

Артем Александрович ВЕЛИЖАНИН¹
Борис Владимирович ГРИГОРЬЕВ²
Сергей Геннадьевич НИКУЛИН³
Денис Александрович ВАЖЕНИН⁴
Дарья Владимировна ВАХНИНА⁵

УДК 532.5.032; 532.594

РАЗРАБОТКА УСТАНОВКИ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ТЕЧЕНИЯ ЖИДКОСТИ В МИКРОКАПИЛЛЯРАХ*

¹ ведущий инженер, Лаборатория новых методов моделирования, Западно-Сибирский научно-исследовательский институт геологии и геофизики (г. Тюмень); младший научный сотрудник, Лаборатория цифровых исследований в нефтегазовой отрасли, Научно-образовательный центр развития научных компетенций, Управление инновационного развития, Тюменский индустриальный университет
artem.velizhanin@mail.ru

² кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой прикладной и технической физики, Физико-технический институт, Тюменский государственный университет; ведущий научный сотрудник, Лаборатория цифровых исследований в нефтегазовой отрасли, Научно-образовательный центр развития научных компетенций, Управление инновационного развития, Тюменский индустриальный университет
b.v.grigorev@utmn.ru; ORCID: 0000-0002-2757-1386

³ инженер 2 категории кафедры прикладной и технической физики, Физико-технический институт, Тюменский государственный университет; старший научный сотрудник, Лаборатория цифровых исследований в нефтегазовой отрасли, Научно-образовательный центр развития научных компетенций, Управление инновационного развития, Тюменский индустриальный университет
s.g.nikulin@utmn.ru

* Статья подготовлена в рамках технологического проекта «Цифровой керн», реализуемого в Западно-Сибирском межрегиональном научно-образовательном центре мирового уровня.

- ⁴ ведущий инженер кафедры прикладной и технической физики,
Физико-технический институт, Тюменский государственный университет;
младший научный сотрудник,
Лаборатория цифровых исследований в нефтегазовой отрасли,
Научно-образовательный центр развития научных компетенций,
Управление инновационного развития, Тюменский индустриальный университет
d.a.vazhenin@utmn.ru; ORCID: 0000-0003-1487-5898
- ⁵ инженер кафедры прикладной и технической физики,
Физико-технический институт, Тюменский государственный университет
d.v.vakhnina@utmn.ru

Цитирование: Велижанин А. А. Разработка установки для изучения течения жидкости в микрокапиллярах / А. А. Велижанин, Б. В. Григорьев, С. Г. Никулин, Д. А. Вазенин, Д. В. Вахнина // Вестник Тюменского государственного университета. Физико-математическое моделирование. Нефть, газ, энергетика. 2022. Том 8. № 4 (32). С. 66-80.
DOI: 10.21684/2411-7978-2022-8-4-66-80

Аннотация

Статья посвящена созданию установки для изучения течения флюидов по микрокапиллярам. Данная установка представляет научный интерес для разработки цифровых моделей течения нефтяного флюида по поровому пространству горной породы. Уточнение параметров гидродинамического моделирования позволит более точно подбирать технологию по извлечению из недр запасов углеводородного сырья.

Целью данной работы является создание установки и отработка технологии по исследованию течений в микрокапиллярах. Для достижения поставленной цели собрана выборка томографических снимков проб керна и на основании снимков выявлено три основных формы каналов, в соответствии с которыми изготовлены микрокапилляры из цилиндрических стеклянных трубок. Выбраны флюиды для прокачки через созданные капилляры. В ходе работы собрана установка для изучения течения жидкости в микрокапиллярах, тестирование которой позволило выявить и проанализировать ее недостатки и особенности работы. Улучшение собранной установки обеспечило получение более объемных данных по происходящим процессам в исследуемом микрокапилляре. Отработана методика проведения экспериментов и фиксации регистрируемых параметров, реализован автоматизированный сбор данных с датчика перепада давления с возможностью визуального контроля с помощью персонального компьютера. Дальнейшая модернизация разработанной установки может позволить проводить исследования на пучке капилляров разных форм, имитирующей сеть каналов реальной горной породы.

Результатом данной работы является создание экспериментальной установки, позволяющей изучать течение жидкостей в микрокапиллярах различной формы. Сопоставление результатов между сериями экспериментов показало высокую степень повторяемости, что исключает погрешности проводимых измерений. Проведен анализ полученных данных и их сопоставление с теоретическими расчетами.

Ключевые слова

Расход флюида, микрокапилляр, поровые каналы, перепад давления, число Рейнольдса, двухфазное течение, экспериментальная установка.

