



DOI 10.22363/2312-8143-2018-19-3-343-357

УДК 622.691.24:624.953 (470.26)

Применение фильтрационных исследований для изучения технологий разработки месторождений нетрадиционных коллекторов и трудноизвлекаемых запасов нефти

И.Е. Белошапка, Д.И. Ганиев

Альметьевский государственный нефтяной институт
Российская Федерация, 423452, Альметьевск, ул. Ленина, 2

В настоящее время повсеместно происходит истощение основных запасов легких углеводородов, в связи с чем все больше нефтяных компаний обращают внимание на возможность разработки нетрадиционных коллекторов и трудноизвлекаемых запасов. Очевидно, что на данном этапе развития технологий разработки нефтяных месторождений рентабельная выработка нетрадиционных коллекторов невозможна, в связи с этим возникает необходимость новых методов добычи нефти. При этом важную роль играет правильная постановка и проведение лабораторных экспериментов, так как принимаемые по их результатам решения влияют на технологические и экономические показатели. К таким исследованиям относятся и фильтрационные эксперименты по определению коэффициента вытеснения нефти из керна в лабораторных условиях. При проведении фильтрационных экспериментов важным моментом является правильная постановка эксперимента, которая невозможна без проработанной методики и нормативно-технических документов. На сегодняшний день исследования по определению коэффициента вытеснения нефти регламентируются ОСТ 39-195-86, утвержденным в 1986 г. Однако большинство пунктов документа нуждается в изменении и доработке в связи с совершенствованием оборудования и методов подготовки керна для снижения погрешностей на различных этапах проведения эксперимента и более точной оценкой коэффициента вытеснения при определении эффективности разрабатываемых технологий.

Ключевые слова: фильтрация, кернаый материал, коэффициент вытеснения, отраслевой стандарт, экстракция, проницаемость

Методы проведения исследований

В настоящее время определение коэффициента вытеснения путем проведения фильтрационного эксперимента регламентируется ОСТ 39-195-86. Нефть. Метод определения коэффициента нефти водой в лабораторных условиях (Стандарт), согласно которому определение коэффициента вытеснения производится на насыщенном керосином керна, предварительно полностью проэкстрагированном и высушенном [1]. **Цель данной работы** — определение недостатков Стандарта и составление рекомендаций по его изменению, для чего авторами было проведено несколько десятков экспериментов, в том числе для улучшения существующей нормативно-технической документации. Согласно Стандарту восстановление

смачиваемости производится в течение 16—24 ч. Исследованиями, выполненными группой авторов в 2012 г. [2], установлено, что данный период достаточен для восстановления смачиваемости, так как значительное изменение смачиваемости происходит в первые 24 ч при пластовых условиях, а дальнейшее увеличение времени выдержки образцов под давлением несущественно влияет на изменение смачиваемости. Однако группой исследователей [3] было установлено, что длительность «старения» керна должна составлять от нескольких недель до нескольких месяцев, или же необходимо применять методы «мягкой» экстракции с использованием таких растворителей, как гептан или алкан, которые не влияют на изменение поверхностных свойств породы, что дает основания для изменения стандарта [4], предусматривающего использование спирто-бензольной смеси или четыреххлористого углерода при экстрагировании. Хижняк Г.П. доказано, что применение неэкстрагированного керна для сохранения естественной смачиваемости только снижает достоверность определения коэффициента вытеснения, так как нефть, содержащаяся в породе, после длительного хранения теряет большинство легких углеводородов, и происходит процесс ее окисления. Кроме того, из-за испарения пластовой воды происходит осаждение кристаллов солей в поровом пространстве. В результате снижается динамическая пористость керна, увеличивается вязкость нефти. Это особенно важно при проведении исследований низкопроницаемого керна, в том числе доманиковых отложений, так как любые ухудшения фильтрационных свойств керна оказывают существенное влияние на результат эксперимента с кернавым материалом по сравнению с традиционными коллекторами.

Согласно Стандарту, при проведении фильтрационных исследований рекомендовалось использовать пластовую воду, либо ее модель. Однако при этом не учитывался тот факт, что вода, применяемая для заводнения нефтяных пластов, согласно действующим нормативно-техническим документам [5—14], может оказывать негативное влияние на конечный результат проводимого эксперимента, снижая динамическую пористость в результате коагулирования каналов фильтрации механическими примесями, частицами эмульгированной нефти, выпадением осадков солей и др. Все перечисленные факторы могут исказить результаты проведенного эксперимента или привести к неисправности используемого оборудования. В связи с этим необходимо изменить требования к используемой для проведения фильтрационных экспериментов модели воды.

