Вестник Тюменского государственного университета.
Физико-математическое моделирование. Нефть, газ, энергетика. 2022. Т. 8. № 1 (29). С. 8-22

ТЕПЛОФИЗИКА И ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ТЕПЛОТЕХНИКА

Альберт Азаматович АСЫЛГАРЕЕВ[1]
Рамиль Фаизырович ШАРАФУТДИНОВ[2]
Рим Абдуллович ВАЛИУЛЛИН[3]
Денис Владимирович КОСМЫЛИН[4]

УДК 536:550.8

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМОГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ФИЛЬТРАЦИИ ВОДОНЕФТЯНОЙ ЭМУЛЬСИИ*

[1] аспирант кафедры геофизики,
Башкирский государственный университет (г. Уфа)
asylgareev9696@gmail.com

[2] доктор физико-математических наук, профессор кафедры геофизики,
Башкирский государственный университет (г. Уфа)
gframil@inbox.ru

[3] доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой геофизики,
Башкирский государственный университет (г. Уфа)
valra@geotec.ru

[4] ассистент кафедры геофизики,
Башкирский государственный университет (г. Уфа)
kosmylindenis@yandex.ru

* Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ по теме: «Создание интеллектуальной комплексной технологии исследования и интерпретации данных промыслово-геофизических исследований скважин, включая оптоволоконные измерения для контроля за разработкой нефтегазовых месторождений и экологического мониторинга состояния недр, на основе использования математического моделирования, машинного обучения, алгоритмов обработки и роботизированной аппаратуры индукционного воздействия», соглашение № 075-11-2021-061 от 25 июня 2021 г.

© ФГАОУ ВО Тюменский государственный университет

Цитирование: Асылгареев А. А. Экспериментальное исследование термогидродинамических процессов при фильтрации водонефтяной эмульсии / А. А. Асылгареев, Р. Ф. Шарафутдинов, Р. А. Валиуллин, Д. В. Космылин // Вестник Тюменского государственного университета. Физико-математическое моделирование. Нефть, газ, энергетика. 2022. Том 8. № 1 (29). С. 8-22.
DOI: 10.21684/2411-7978-2022-8-1-8-22

Аннотация

Температурные измерения в скважинных условиях (термометрия скважин) широко используются при контроле за разработкой нефтегазовых пластов. С использованием термометрии решаются многие нефтепромысловые задачи: определение работающих интервалов, заколонных перетоков, негерметичности обсадной колонны и т. д. Изменение температуры в пласте обусловлено проявлением термодинамических эффектов: Джоуля — Томсона и адиабатического. Одним из основных эффектов при определении работающих интервалов методами скважинной термометрии является эффект Джоуля — Томсона, который связан с коэффициентом Джоуля — Томсона, характеризующим состав притекающего флюида из перфорированного пласта в скважину. Поэтому необходимо знать величину коэффициента Джоуля — Томсона для различных флюидов, особенно это важно при количественной интерпретации данных термометрии.

В настоящее время коэффициент Джоуля — Томсона хорошо изучен для различных чистых жидкостей и газов, однако практически не исследован для эмульсий различного типа. Между тем приток нефти и воды из пласта часто приводит к образованию эмульсии в призабойной зоне пласта. Поэтому актуальным является экспериментальное определение коэффициента Джоуля — Томсона для таких систем и изучение термогидродинамических процессов при фильтрации эмульсии.

В работе приводятся результаты экспериментальных исследований термогидродинамических процессов при фильтрации эмульсии через дроссельную ячейку. Приводится описание экспериментальной установки, методика эксперимента. Подробно рассматриваются основные конструктивные особенности дроссельного элемента, подходы по снижению теплообмена при движении флюида через дроссельную ячейку. Приводятся данные экспериментальных исследований изменения температуры и давления при фильтрации эмульсии типа М/В (дисперсия масла в воде) и обратной эмульсии типа В/М (дисперсия воды в масле) на дроссельной ячейке. В работе также получены оценки эффекта Джоуля — Томсона для таких жидкостей, как вода, масло и эмульсии «масло — вода».

Ключевые слова

Термометрия, дроссельная ячейка, эффект Джоуля — Томсона, дисперсная среда, водонефтяная эмульсия, термогидродинамический процесс.

DOI: 10.21684/2411-7978-2022-8-1-8-22

Введение

Для наиболее полного извлечения углеводородов из пласта необходимо повысить достоверность геофизических методов при контроле за эксплуатацией нефтегазовых месторождений. Наиболее перспективным при решении задач контроля за эксплуатацией нефтегазовых месторождений является метод термометрии скважин [10]. Термометрия решает важнейшие задачи: выявление работающих пластов, определение нефтегазовых притоков и оценку технического состояния скважины [5]. При интерпретации данных термометрии необходимо знать количественное значение коэффициента Джоуля — Томсона для нефтегазовых систем. В настоящее время хорошо изучены коэффициенты Джоуля — Томсона для простых жидкостей, однофазных систем [4, 7-9, 12-15]. Однако в реальных условиях наблюдается фильтрация смеси воды и нефти, нефти и газа, а также эмульсии. Изучением особенностей фильтрации эмульсии занимаются отечественные и зарубежные исследователи [1-3, 11]. В этих работах исследуются особенности движения эмульсии в пористых средах в изотермическом приближении, без учета термодинамических эффектов. Отмечается, что с течением времени наблюдается явление «запирания» эмульсии в модели пористой среды. Принимая во внимание вышеупомянутое, наиболее актуальными задачами являются исследование термогидродинамических процессов при неизотермической фильтрации эмульсии и численное определение коэффициента Джоуля — Томсона для таких систем [6].