DOI: 10.21684/2411-7978-2022-8-4-66-80

Введение

Изучение течения жидкости и газов по различным трубкам и капиллярам представляет интерес для различных разделов науки и техники от транспорта и медицины до нефтяной отрасли. В нефтегазовой промышленности изучение движения жидкости по капиллярным каналам особенно актуально, т. к. горная порода содержит в себе трещины и поры, размеры и формы которых определяют нефтеотдачу продуктивного пласта. Чтобы спрогнозировать рентабельность месторождения и правильно смоделировать течение флюидов в продуктивном пласте, необходимо учесть множество факторов, таких как давление пласта, физико-химические характеристики флюидов, размеры и геометрические характеристики пор, силы взаимодействия горной породы с флюидом, режим течения флюида в пласте и т. д. Получение этих качественных данных требует разработки экспериментальной установки, изучающей движение текучей среды в единичной поре.

В работах [3, 5] представлены схемы установок, позволяющих проводить изучение течения жидкостей в трубке, однако в рамках задачи исследования течения флюидов в миниатюризованных капиллярах, имитирующих сеть каналов в горной породе, они имеют ряд недочетов. В их числе измерение давления только в начале трубки, небольшой диапазон регулировок подачи жидкости, отсутствие автоматизированной записи эксперимента и визуального контроля течения из-за непрозрачности исследуемой трубки. Помимо этого, предложенные в работах [1, 4] схемы установок не предусматривают одновременную установку двух и более параллельных капилляров и использование капилляров различных геометрических форм, что позволило бы воспроизвести процессы, происходящие в нефтяном пласте в реальных условиях.

Объекты исследования

В качестве аналога порового канала горной породы использовались стандартные стеклянные капилляры с внутренним диаметром 0,7 мм и длиной 300 мм, выполненные по ГОСТ 21400-75 [2]. Применение этих капилляров обусловлено тем, что краевой угол смачивания стекла с водой и нефтью сопоставим с таковым для терригенной горной породы, представленной в большей степени зернами кварца и сопутствующими минералами группы алюмосиликатов; прозрачность стенок капилляров обеспечивает проведение визуального наблюдения за состоянием потока, а эластичность стекла при нагревании позволяет придать капилляру форму и диаметр, требуемые для решения конкретных задач.

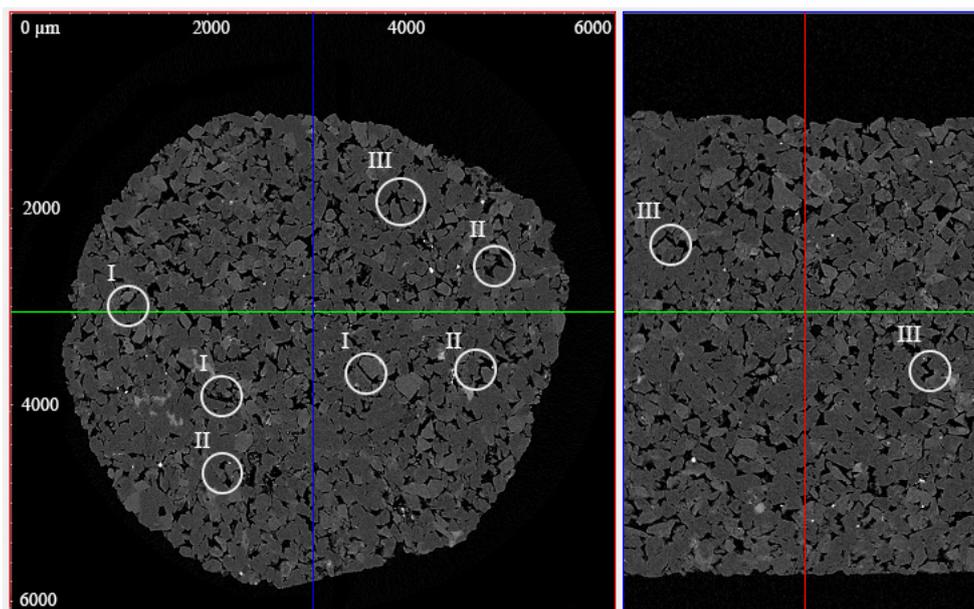


Рис. 1. Томографический снимок керна с 5-кратным увеличением, вид сверху (слева) и вид сбоку (справа). I — каналы стандартной формы, II — с сужением, III — S-образные

Fig. 1. Tomographic image of the core sample at 5× magnification, top view (left image) and side view (right image). I — pore channels with a standard shape, II — with a narrowing, III — S-shaped channels

Для определения форм каналов была проведена аналитическая оценка томографических снимков образцов керна. Из всего многообразия выявлены простейшие формы для дальнейшего изготовления капилляров, составляющие основной массив каналов: стандартные (цилиндрические), с сужением и S-образные. Примеры таких каналов изображены на рис. 1.