Также необходимо ужесточение требований к измерению температуры. Указанная в Стандарте погрешность в ± 1 °С является довольно существенной для отдельных случаев изменения температуры в указанном диапазоне, что значительно влияет на вязкость нефти и, как следствие, на коэффициент ее вытеснения. К тому же современное оборудование позволяет поддерживать стабильную температуру с погрешностью $\pm 0,1$ °С. Уменьшение интервала погрешности температуры позволит улучшить воспроизводимость экспериментов по фильтрации флюидов.

Предлагается изменение требований к материалам, из которых изготавливаются части оборудования, контактирующие с флюидами. В отличие от рекомен-

дации Стандарта, в соответствии с которыми применялись медные трубки и трубки из сплава никеля, предложено исключить использование меди, так как данный металл, контактируя с углеводородами, окисляется с последующим выпадением окислов в осадок, которые, в свою очередь, могут заблокировать каналы фильтрации либо привести к неисправности оборудования. Любое изменение формы и путей фильтрации в низкопроницаемых ядрах, в том числе и доманиковых, оказывает гораздо более существенное влияние на конечный результат, чем при использовании традиционных ядер. Также согласно Стандарту при температурах испытания более 75 °С рекомендовалось использовать термостойкую резину или сплав из нескольких металлов — олова, висмута и свинца. Однако данный сплав обладает достаточно низкой температурой плавления, в ряде случаев ниже температуры кипения воды. Использование низкотемпературного сплава при высокотемпературных экспериментах с вытеснением паром может привести к неисправности используемого оборудования.

В Стандарте для исключения разрушения образцов в момент испытания и возникновения дополнительных пустот между испытываемыми образцами ядра рекомендовалось использование фильтровальной бумаги между образцами в манжете, или заполнение пустот измельченной породой. Все вышесказанное также снижает качество проводимых экспериментов. Для этого дополнительно предлагается включить следующие требования по геометрической форме:

- допустимое отклонение диаметра образца не более ± 1 мм;
- торцевые поверхности образца должны быть плоскими, параллельными друг другу и перпендикулярными боковой поверхности. Допустимое отклонение от плоскости $\pm 0,05$ мм, параллельности $\pm 0,4$ мм, перпендикулярности ± 1 мм;
- отсутствие сколов на торцах (не более 1,5 мм), каверн на боковой поверхности, видимых трещин.

Были проведены эксперименты по определению коэффициента вытеснения на одинаковом ядре с использованием нефти с разных скважин: первый опыт проводился с нефтью из той же скважины, что и ядро, а второй опыт — с нефтью из другой скважины, но аналогичной по реологическим свойствам [15]. Конечные коэффициенты вытеснения сильно отличались. В связи с этим предлагается использовать при фильтрационных исследованиях образцы проб нефти из той же скважины, откуда был извлечен ядерный материал.

Необходимо пересмотреть постановку фильтрационного эксперимента в п. 4.12.3 Стандарта, в котором рекомендуется десятикратное увеличение скорости вытеснения. По мнению В.В. Колпакова и др. [16], составители Стандарта опирались на Д. Амикс и др., предложивших увеличение скорости фильтрации при использовании одного образца ядра или короткой насыпной модели пласта, которые считали, что относительная проницаемость при высоких градиентах давления не зависит от градиента [17]. Другие авторы утверждали, что при высоком градиенте давления возникают большие скорости потока, в результате чего происходит отклонение от закона Дарси из-за появления инерционных эффектов [18]. Таким образом, Стандарт нуждается в доработке и актуализации постановки фильтрационного эксперимента.

Дополнительно необходимо исключить из набора оборудования для фильтрационных экспериментов бюретки высокого давления и специальный жидкостный контейнер в связи с утратой актуальности перечисленного оборудования и внедрением автоматических регуляторов противодействия, которые позволяют исключить из системы измерения лишние единицы оборудования, тем самым снизив погрешность измерения. Для замены предлагается использовать мерные бюретки-сепараторы с ценой деления не более 0,2 мл; кроме того, рекомендуется применять ультразвуковые, оптические и другие автоматические сепараторы, исключающие человеческий фактор при измерении.