В представленной работе исследовались термодинамические эффекты, которые появляются при фильтрации эмульсии М/В (дисперсия масла в воде) и обратной эмульсии В/М (дисперсия воды в масле) на дроссельной ячейке. Была проведена оценка разницы величины температур, давления на входе и выходе в дроссельную ячейку и экспериментально определен коэффициент Джоуля — Томсона.

Экспериментальная установка для исследования термогидродинамических процессов в многофазных системах и методика проведения экспериментов

Определение численного значения коэффициента Джоуля — Томсона и исследование термогидродинамических процессов в дисперсных средах базируется на установлении перепада температур и давления на входе и выходе из дроссельного элемента.

На рис. 1 схематично представлена гидравлическая схема экспериментальной установки для исследования термогидродинамических процессов при движении флюидов в дроссельном элементе. Программно-измерительный комплекс предоставляет возможность исследовать фильтрационно-емкостные и электрические свойства керна ПИК-ОФП/ЭП-2-1-4-СУ-80-40-1-РР-ЭС/ФС производства ЗАО «Геологика» (Новосибирск). Установка позволяет создавать двухфазные потоки жидкостей сквозь дроссельную ячейку при давлениях до 40 МПа и температуре до 150 °С.

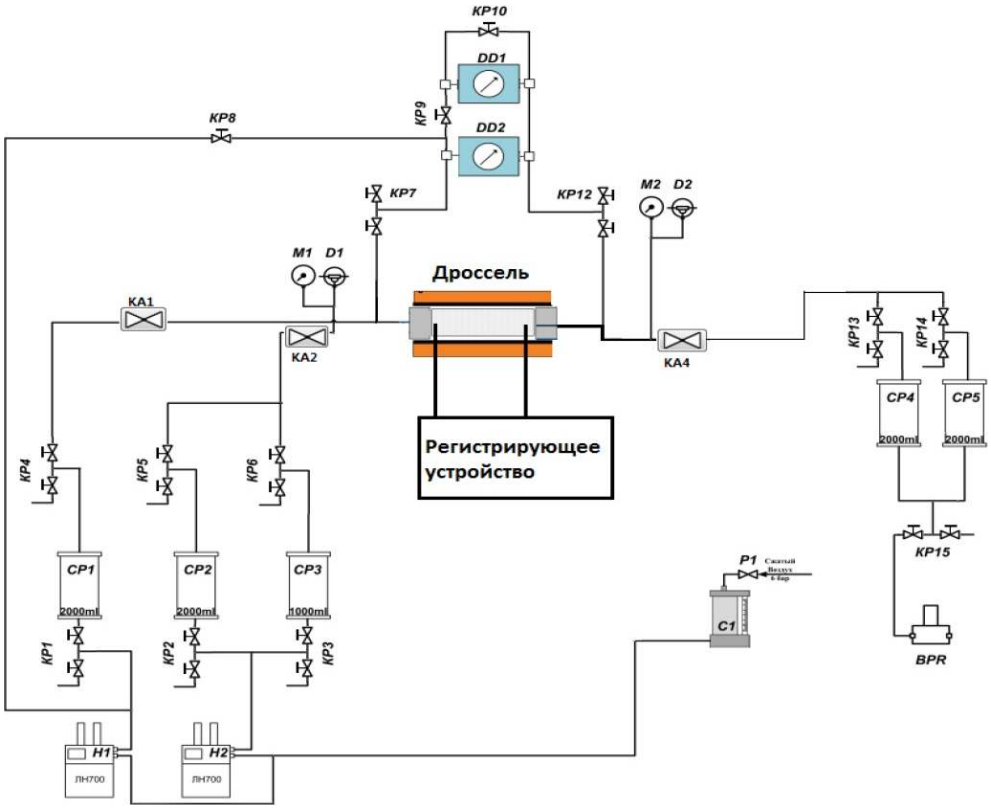


Рис. 1. Блок-схема программно-измерительного комплекса для исследования фильтрационно-емкостных и электрических свойств керна ПИК-ОФП/ЭП-2-1-4-СУ-80-40-1-РР-ЭС/ФС производства ЗАО «Геологика» (Новосибирск)

Fig. 1. Block-scheme of the software-measuring complex for studying filtration-capacitative and electrical properties of core PIK-OFP/EP-2-1-4-SU-80-40-1-RR-ES/PS manufactured by CJSC “Geologika” (Novosibirsk)

В состав комплекса входят: кернодержатель, плунжерные насосы для прокачки пластовых флюидов (Н), разделительные емкости объемом 2 000 и 1 000 мл (СР), автоматический регулятор противодавления, системы измерения дифференциального давления и системы поддержания температуры, датчики температуры, манометры и краны (КР).

Система измерения температуры включает в себя фиксирующий прибор (4-канальный узел для включения термопар NI Compact DAQ 9211), термопары КТХА 01.02-002 со спектром измерений от −40 до 700 °С и диаметром предохранительного слоя d = 1 мм и саму дроссельную ячейку, где находятся термопары.