Подготовка капилляров

Для изготовления стеклянных капилляров, имитирующих единичные поры горной породы, собрана установка, позволяющая точно нагревать капилляр с дальнейшим приданием ему определенных геометрических параметров за счет равномерного вытягивания или изгиба в точке нагрева. Принципиальная схема установки представлена на рис. 2.

Принцип действия установки заключается в следующем: в верхнем зажиме (1) зафиксирован капилляр (2) стандартной формы, к которому подведен нагреватель (3), закрепленный в той части капилляра, которая подвергается локальному нагреву. Нижняя часть капилляра зафиксирована зажимом (4) на подъемном столике (5). После закрепления перечисленных элементов включается нагреватель, на котором устанавливается температура плавления материала капилляра.

Для придания капилляру локального сужения в момент плавления подъемный столик опускается, передвигая за собой нижний зажим и вытягивая при этом капилляр. С помощью регулировочных винтов (6) производится выравнивание всей установки во избежание искривления капилляра. В зависимости от длины капилляра высота нагревателя и верхнего зажима может регулироваться с помощью фиксаторов (7).

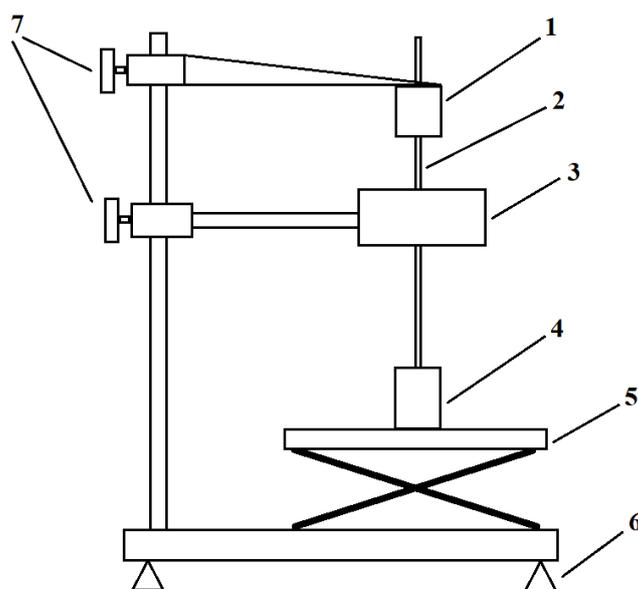


Рис. 2. Принципиальная схема установки вытягивания капилляра: 1 — верхний зажим капилляра; 2 — капилляр; 3 — нагревательный элемент; 4 — нижний зажим капилляра; 5 — подъемный столик; 6 — регулировочные винты опорного стола; 7 — фиксаторы держательных устройств

Fig. 2. Schematic diagram of capillary pulling system: 1 — upper capillary clamp; 2 — capillary; 3 — heating element; 4 — lower capillary clamp; 5 — lifting table; 6 — adjustment screws of a supporting platform; 7 — retainer of holding devices

Для придания изгиба микрокапилляру требуется зафиксировать металлический цилиндрический стержень, сделать точечный нагрев капилляра в месте предполагаемого уклона и провести изгибание капилляра вокруг стержня без прикладывания большого усилия во избежание деформации капилляра. При необходимости данную процедуру можно провести несколько раз до получения необходимого уклона. Следует избегать перегрева материала капилляра, т. к. это приведет к дополнительной пластичности, вследствие чего внутренний канал микрокапилляра может деформироваться.

В рамках разработки установки для изучения течения жидкости в микрокапиллярах изготовлены капилляры со следующими характеристиками:

- стандартный — с внутренним диаметром 0,7 мм (рис. 3а);
- с сужением — с минимальным внутренним диаметром 32 мкм (рис. 3б);
- S-образной формы — с углами сгиба 60° и внутренним диаметром 0,5 мм (рис. 3в).

Для измерения внутренних диаметров изготовленных микрокапилляров использовался микроскоп «Альтами МЕТ 8Т».

В качестве флюидов для проведения серии экспериментов использовались:

- вода дистиллированная (плотность $\rho = 997 \text{ кг/м}^3$, вязкость $\eta = 1 \text{ мПа} \cdot \text{с}$) [6];
- дизельное топливо ($\rho = 835 \text{ кг/м}^3$, $\eta = 4,19 \text{ мПа} \cdot \text{с}$). Представленные значения дизельного топлива измерялись в лабораторных условиях.