Оборудование, используемое для проведения исследований

Стандарт был разработан для исследований на установке УИПК-1М, принципиальная схема которой представлена на рис. 1.

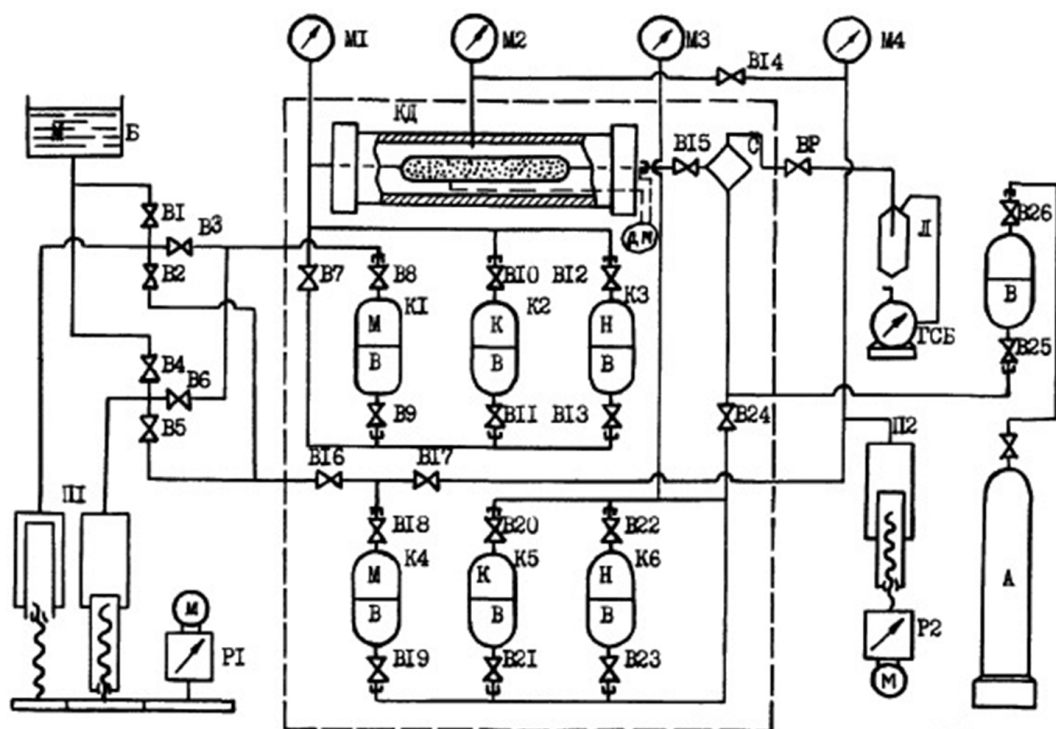


Рис. 1. Принципиальная схема соединения узлов установки для определения коэффициента вытеснения нефти водой по ОСТ 39-195-86:

КД — кернодержатель; К1—К6 — контейнеры жидкостные; М1—М4 — манометры образцовые;
В1—В26 — вентили игольчатые; ВР — вентиль регулируемый; С — контейнер жидкостный
специальный (или бюретка высокого давления); Л — мерная бюретка-сепаратор;
ГСБ — газовый счетчик барабанный; П1 — пресс с регулируемым редуктором и реверсивным
электродвигателем; П2 — пресс с реверсивным электродвигателем; Б — масляный бачок;
Р1 — редуктор регулируемый; Р2 — редуктор; М — масло; К — керосин; Н — нефть;
В — вода; А — азот; м — мотор; дм — дифманометр

[Fig. 1. Schematic diagram of equipment units connection for determining the displacement of oil by water ratio in accordance with IST 39-195-86]

К существенным недостаткам данной схемы относятся следующие:

- все существующее оборудование аналогового типа, ручные краны;
- отсутствуют такие важные элементы, как регулятор противодавления;
- не предусмотрено термостабилизирование всей системы;
- велико влияние человеческого фактора.

На сегодняшний день все ведущие производители фильтрационных установок, как отечественные, так и зарубежные, используют схожую принципиальную схему построения оборудования для подобных экспериментов, но по сравнению с УИПК-1М оборудование автоматизировано и исключает большинство недостатков первых установок.