Для поддержания неизменной входной температуры на дроссельной ячейке медная трубка, в которой проходит рабочая жидкость, помещалась в емкость с маслом, температура в которой поддерживалась при помощи термостата LOIPFT-316-40

ТЖ-ТС-01/16К-40 в температурном спектре 20-40 °С. Это дает возможность поддерживать заданную входную температуру флюида в дроссельную ячейку. На рис. 2 представлена схема дроссельной ячейки. Корпус изготовлен из нержавеющей стали, внутренняя часть, где происходит дросселирование жидкости, изготовлена из эбонита, материала с низкой теплопроводностью, для уменьшения тепловых потерь и искажения истинной температуры флюида в дроссельной ячейке при дальнейшим дросселировании.

Работа дроссельной ячейки включает следующие этапы: через вход (3) осуществляется подача рабочего флюида, температура которого замеряется термопарой (2). На выходе (4) флюида из дроссельной ячейки температура измеряется термопарой (5). С помощью иглы (1) регулируется диаметр дроссельного канала (d = 2 мм).

Для стационарного поля давления и температуры, зная температуры флюида до и после прохождения дроссельной ячейки и значения перепада давления, можно рассчитать коэффициент Джоуля — Томсона по формуле:

$$\bar{\varepsilon} = \Delta T/\Delta P, \tag{1}$$

где ΔT — перепад температуры; ΔP — перепад давления; $\bar{\varepsilon}$ — коэффициент Джоуля — Томсона.

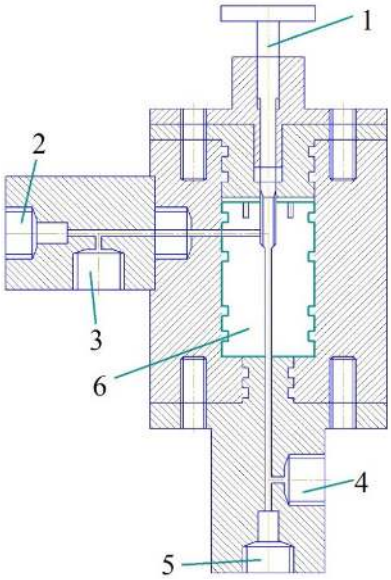


Рис. 2. Схема дроссельной ячейки

Шифр: 1 — игла; 2 — термопара на входе; 3 — вход для подачи рабочего флюида; 4 — выход рабочего флюида; 5 — термопара на выходе; 6 — эбонитовая вставка

Fig. 2. Diagram of throttle cell

Schematic diagram: 1 — needle; 2 — thermocouple at inlet; 3 — inlet for working fluid; 4 — outlet of working fluid; 5 — thermocouple at out; 6 — ebonite insert

Методика проведения экспериментов по изучению термогидродинамических процессов состояла в следующем:

— после подключения программно-измерительного комплекса проводят работы по стабилизации температуры (60-90 мин);
— после подачи флюида в систему и увеличения давления в системе при поддержке плунжерных насосов происходит стабилизация давления (20-30 мин). Разница давлений в системе регулируется с помощью регулятора противодавления. Разделительные емкости для флюидов имеют объем, равный 2 000 мл, что позволяет провести 7-8 экспериментов;
— далее, не прекращая работу насосов, в процессе движения флюида проводят измерение температуры и давления на входе и выходе из дроссельной ячейки;
— проводят анализ изменения температуры и давления на входе и выходе из дроссельной ячейки;
— проводят оценку коэффициента Джоуля — Томсона по формуле (1).

Экспериментальное исследование термогидродинамических процессов при дросселировании эмульсии

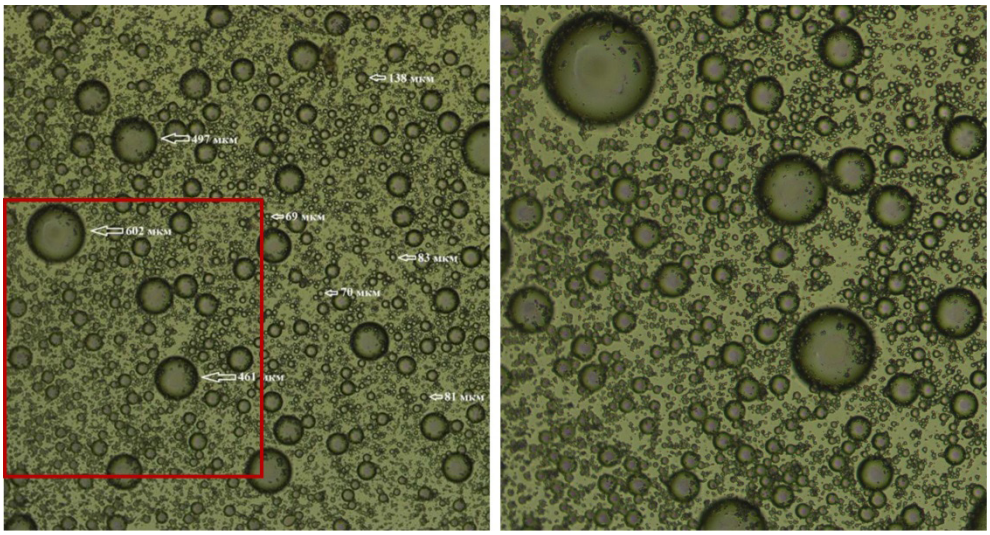
В экспериментах по исследованию термогидродинамических процессов использовались прямые эмульсии типа М/В (20% масла, 80% воды — дисперсия масла в воде) и обратные эмульсии типа В/М (20% воды, 80% масла — дисперсия воды в масле). Спустя 2-3 ч после приготовления эмульсии М/В и 4-5 ч — эмульсии В/М наблюдается выделение несущей фазы. Состав прямой эмульсии: 800 мл дистиллированной воды, 200 мл трансформаторного масла, 3 мл эмульгатора тетрабората натрия $Na_2B_4O_7$. Состав обратной эмульсии: 200 мл дистиллированной воды, 800 мл трансформаторного масла, 3 мл эмульгатора тетрабората натрия $Na_2B_4O_7$.

