эмульсии в капилляре и в ячейке Хили–Шоу запираание происходило в 6 раз быстрее, чем для высококонцентрированной эмульсии. В реологическом плане она проявляла себя как ньютоновская жидкость.

При течении через керн Ю-Б 7 высококонцентрированной стабилизированной эмульсии при малых перепадах давлений (1 атм) запираание за большой промежуток времени не происходит (Рис. 6(а)), на выходе вместо эмульсии вытекали ее составляющие — углеводород и вода. При подаче перепада давления 0.5 атм (Рис. 6(б)) расход уменьшился в 4–6 раз, но запираание так и не произошло по истечении длительного промежутка времени (70 часов). При подаче перепада давления 20 атм (Рис. 6(в)) запираание наступило только по истечении 160 часов.

При подаче эмульсии ЖГ через керн Ю-Б 7 под давлением в 10 атм запираание произошло за 3.5 часа (Рис. 7(а)), при увеличении перепада давления до 20 атм запираание произошло уже за 1.25 часа (Рис. 7(б)),

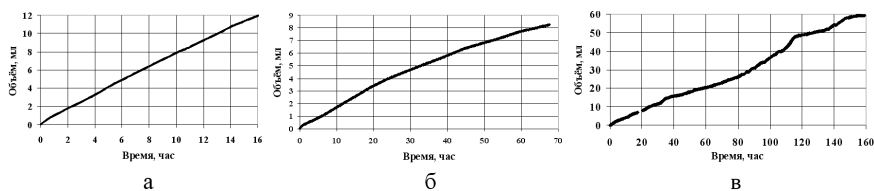


Рис. 6. Зависимости объема прошедшей через керн Ю-Б 7 высококонцентрированной эмульсии от времени при постоянно действующем перепаде давления (а — 100 кПа, б — 50 кПа, в — 1 МПа)

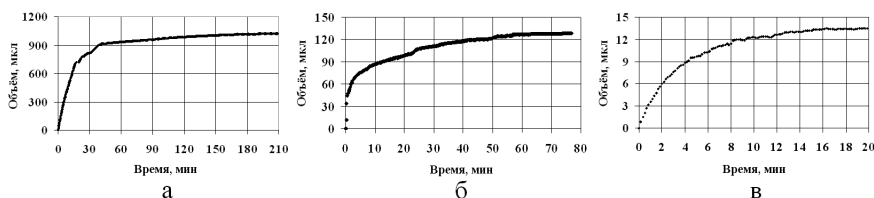


Рис. 7. Зависимости объема прошедшей через керн Ю-Б 7 эмульсии ЖГ от времени при ступенчатом изменении перепада давления (а — 1 МПа, б — 2 МПа, в — 2,3 МПа)

затем при увеличении перепада давления до 23 атм запирание произошло уже за 20 минут (Рис. 7(в)), расход падает практически до нуля.

Проницаемость керна А-4 намного выше по сравнению с керном Ю-Б 7 (Табл. 1), поэтому и времени, необходимого для наступления запирания, требуется намного больше.

При течении эмульсии ЖГ через керн А-4 под давлением 2 атм (Рис. 8(а)), через 18 часов расход уменьшается в 4 раза. Так и не дождавшись запирания, увеличили давление до 10 атм (Рис. 8(б)). Через 5 часов расход уменьшается до 0.25 мл/час. На выходе выделилось дизельное топливо, примерно 12 см на выходящей трубке, далее ближе к керну — однородная эмульсия. Затем увеличили давление до 20 атм (Рис. 8(в)), расход уменьшился практически до нуля по истечении 16 часов.

3. Заключение

Проведенные исследования позволили сделать следующие выводы:

1. При радиально-расширяющемся течении в ячейке Хили-Шоу, в капиллярах и керне стабилизированная нефтенолом эмульсия (микрокапли воды в углеводороде) обнаруживает эффект динамического запирания, при этом трансформирующаяся в ячейке или капилляре эмульсия об-

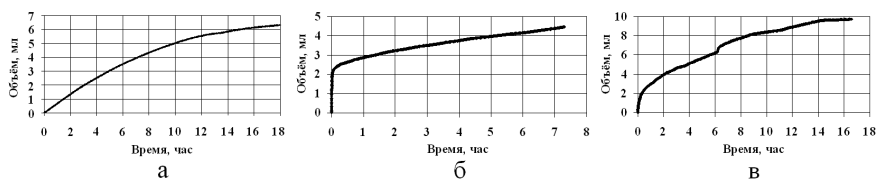


Рис. 8. Зависимости объема прошедшей через керн А-4 эмульсии ЖГ от времени при постоянно действующем перепаде давления (а — 200 кПа, б — 1 МПа, в — 2 МПа)

разует застойные зоны, которые препятствуют движению закачиваемой эмульсии.

2. Эффект динамического запираания водонефтяной эмульсии устойчив к механическим воздействиям, и одним из способов управления этим эффектом является действие мощных УЗ полей.

3. На основе сравнения обратных эмульсий высококонцентрированной и эмульсии ЖГ можно сказать, что в ядрах запираание при больших перепадах давления происходит быстрее только для динамически стабильных и устойчивых к деформациям эмульсий. Увеличение проницаемости ядра оказывает влияние на время наступления запираания, но сама возможность возникновения запираания остается. Обнаружение эффекта динамического запираания в ядрах открывает новые возможности лабораторного анализа дисперсий, предназначенных для промышленного использования.

Список литературы

- [1] Ахметов А., Телин А., Глухов В., Мавлетов М., Силин М., Гаевой Е., Магадов Р., Хлобыстов Д., Байкова Е. Особенности течения высококонцентрированных обратных водонефтяных эмульсий в трещинах и пористых средах // Технологии ТЭК. Нефть и капитал, апрель, 2003. С. 54–58.
- [2] Ахметов А., Телин А., Корнилов А. Дисперсионные и реологические характеристики обратных водонефтяных эмульсий на основе нефтей приобского и мамонтовского месторождений // Научно-технический вестник. ЮКОС. 2004. № 9. С. 43–50.
- [3] Телин А., Ахметов А., Калимуллина Г. Тестирование обратных водонефтяных эмульсий с анолитом и сеноманской водой в качестве блокирующих жидкостей для глушения скважин // Научно-технический вестник. ЮКОС. 2004. № 10. С. 50–56.