На европейском рынке одним из лидирующих производителей является Vinci Technologies компаний и разработанный ими лабораторно-измерительный комплекс CFS-700 (рис. 2), предназначенный для проведения фильтрационных исследований с использованием образцов керна для обоснования данных при проектировании разработки месторождений. Комплекс позволяет проводить исследования таких параметров, как начальная фазовая проницаемость нефти, остаточная нефтенасыщенность, фазовая проницаемость по воде, коэффициент вытеснения нефти [19].

На американском рынке лидером в производстве петрофизического оборудования является Core Lab Instruments (рис. 3). Для проведения фильтрационных исследований компания производит автоматизированные фильтрационные системы для исследования пластовых условий заводнения с модульной компьютеризованной системой, сконфигурированной для исследования проницаемостей по жидкости, исследований по закачке химикатов и растворителей, а также тестирования относительной проницаемости жидкость/жидкость и жидкость/газ при нестационарном заводнении [20].

На отечественном рынке ведущей компанией в производстве оборудования для исследования керна является АО «Геологика».

Установка для исследования керна для высокотемпературных исследований в кислотостойком исполнении ПИК-ОФП/ЭП-К-Т (рис. 4) может работать в автоматическом и ручном режимах и предназначена для проведения как стандартных, так и специализированных экспериментов [21].

Установка позволяет определять следующие параметры:

- электрическое сопротивление;
- время распространения продольных и поперечных ультразвуковых волн;
- коэффициент открытой пористости в пластовых условиях;
- изменение коэффициента открытой пористости в зависимости от изменения пластовых условий;
- коэффициент проницаемости по жидкости;
- коэффициент вытеснения нефти водой, паром;
- коэффициент фазовых проницаемостей по жидкости.

Для качественной оценки изменения фильтрационно-емкостных свойств без разрушения породы посредством давления или фильтрации дополнительно могут быть применены томографические исследования, основанные на том, что рентгеновские лучи при прохождении сквозь породу теряют мощность пропорционально ее плотности и регистрируются на матрице приемника. После обработки полученных снимков создается 3D-модель породы [22].