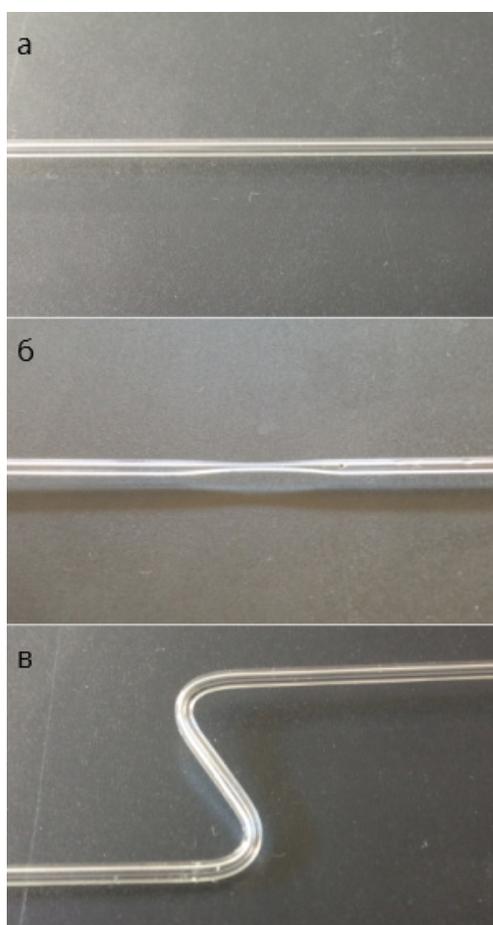


Рис. 3. Общий вид подготовленных капилляров: а — стандартная форма, б — с сужением, в — S-образная форма

Fig. 3. General view of prepared capillaries: а — a standard shape, б — with a narrowing, в — S-shape

Описание установки

Принципиальная схема установки для изучения течения жидкости в микрокапиллярах представлена на рис. 4.

Капилляр (5) закреплен горизонтально между насосом-дозатором (1) и принимающим сосудом (7) над поверхностью, которая гасит вибрации, влияющие на результат экспериментов. Насос-дозатор имеет Y-переходник, позволяющий изучать двухфазное течение в капилляре. Крепления (2) представлены в виде тройников с гайками, что позволяет при необходимости заменить капилляр длиной до 250 мм с сохранением герметичности всей системы. На тройниках установлены специальные расширительные трубки (3), не позволяющие исследуемому флюиду подняться к дифференциальному манометру (4) и вывести его из строя. Выведение флюида в принимающий сосуд происходит через отводную трубку (6). Для контроля расхода жидкости возможна установка весов с мерным цилиндром на выходе из установки.

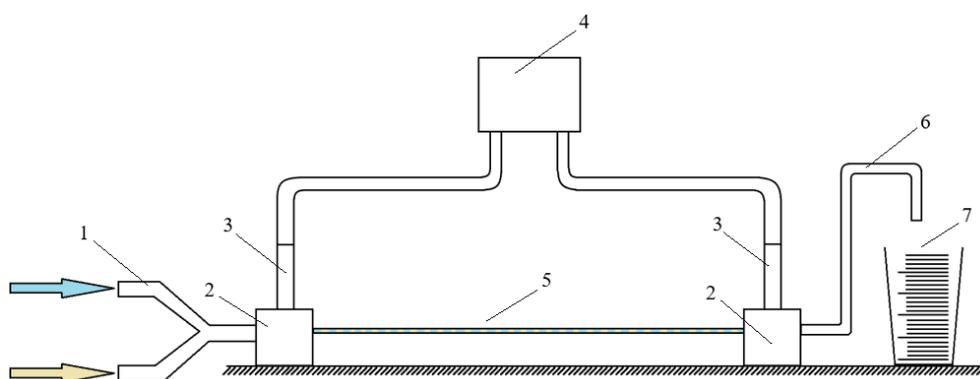


Рис. 4. Принципиальная схема установки: 1 — двухканальный насос-дозатор; 2 — крепления; 3 — расширительные трубки; 4 — дифференциальный манометр; 5 — изучаемый микрокапилляр; 6 — отводная трубка; 7 — принимающий сосуд

Fig. 4. Schematic diagram of the system: 1 — a two-channel dosing pump; 2 — mounts; 3 — expansion tubes; 4 — differential pressure sensor; 5 — the microcapillary; 6 — a drain tube; 7 — a receiving vessel

В ходе разработки первичной установки с включением традиционных приборов и при проведении на ней тестов были определены основные требования к используемому оборудованию:

- 1) возможность автоматической фиксации измерений перепада давления;
- 2) регулировка скорости одновременной подачи исследуемых флюидов;
- 3) высокое качество получаемых снимков и видеороликов, связанных с работой установки.