Способ изготовления эмульсии: в емкость наливалось масло и необходимое количество эмульгатора тетрабората натрия $Na_2B_4O_7$. Далее производилось перемешивание при помощи дрели с насадкой с частотой 500-700 об/мин. Спустя несколько минут частоту оборотов повышали до 2 000-2 500 об/мин и постепенно добавляли порционно воду по 20-30 мл. Общее время перемешивания занимало 20-25 мин. На рис. 3(а) представлены микрофотографии обратной эмульсии В/М с содержанием эмульгатора тетрабората натрия $Na_2B_4O_7$. Размеры капель воды в эмульсии колеблются от 20 до 600 мкм.

С помощью специальной программы исследованы структуры эмульсий и распределение капель по размерам, для эмульсии с 3 мл эмульгатора построена гистограмма (рис. 4). Для построения использовалась часть приведенного рисунка (прямоугольник на рис. 3(б)). На данном участке отмечались размеры диаметров капель, которые автоматически заносились в таблицу. Далее в программе Excel проводилась сортировка по размерам. Подсчитывалось количество капель с диаметром от 20 до 40 мкм: первый столбец и последующие три столбца с шагом 20 мкм, последние три столбца с шагом 50 мкм, затем по полученным значениям была построена гистограмма распределения числа капель

в зависимости от диаметра. Изученная эмульсия преимущественно содержит капли размером от 20 до 150 мкм.

Целью данных экспериментов является исследование термогидродинамических процессов и оценка коэффициента Джоуля — Томсона для эмульсии М/В и обратной эмульсии типа В/М на модели пористой среды (дроссельной ячейки).



(а) (б)

Рис. 3. Микрофотография (а) обратной эмульсии В/М (20% воды, 80% масла) и эмульгатора тетрабората натрия $Na_2B_4O_7$, (б) выделенная область для подсчета размера капель

Fig 3. Microphotograph (a) of reverse emulsion “water in oil” (20% water, 80% oil) and emulsifier sodium tetraborate $Na_2B_4O_7$, (б) selected area for droplet size calculation

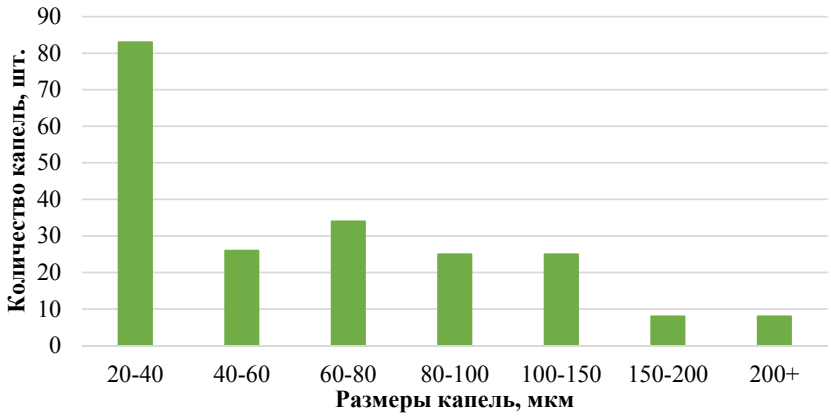


Рис. 4. Распределение капель по размерам

Fig. 4. Droplet size distribution

На первом этапе эксперименты проводились для чистых жидкостей: трансформаторного масла и дистиллированной воды. В ходе экспериментов для чистых жидкостей было установлено, что при дросселировании жидкости с течением времени устанавливается стационарное поле давления и поле температуры, т. е. можно перейти к оценке коэффициента Джоуля — Томсона для этой жидкости.

На рис. 5 и 6 представлены результаты экспериментов по определению коэффициента Джоуля — Томсона для масла и воды при давлении 5 МПа. Как видно из графиков, после установления стационарного поля давления и температуры коэффициент Джоуля — Томсона составляет значения, равные $\varepsilon = 0{,}035$ К/атм для масла и $\varepsilon = 0{,}021$ К/атм для воды, совпадающие с теоретическими оценками [5, 8, 9].