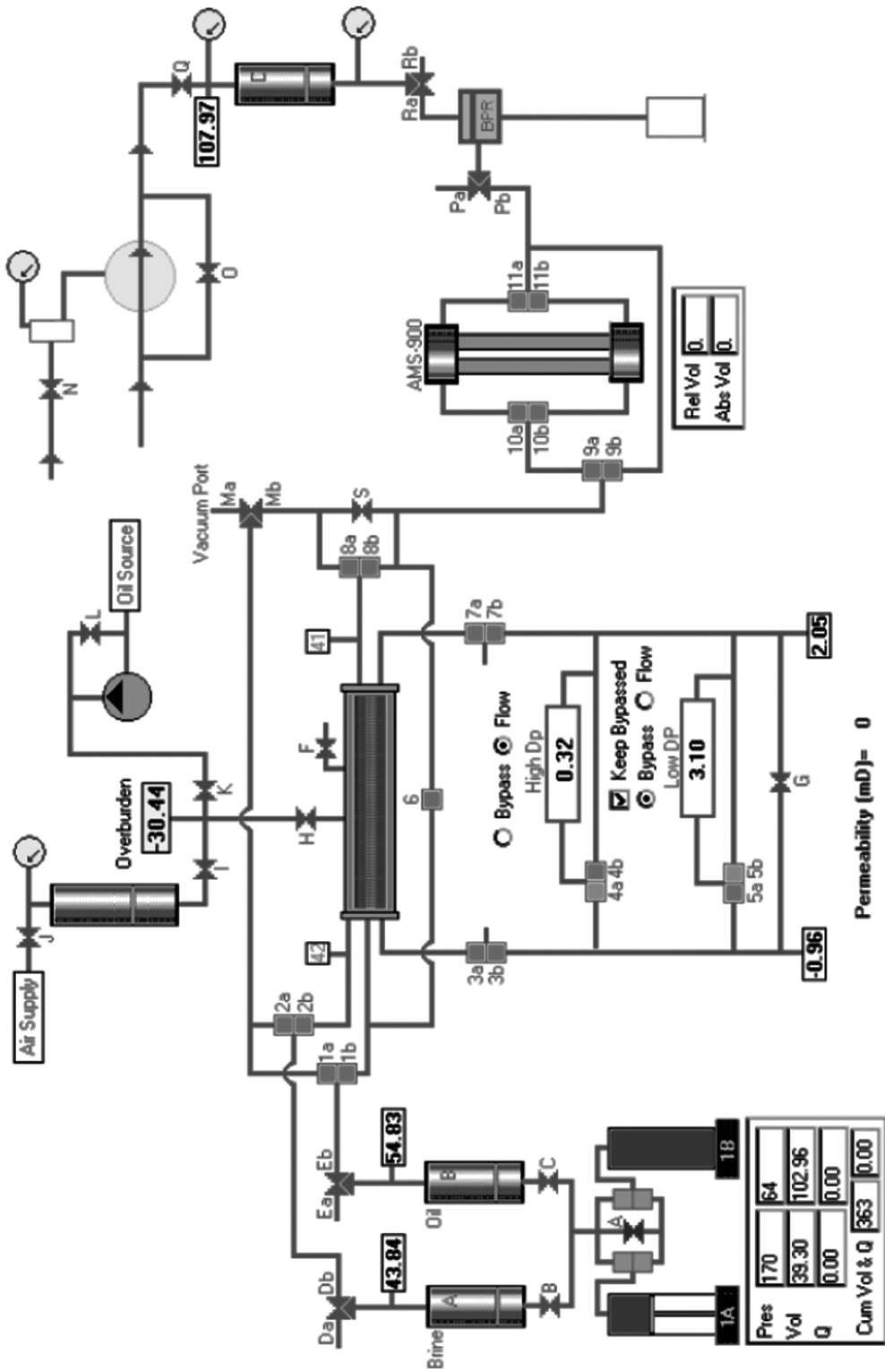


Рис. 3. Принципиальная схема фильтровой установки Core Lab AFS-300
[Fig. 3. Schematic diagram of the Core Lab AFS-300 filtration unit]