В качестве оборудования, удовлетворяющего заявленным требованиям, для модернизации установки использованы датчик перепада давления HDP-701, двухканальный насос-дозатор SinoMDT марки SN-50F6 и цифровой микроскоп «Микмед WiFi 2000× 5.0». Разработанная экспериментальная установка представлена на рис. 5.

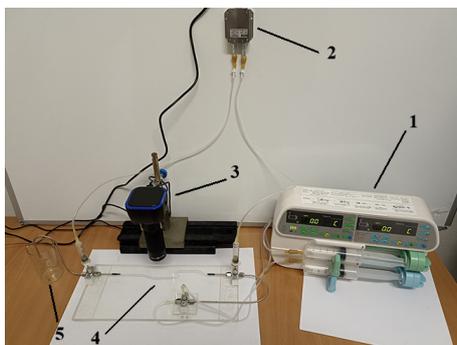


Рис. 5. Вид экспериментальной установки: 1 — двухканальный насос-дозатор марки SN-50F6; 2 — датчик перепада давления HDP-701; 3 — цифровой микроскоп «Микмед WiFi 2000× 5.0»; 4 — изучаемый микрокапилляр; 5 — принимающий мерный стакан с отводной трубкой

Fig. 5. View of the system: 1 — two-channel dosing pump SN-50F6; 2 — digital pressure sensor HDP-701; 3 — digital microscope Micmed WiFi 2000× 5.0; 4 — the microcapillary; 5 — a receiving beaker with a drain tube

Дифференциальный датчик давления HDP-701 имеет диапазон измерения в пределах 0-35 кПа с выходным токовым сигналом от 4 до 20 мА. Датчик подключен к универсальному модулю аналогового ввода С-серии NI-9219, выполняющего роль аналогово-цифрового преобразователя. Модуль встроен в шасси cDAQ-9172, обеспечивающее связь собранной системы измерения с компьютером через USB-интерфейс. Преимущество применения данной системы заключается в том, что используемый модуль аналогового ввода использует внутренние средства кондиционирования и изоляции аналогового сигнала, что повышает точность измерений.

Для автоматизированного сбора, записи и визуализации необходимых данных разработано программное обеспечение в графической среде разработки приложений LabVIEW. Функционал разработанной программы заключается в преобразовании токового сигнала в значение перепада давления (кПа) в текущий момент времени, а также в регистрации и графической визуализации получаемых данных в режиме реального времени с возможностью указания пользователем шага измерений. Полученные данные сохраняются в выбранной файловой директории в txt-файле в табличном виде.

Основным преимуществом применяемого в установке двухканального насоса-дозатора марки SN-50F6 является возможность регулирования скорости потока отдельно для каждой фазы. Аппарат обладает высокой точностью регулировки благодаря шагу настройки 0,1 мл/ч в диапазоне объемного расхода от 0,1 до 1 500 мл/ч. При необходимости одновременного подключения двух каналов подачи жидкости используется специально изготовленный Y-образный переходник.

Для осуществления визуального наблюдения за формой течения флюида используется измерительный микроскоп с возможностью проведения фото- и видеофиксации процессов внутри микрокапилляра. Микроскоп установлен на стальной рельсе, позволяющий перемещать точку наблюдения вдоль длины всего капилляра. Для получения изображения режимов течения высокого качества задействован портативный цифровой микроскоп «Микмед WiFi 2000× 5.0», имеющий возможность подключения к персональному компьютеру. Микроскоп имеет два сменных объектива с 500- и 2 000-кратным увеличением. В первичном варианте установки был использован микроскоп «МИР-3» с 32-кратным увеличением с менее удовлетворительным качеством изображения. Сравнение сделанных фотографий на двух микроскопах показано на рис. 6.