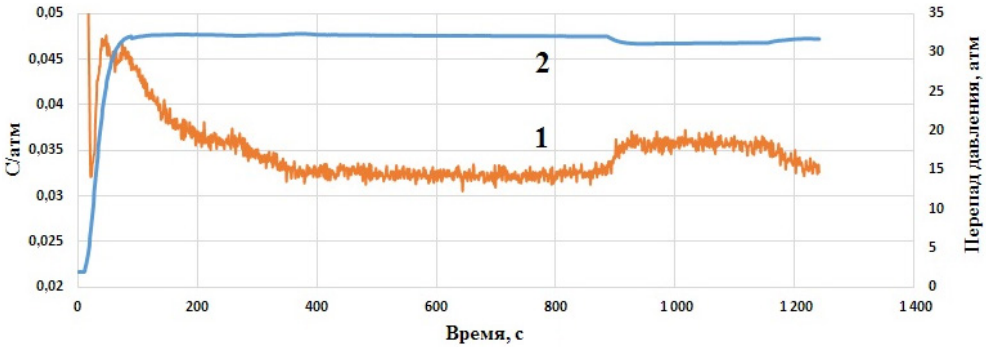


Рис. 5. Зависимость коэффициента Джоуля — Томсона (кривая 1) и перепада давления (кривая 2) от времени для масла при давлении 5 МПа

Fig. 5. Dependence of the Joule-Thomson coefficient (curve 1) and pressure drop (curve 2) on time for oil at a pressure of 5 MPa

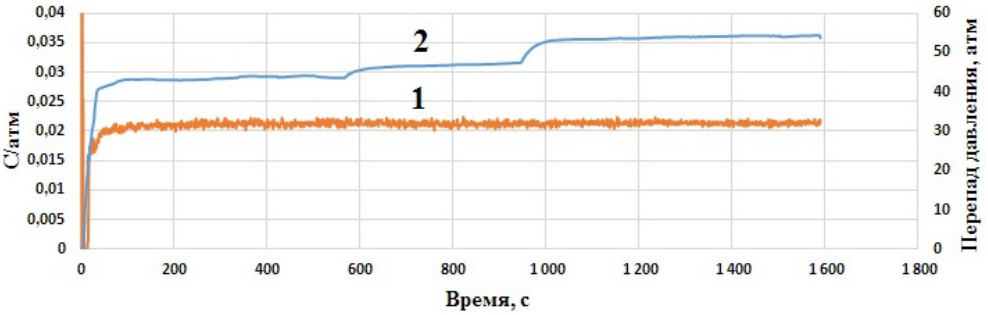


Рис. 6. Зависимость коэффициента Джоуля — Томсона (кривая 1) и перепада давления (кривая 2) от времени для воды при давлении 5 МПа

Fig. 6. Dependence of the Joule-Thomson coefficient (curve 1) and pressure drop (curve 2) on time for water at a pressure of 5 MPa

Дальнейшие исследования изменения температуры при дросселировании проведены для эмульсии В/М («вода в масле»: 20% воды и 80% масла). На рис. 7 изображены результаты эксперимента по изменению температуры на входе и выходе при прохождении флюида через дроссельную ячейку. Из эксперимента видно (рис. 8, кривая 2) скачкообразное изменение отношения температуры на выходе от перепада давления (разность давления на входе и выходе из дроссельной ячейки). Анализ также показывает, что с течением времени наблюдаются резкие скачки перепада давления (рис. 8, кривая 1), которые связаны с явлением запирания эмульсии [1-3]. При этом, как показывает анализ изменения температуры на выходе из дроссельного элемента, наблюдаются периодические скачки температуры, связанные с изменением перепада давления (рис. 7, кривая 2).

На рис. 9 представлены результаты исследования изменения температуры при дросселировании прямой эмульсии типа М/В (20% масла, 80% воды). Анализ изменения перепада давления для этого случая показывает, что с течением

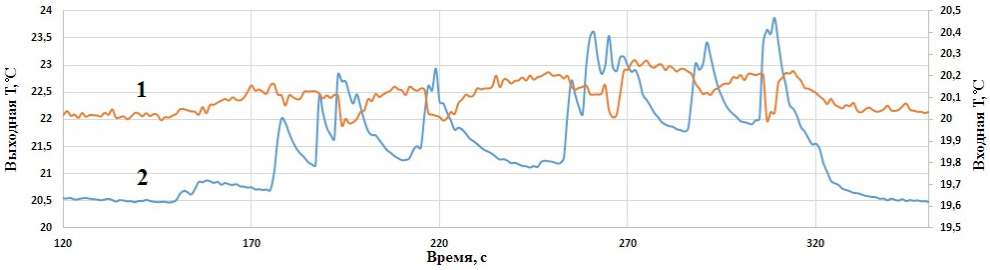


Рис. 7. Изменение температуры по времени на входе (кривая 1) и выходе (кривая 2) дроссельной ячейки для обратной эмульсии В/М (20% воды, 80% масла)

Fig. 7. Time-varying temperature at the inlet (curve 1) and outlet (curve 2) of the throttle cell for reverse emulsion “water in oil” (20% water, 80% oil)

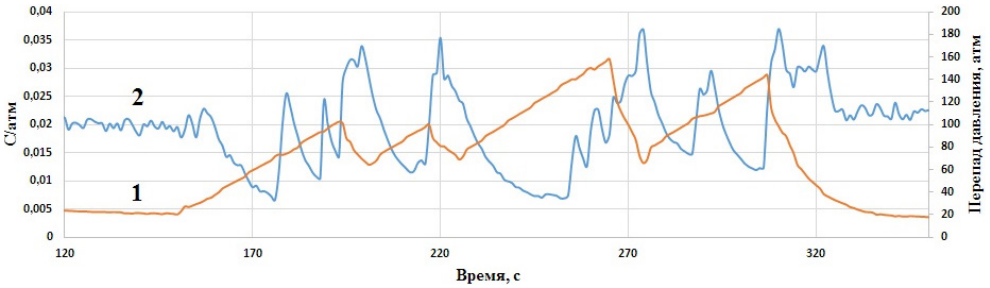


Рис. 8. Зависимость изменения отношения изменения температуры к перепаду давления (кривая 2) и перепада давления (кривая 1) от времени для обратной эмульсии В/М (20% воды, 80% масла)

Fig. 8. Dependence of change in the ratio of temperature change to pressure drop (curve 2) and pressure drop (curve 1) on time for reverse emulsion “water in oil” (20% water, 80% oil)

времени отмечаются скачкообразные перепады давления, как и в случае обратной эмульсии В/М (20% воды, 80% масла).