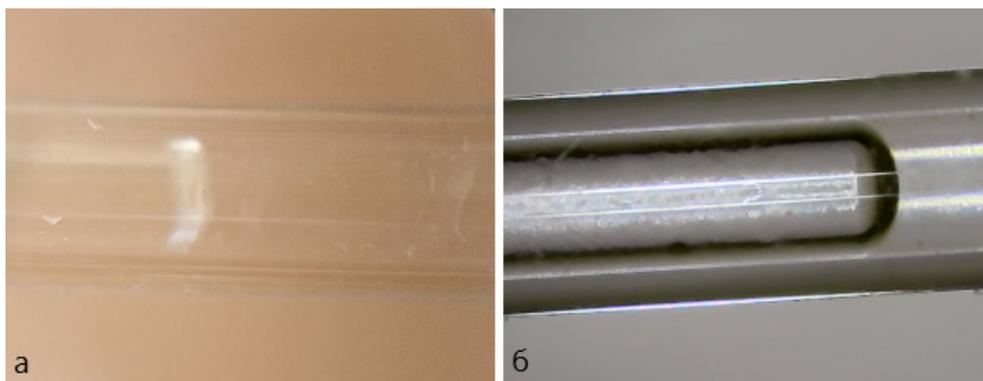


Рис. 6. Сопоставление фотографий стандартного капилляра, полученных на разных измерительных микроскопах: а — «МИР-3», б — «Микмед WiFi 2000× 5.0»

Fig. 6. A standard capillary photo comparison, taken on different microscopes: a — MIR-3, б — Micmed WiFi 2000× 5.0

Модернизированная установка исключила проблему регулировки скоростей потока отдельно для каждой фазы. Визуализация перепада давления в зависимости от времени позволяет фиксировать малейшие изменения потока флюидов, проходящих через микрокапилляр, а запись процессов внутри капилляра на персональном компьютере помогает описать эти изменения в потоке и учитывать их при формировании качественных данных для дальнейшего моделирования.

Методика эксперимента

На этапе подготовки между креплениями монтируется микрокапилляр, и вся установка заполняется исследуемым флюидом для проверки на герметичность системы и с целью удаления воздуха из него. Собранный установку нужно оставить заполненной на несколько часов для исключения внутренних перетоков и стабилизации перепада давления. На персональном компьютере запускается программа для записи и отображения перепада давления, и в течение 10 минут проверяется отсутствие факторов, которые могут повлиять на ход эксперимента. При стабильных показаниях перепада давления считается, что установка готова к началу эксперимента.

Для старта эксперимента задается расход на насосе-дозаторе, в условиях проведения эксперимента с двухфазным течением значение расхода определяется для каждой фазы отдельно. В случае изменения расхода насос-дозатор не останавливается. Параллельно запуску включается программа регистрации и записи перепада давления и времени эксперимента. Опыт проводится до установления стационарного режима по перепаду давления при заданном расходе (не менее 10 мин). Для серий экспериментов диапазон расхода составляет 1-0,2 мл/мин с шагом 0,2 и шагом 0,02 для диапазона 0,1-0,02 мл/мин. Используемые параметры расхода сопоставимы с расходами опытов, проводящихся на установках для измерения относительной фазовой проницаемости.

Для однофазного течения жидкости используется только один канал насоса с прямым подключением к микрокапилляру. Для двухфазного течения используется Y-образный переходник, соединяющий два канала насоса-дозатора с микрокапилляром.

Результаты

Для проверки работоспособности и оценки погрешности установки были проведены серии экспериментов, отраженные на рис. 7. Из графика видно, что результаты опытов для однофазного течения с точностью 95% совпадают друг с другом. Данная сходимость результатов характеризует точность фиксируемых значений, что позволяет анализировать различные серии экспериментов на собранной установке.

В результате экспериментов при прокачке однофазного потока дизельного топлива были получены результаты, представленные в таблице 1, в которой число Рейнольдса вычислялось по формуле:

$$Re = \frac{D \cdot \rho \cdot v}{\eta}, \quad (1)$$

где D — диаметр капилляра (м); ρ — плотность жидкости ($\text{кг}/\text{м}^3$); v — скорость потока (м/с); η — вязкость жидкости ($\text{Па} \cdot \text{с}$).

Из таблицы 1 можно сделать вывод, что течение в микрокапилляре при этих расходах будет соответствовать ламинарному, т. к. значения числа Рейнольдса в этом диапазоне не превышают 2 300.