В соответствии со скачкообразным изменением перепада давления отмечаются и резкие изменения температуры на выходе из дроссельной ячейки, т. е. меняется отношение разности температур на входе и выходе к перепаду давления (условно коэффициент Джоуля — Томсона). На участке стабилизации перепада давления (время 400-450 с) отношение изменения температуры к перепаду давления составило 0,027 К/атм. Теоретическое значение коэффициента Джоуля — Томсона вычислялось с учетом процентного соотношения (20% масла, 80% воды), и, принимая коэффициенты Джоуля — Томсона для воды $\varepsilon = 0{,}021$ К/атм и масла $\varepsilon = 0{,}035$ К/атм, получим:

$$\bar{\varepsilon}_{теор} = 0{,}8 \cdot \varepsilon_{в} + 0{,}2 \cdot \varepsilon_{м} = 0{,}023 \text{ К/атм}, \quad (2)$$

что в среднем соответствует результатам, представленным на графике (рис. 9, кривая 2) для участка кратковременной стабилизации перепада давления и температуры (время — до 150 с). Здесь $\bar{\varepsilon}_{теор}$ — теоретическое значение коэффициента Джоуля — Томсона для эмульсии М/В (20% масла, 80% воды); $\varepsilon_{в}$ — коэффициент Джоуля — Томсона для воды; $\varepsilon_{м}$ — коэффициент Джоуля — Томсона для масла.

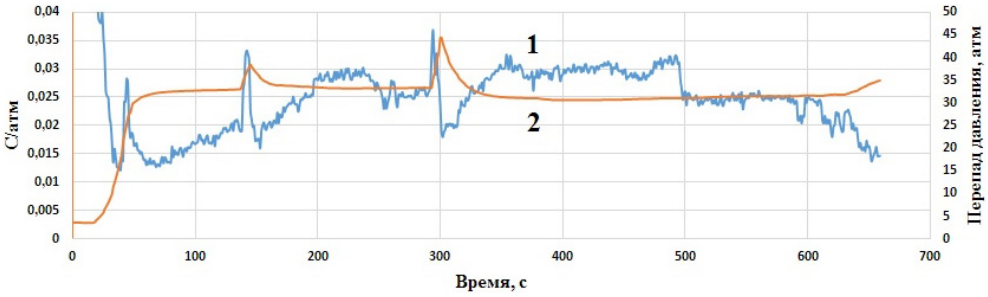


Рис. 9. Зависимость изменения отношения изменения температуры к перепаду давления (кривая 1) и перепада давления (кривая 2) от времени для прямой эмульсии М/В (20% масла, 80% воды)

Fig. 9. Dependence of change in the ratio of temperature change to pressure drop (curve 1) and pressure drop (curve 2) on time for direct emulsion “oil in water” (20% oil, 80% water)

Заключение

Проведенные экспериментальные исследования термогидродинамических процессов при дросселировании эмульсий показали принципиальное отличие характера зависимости перепада давления и температуры на выходе из дроссельной ячейки по сравнению с дросселированием чистых жидкостей. Полученные особенности формирования температурного поля могут быть использованы при интерпретации данных скважинной термометрии. Таким образом, получены следующие результаты:

1. Разработана экспериментальная установка для исследования термогидродинамических процессов и оценки коэффициента Джоуля — Томсона при фильтрации различных жидкостей и эмульсий при различных температурах и давлении на основе использования дроссельной ячейки.
2. Изучены особенности термогидродинамических процессов при дросселировании эмульсии типа М/В (дисперсия масла в воде) и обратных эмульсий типа В/М (дисперсия воды в масле). Проведены оценки коэффициента Джоуля — Томсона для таких систем.
3. Установлено, что при движении эмульсии через дроссельную ячейку наблюдается скачкообразное изменение перепада давления и, соответственно, температуры на выходе из дроссельной ячейки, связанное с явлением «запирания» эмульсии. Для оценки коэффициента Джоуля — Томсона эмульсий проводятся дальнейшие исследования, направленные на стабилизацию устойчивости эмульсий, уточнение методики проведения экспериментов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ахметов А. Т. Новые принципы применения обратных водонефтяных эмульсий в потокоотклоняющих технологиях и глушении скважин / А. Т. Ахметов, А. Г. Телин, М. В. Мавлетов // Нефтегазовое дело. 2005. № 3. С. 119-126.
2. Ахметов А. Т. О механизме вытеснения нефти из пористой среды мицеллярными растворами / А. Т. Ахметов, Р. И. Нигматулин, К. М. Федоров // Доклады АН СССР. 1987. Том 293. № 3. С. 558-562.
3. Ахметов А. Т. Особенности течения дисперсии из микрокапель воды в микроканалах / А. Т. Ахметов, С. П. Саметов // Письма в Журнал технической физики. 2010. Том 36. № 22. С. 21-28.
4. Валиуллин Р. А. Баротермический эффект при трехфазной фильтрации с фазовыми переходами / Р. А. Валиуллин, А. Ш. Рамазанов, Р. Ф. Шарафутдинов // Известия РАН. Механика жидкости и газа. 1994. № 6. С. 113-117.
5. Валиуллин Р. А. Исследование температурного поля в скважине с индукционным нагревом колонны при наличии каналов заколонного перетока жидкости / Р. А. Валиуллин, Р. Ф. Шарафутдинов, В. Я. Федотов, Д. В. Космылин, И. В. Канафин // Вестник Тюменского государственного университета. Физико-математическое моделирование. Нефть, газ, энергетика. 2017. Том 3. № 3. С. 17-28. DOI: 10.21684/2411-7978-2017-3-3-17-28
6. Валиуллин Р. А. Исследование термогидродинамических процессов на модели пористой среды / Р. А. Валиуллин, Р. Ф. Шарафутдинов, А. И. Гафуров, В. Я. Федотов // Вестник Башкирского университета. 2017. Том 22. № 2. С. 340-344.
7. Валиуллин Р. А. Экспериментальное изучение термодинамических эффектов в газожидкостных системах / Р. А. Валиуллин, О. Л. Кулагин, Р. Ф. Шарафутдинов // Физико-химическая гидродинамика: межвуз. сб. Уфа: Башк. гос. ун-т., 1995. С. 10-15.
8. Лапук Б. Б. Термодинамические процессы при движении газированной нефти в пористых средах / Б. Б. Лапук // Азербайджанское нефтяное хозяйство. 1940. № 2. С. 28-34.

9. Требин Г. Ф. Оценка температурной депрессии в призабойной зоне эксплуатационных скважин / Г. Ф. Требин, Ю. Ф. Капырин, О. Г. Лиманский. М.: Всесоюз. нефтегазовый научно-исследоват. ин-т, 1978. Вып. 64. С. 16-22.
10. Чекалюк Э. Б. Термодинамика нефтяного пласта / Э. Б. Чекалюк. М.: Недра, 1965. 240 с.
11. Davis J. A. Displacement mechanisms of micellar solutions / J. A. Davis, S. C. Jones // Journal of Petroleum Technology. 1968. Vol. 20. No. 12. Pp. 1415-1428. DOI: 10.2118/1847-2-PA
12. Gladkov S. O. On the connection of Joule-Thompson's coefficient with dissipation properties of filtrating media / S. O. Gladkov // European Physical Journal E. 2003. Vol. 10. Pp. 171-174. DOI: 10.1140/epje/e2003-00021-2
13. Gladkov S. O. On the Darcy law under enthalpy conservation conditions / S. O. Gladkov // Technical Physics Letters. 2002. Vol. 28. No. 10. Pp. 861-863. DOI: 10.1134/1.1519031
14. Lisal M. Direct molecular-level Monte Carlo simulation of Joule-Thomson processes / M. Lisal, W. R. Smith, K. Aim // Molecular Physics. 2003. Vol. 101. No. 18. Pp. 2875-2884. DOI: 10.1080/00268970310001592755
15. Valiullin R. A. A research into thermal field in fluid-saturated porous media / R. A. Valiullin, R. F. Sharafutdinov, A. Sh. Ramazanov // Powder Technology. 2004. Vol. 148. Iss. 1. Pp. 72-77. DOI: 10.1016/j.powtec.2004.09.023

Albert A. ASYLGAREEV[1]
Ramil F. SHARAFUTDINOV[2]
Rim A. VALIULLIN[3]
Denis V. KOSMYLIN[4]

UDC 536:550.8

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THERMOHYDRODYNAMIC PROCESSES DURING FILTRATION OF WATER-OIL EMULSIONS*

[1] Postgraduate Student, Department of Geophysics,
Bashkir State University (Ufa)
asylgareev9696@gmail.com

[2] Dr. Sci. (Phys.-Math.), Professor, Department of Geophysics,
Bashkir State University (Ufa)
gframil@inbox.ru

[3] Dr. Sci. (Tech.), Professor, Head of the Department of Geophysics,
Bashkir State University (Ufa)
valra@geotec.ru

[4] Senior Lecturer, Department of Geophysics,
Bashkir State University (Ufa)
kosmylindenis@yandex.ru

* The work was financially supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation on the topic: "Creation of an intelligent integrated technology for the study and interpretation of data from field geophysical surveys of wells, including fiber-optic measurements to control the development of oil and gas fields and environmental monitoring of the state of the subsoil, based on the use of mathematical modeling, machine learning, processing algorithms and robotic equipment for induction exposure", agreement No. 075-11-2021-061 dated 25 June 2021.

Citation: Asylgareev A. A., Sharafutdinov R. F., Valiullin R. A., Kosmylin D. V. 2022. "Experimental investigation of thermohydrodynamic processes during filtration of water-oil emulsions". Tyumen State University Herald. Physical and Mathematical Modeling. Oil, Gas, Energy, vol. 8, no. 1 (29), pp. 8-22.
DOI: 10.21684/2411-7978-2022-8-1-8-22

© University of Tyumen

Abstract

Temperature measurements in downhole conditions (well thermometry) are widely used in monitoring the development of oil and gas reservoirs. With the use of thermometry many oilfield tasks are solved: determination of the working intervals, behind-the-casing flows, casing leakage etc. Variation of temperature in formation is caused by thermodynamic effects: Joule-Thomson and adiabatic. One of the main effects in determining the working intervals by downhole thermometry methods is the Joule-Thomson effect, which is associated with the Joule-Thomson coefficient, characterizing the composition of the fluid flowing from the perforated formation into the well. Therefore, it is necessary to know the value of Joule-Thomson coefficient for different fluids, especially it is important for quantitative interpretation of thermometry data.

Currently, the Joule-Thomson coefficient is well studied for various pure fluids and gases, but practically not investigated for emulsions of different types. Meanwhile, the inflow of oil and water from the formation often leads to the formation of emulsion in the bottomhole zone of the formation. Therefore, experimental determination of Joule-Thomson coefficient for such systems and study of thermohydrodynamic processes during emulsion filtration is relevant.

The paper presents the results of experimental studies of thermohydrodynamic processes during filtration of emulsion through a choke cell. The description of the experimental setup and the experimental procedure are given. The main design features of the throttle cell, approaches to reduce heat transfer during the movement of fluid through the throttle cell are discussed in detail. The data of experimental studies of temperature and pressure changes during filtration of type "oil in water" — oil dispersion in water and reverse emulsions of type "water in oil" — water dispersion in oil on the throttling cell are given. The paper also obtained estimates of the Joule-Thomson effect for liquids like water, oil and oil-water emulsions.

Keywords

Thermometry, choke cell, Joule-Thomson effect, disperse medium, oil-water emulsion, thermohydrodynamic process.

DOI: 10.21684/2411-7978-2022-8-1-8-22

REFERENCES

1. Akhmetov A. T., Telin A. G., Mavletov M. V. 2005. "New principles of application of reverse water-oil emulsions in flow-deflecting technologies and well killing". Oil and Gas Business, no. 3, pp. 119-126. [In Russian]
2. Akhmetov A. T., Nigmatulin R. I., Fedorov K. M. 1987. "On the mechanism of oil displacement from the porous medium by micellar solutions". Reports of the USSR Academy of Sciences, vol. 293, no. 3, pp. 558-562. [In Russian]
3. Akhmetov A. T., Sametov S. P. 2010. "Features of dispersion flow from water microdroplets in microchannels". Papers in the Journal of Technical Physics, vol. 36, no. 22, pp. 21-28. [In Russian]

4. Valiullin R. A., Ramazanov A. Sh., Sharafutdinov R. F. 1994. “Barothermal effect in three-phase filtration with phase transitions”. Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Fluid and gas mechanics, no. 6, pp.113-117. [In Russian]
5. Valiullin R. A., Sharafutdinov R. F., Fedotov V. Ya., Kosmilin D. V., Kanafin I. V. 2017. “Studies of temperature field in wellbore during induction heating of the casing pipe with behind-the-casing fluid flow channels”. Tyumen State University Herald. Physical and Mathematical Modeling. Oil, Gas, Energy, vol. 3, no 3, pp. 17-28. DOI: 10.21684/2411-7978-2017-3-3-17-28 [In Russian]
6. Valiullin R. A., Sharafutdinov R. F., Gafurov A. I., Fedotov V. Ya. 2017. “The study of thermohydrodynamic processes on the model of a porous medium”. Bashkir University Herald, vol. 22, no. 2, pp. 340-344. [In Russian]
7. Valiullin R. A., Kulagin O. L., Sharafutdinov R. F. 1995. “Experimental study of thermodynamic effects in gas-liquid systems”. Physical and chemical hydrodynamics: an interuniversity collection. Ufa: Bashkirian State University. Pp. 10-15. [In Russian]
8. Lapuk B. B. 1940. “Thermodynamic processes in the movement of carbonated oil in porous media”. Azerbaijan oil industry, no. 2, pp. 28-34. [In Russian]
9. Trebin G. F., Kapyrin Yu. F., Limanskiy O. G. 1978. Estimation of temperature underbalance in the bottomhole zone of development wells. All-Union Oil and Gas Research Institute, iss. 64, pp. 16-22. [In Russian]
10. Chekaluk E. B. 1965. Thermodynamics of an oil reservoir. Moscow: Nedra. 240 p. [In Russian]
11. Davis J. A. 1968. “Displacement mechanisms of micellar solutions”. Journal of Petroleum Technology, vol. 20, no. 12, pp. 1415-1428. DOI: 10.2118/1847-2-PA
12. Gladkov S. O. 2003. “On the connection of Joule-Thompson’s coefficient with dissipation properties of filtrating media”. European Physical Journal E., vol. 10, pp. 171-174. DOI: 10.1140/epje/e2003-00021-2
13. Gladkov S. O. 2002. “On the Darcy law under enthalpy conservation conditions”. Technical Physics Letters, vol. 28, no. 10, pp. 861-863. DOI: 10.1134/1.1519031
14. Martin Lisal, William R. Smith, Karel Aim. 2003. “Direct molecular-level Monte Carlo simulation of Joule-Thomson processes”. Molecular Physics, vol. 101, no. 18, pp. 2875-2884. DOI: 10.1080/00268970310001592755
15. Valiullin R. A., Sharafutdinov R. F., Ramazanov A. Sh. 2004. “A research into thermal field in fluid-saturated porous media”. Powder Technology, vol. 148, iss.1, pp. 72-77. DOI: 10.1016/j.powtec.2004.09.023