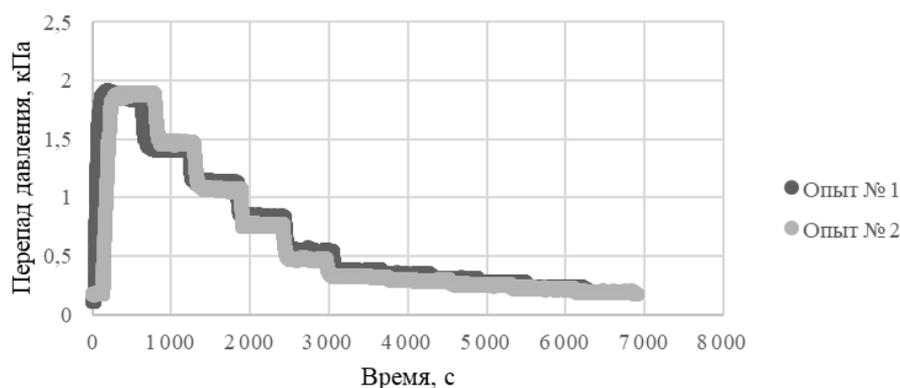


Рис. 7. Сопоставление двух опытов по прокачке дизельного топлива через стандартный микрокапилляр с внутренним диаметром 0,7 мм

Fig. 7. Comparison of two experiments on pumping diesel fuel through a standard microcapillary with an inner diameter 0.7 mm

Таблица 1

Значения числа Рейнольдса в стандартном микрокапилляре с внутренним диаметром 0,7 мм при прокачке дизельного топлива

Table 1

The values of the Reynolds number in a standard microcapillary with an inner diameter of 0.7 mm when pumping diesel fuel

Расход, м ³ /с	Скорость потока, м/с	Re
$1,66 \cdot 10^{-8}$	0,084	42,37
$1,33 \cdot 10^{-8}$	0,067	33,90
$1 \cdot 10^{-8}$	0,051	25,42
$6,66 \cdot 10^{-9}$	0,033	16,95
$3,33 \cdot 10^{-9}$	0,016	8,47
$1,66 \cdot 10^{-9}$	0,008 5	4,23
$1,33 \cdot 10^{-9}$	0,006 7	3,39
$1 \cdot 10^{-8}$	0,005 1	2,54
$6,66 \cdot 10^{-10}$	0,003 4	1,69
$3,33 \cdot 10^{-10}$	0,001 6	0,84

Заключение

Для получения качественных данных, необходимых для гидродинамического моделирования продуктивного пласта, разработана и собрана экспериментальная установка, позволяющая анализировать процесс течения флюидов по микрокапилляру.

Отработана методика проведения экспериментов с исключением внешнего воздействия на процесс течения в микрокапилляре. Выявлена сходимость результатов в сериях экспериментов. Погрешность между сериями экспериментов находится в допустимых пределах для научно-исследовательских работ. Таким образом, собранная установка позволяет проводить исследования одно- и двухфазного течений флюидов в микрокапилляре различной формы, имитирующем единичный канал горной породы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Велижанин А. А. Нестационарность течения жидкости в цилиндрических капиллярах / А. А. Велижанин, О. А. Симонов // Актуальные проблемы нефти и газа. 2016. № 2 (14). С. 17.
2. ГОСТ 21400-75. Стекло химико-лабораторное. Технические требования. Методы испытаний. М.: Стандартинформ, 2011.
3. Мазаев В. В. Двухфазная фильтрация жидкостей в пористых гидрофильных средах, модифицированных кремнийорганическими гидрофобизаторами: дисс. канд. техн. наук / В. В. Мазаев. ТюмГНГУ, 2004. 185 с.
4. Ребров Е. В. Режимы двухфазного течения в микроканалах / Е. В. Ребров // Теоретические основы химической технологии. 2010. Том 44. № 4. С. 371-383.
5. Семихин В. И. Исследование формирования структуры течения в круглых горизонтальных трубках / В. И. Семихин, Р. В. Малюгин, Д. Д. Коровин // Ползуновский вестник. 2020. № 4. С. 95-99. DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2020.04.018
6. Riddick J. A. Organic Solvents: Physical Properties and Methods of Purification / J. A. Riddick, W. B. Bunger, T. K. Sakano. New York: Wiley, 1986. 1325 p.

Artem A. VELIZHANIN¹

Boris V. GRIGOREV²

Sergei G. NIKULIN³

Denis A. VAZHENIN⁴

Daria V. VAKHNINA⁵

UDC 532.5.032; 532.594

DEVELOPMENT OF AN INSTALLATION FOR STUDYING THE FLOW OF LIQUID IN MICROCAPILLARIES*

¹ Lead Engineer, Laboratory of New Modeling Methods,
West Siberian Research Institute of Geology and Geophysics (Tyumen);
Junior Researcher, Laboratory of Digital Research in the Oil and Gas Industry,
Scientific and Educational Center for the Development of Scientific Competencies,
Innovative Development Department, Tyumen Industrial University
artem.velizhanin@mail.ru

² Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor,
Head of the Department of Applied and Technical Physics,
Institute of Physics and Technology, University of Tyumen;
Leading Researcher, Laboratory of Digital Research in the Oil and Gas Industry,
Scientific and Educational Center for the Development of Scientific Competencies,
Innovative Development Department, Tyumen Industrial University
b.v.grigorev@utmn.ru; ORCID: 0000-0002-2757-1386

³ 2nd Category Engineer, Department of Applied and Technical Physics,
Institute of Physics and Technology, University of Tyumen;
Senior Researcher, Laboratory of Digital Research in the Oil and Gas Industry,
Scientific and Educational Center for the Development of Scientific Competencies,
Innovative Development Department, Tyumen Industrial University
s.g.nikulin@utmn.ru

⁴ Lead Engineer, Department of Applied and Technical Physics,
Institute of Physics and Technology, University of Tyumen;
Junior Researcher, Laboratory of Digital Research in the Oil and Gas Industry,
Scientific and Educational Center for the Development of Scientific Competencies,
Innovative Development Department, Tyumen Industrial University
d.a.vazhenin@utmn.ru; ORCID: 0000-0003-1487-5898

* The article was prepared under the engineering project titled “Digital Core” being implemented at a world-level transregional West-Siberian Research & Educational Center.

⁵ Engineer, Department of Applied and Technical Physics,
Institute of Physics and Technology, University of Tyumen
d.v.vakhnina@utmn.ru

Citation: Velizhanin A. A., Grigorev B. V., Nikulin S. G., Vazhenin D. A., Vakhnina D. V. 2022. "Development of an installation for studying the flow of liquid in microcapillaries". Tyumen State University Herald. Physical and Mathematical Modeling. Oil, Gas, Energy, vol. 8, no. 4 (32), pp. 66-80.
DOI: 10.21684/2411-7978-2022-8-4-66-80

Abstract

The article is dedicated to the creation of an installation for studying the flow of fluids through microcapillaries. This installation is of scientific interest for the development of digital models of the oil fluid flow through the pore space of the rock. Elaboration of the hydrodynamic modeling parameters will allow more accurate selection of technology for the extraction of hydrocarbon reserves from the bowels.

The purpose of the work is to develop an installation and a technology for studying flows in microcapillaries. To achieve this goal, a selection of tomographic images of core samples was collected and three main channel shapes were identified, based on the images, in accordance with which microcapillaries were made from cylindrical glass tubes. Fluids are selected for pumping through the created capillaries. The installation for studying the flow of liquid in microcapillaries was assembled, the testing of the installation made it possible to identify and analyze its limitations and features of exploitation. The improvement of the installation provided more extensive data on the processes occurring in the microcapillary. A technique for conducting experiments and data recording has been worked out, automated data collection from a differential pressure sensor with the possibility of visual control using a personal computer has been implemented. Further modernization of the developed installation may allow conducting research on a bundle of capillaries of various shapes, simulating a network of channels of a real rock.

The result of this work is the creation of an experimental installation that makes it possible to study the flow of liquids in microcapillaries of various shapes. Comparison of the results between series of experiments showed a high degree of repeatability, which eliminates the errors of the measurements. The obtained data were analyzed and compared with theoretical calculations.

Keywords

Fluid flow rate, microcapillary, pore space, pressure drop, Reynolds number, two-phase flow, experimental setup.

DOI: 10.21684/2411-7978-2022-8-4-66-80

REFERENCES

1. Velizhanin A. A., Simonov O. A. 2016. "Non-stationarity of liquid flow in cylindrical capillars". Actual Problems of Oil and Gas, no. 2 (14), p. 17. [In Russian]

2. GOST 21400-75. 2011. Chemical and laboratory glass. Technical specifications. Test methods. Moscow: Standartinform. [In Russian]
3. Mazaev V. V. 2004. "Two-phase filtration of liquids in porous hydrophilic media modified with organosilicon water repellents". Cand. Sci. (Tech.) diss. TyumGNGU. [In Russian]
4. Rebrov E. V. 2010. "Two-phase flow regimes in microchannels". Theoretical Foundations of Chemical Engineering, vol. 44, no. 4, pp. 355-367. DOI: 10.1134/S0040579510040019
5. Semikhin V. I., Malyugin R. V., Korovin D. D. 2020. "Investigation of the formation of the flow structure in round horizontal tubes". Polzunovskiy Vestnik, no. 4, pp. 95-99. DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2020.04.018 [In Russian]
6. Riddick J. A., Bunger W. B., Sakano T. K. 1986. Organic solvents: Physical properties and methods of purification. New York: Wiley. 1325 p.