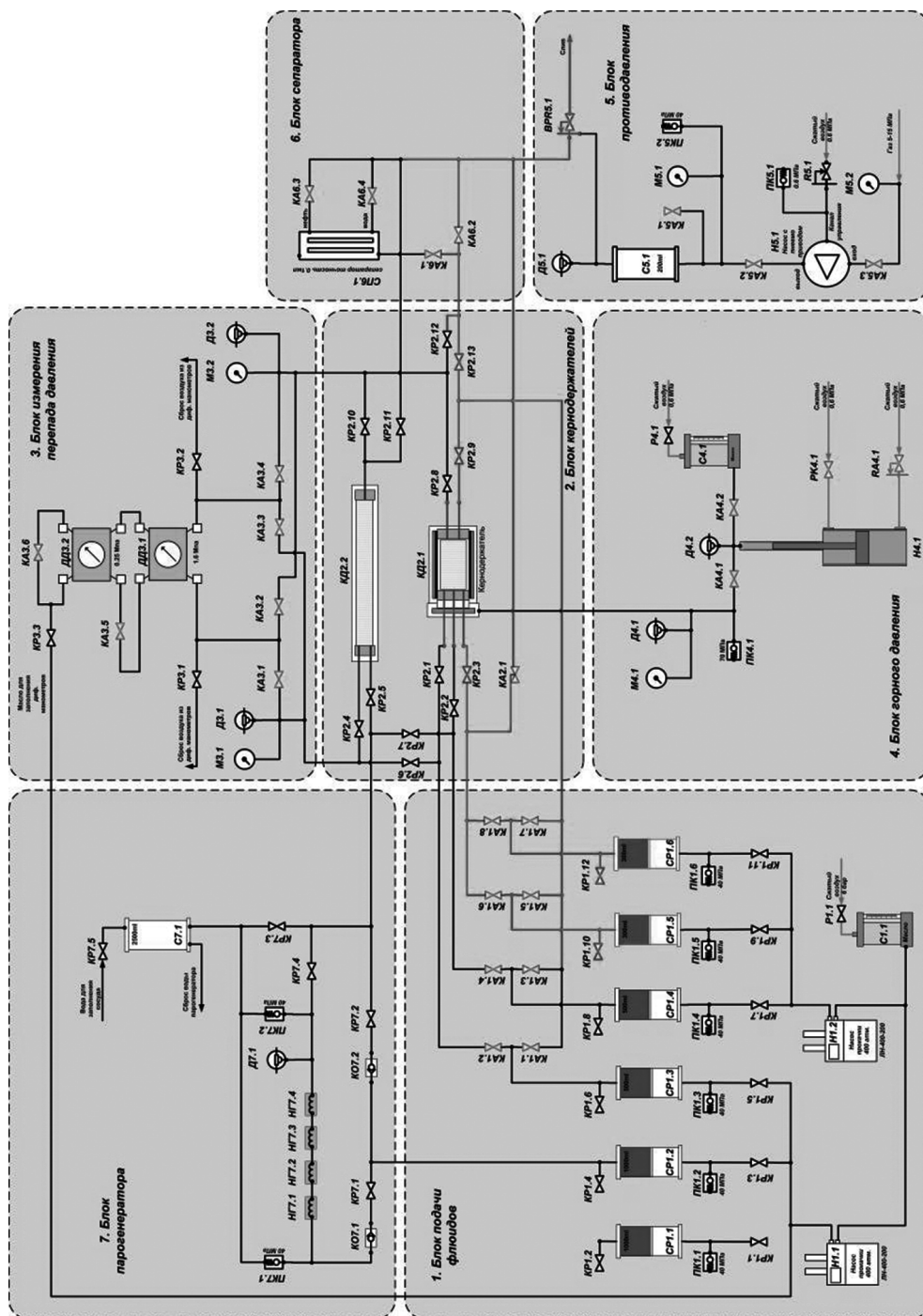


Рис. 4. Гидравлическая схема фильтровой установки Геологика ПИК-ОФП/ЭП-К-Т
 [Fig. 4. Hydraulic circuit of the Geologika PIK-OFP/EP-K-T filtration unit]

Рентгеновская томография породы позволяет оценить фильтрационно-емкостные свойства, выделить поры, трещины, каверны, распределить включения по плотности материала [23]. Совместное использование фильтрационной установки для проведения кислотных обработок и томографа позволяет оценить эффективность проведенной технологии, проследив изменение пористости, проницаемости исследуемого керна.

Отметим, что в документе Стандарте вообще не учитываются возможности использования неконсолидированного керна, что не соответствует современным технологиям добычи нефти из нетрадиционных коллекторов, керн которых, в свою очередь, может быть неконсолидированным, как в битуминозных отложениях, или легкоразрушаемым в ходе проведения экспериментов. Поэтому необходимо дополнить Стандарт единой методикой, которая должна содержать требования к насыпной модели, неконсолидированному керну, рабочим агентам (в том числе к пару), проведению эксперимента с насыпной моделью, сбор и обоснование результатов.

Выводы

Таким образом, в Стандарт, регламентирующий исследования по определению коэффициента вытеснения нефти, предлагается внести следующие поправки:

— изменить требования по подготовке керна материала, а именно: заменить применение спирто-бензольной смеси и четыреххлористого углерода при экстрагировании образца керна на растворители, не влияющие на поверхностные свойства породы, для предотвращения изменения смачиваемости породы;

— добавить требования к образцам керна, которые применяются при проведении фильтрационных экспериментов, для предотвращения разрушения образца под давлением и исключить из Стандарта требование применения фильтровальной бумаги и измельченной породы для заполнения пустот:

допустимое отклонение диаметра образца не более ± 1 мм,

торцевые поверхности образца должны быть плоскими, параллельными друг другу и перпендикулярными боковой поверхности. Допустимое отклонение от плоскости $\pm 0,05$ мм, параллельности $\pm 0,4$ мм, перпендикулярности ± 1 мм,

отсутствие сколов на торцах (не более 1,5 мм), каверн на боковой поверхности, видимых трещин;

— изменить требования к используемой воде при фильтрационных исследованиях, а именно: исключить возможность применения пластовой воды без ее предварительной подготовки по содержанию механических примесей, солей, эмульгированной нефти и др., что может заблокировать пути фильтрации образца керна и исказить конечный результат эксперимента;

— ограничить использование нефти из той же скважины, из которой извлечен керна материал, так как применение нефти из другой скважины, даже аналогичной по реологическим свойствам, может значительно повлиять на конечный результат фильтрационных экспериментов;

— текущая нормативно-техническая документация не учитывает возможностей и особенностей использования неконсолидированного или легкоразрушаемого керна, поэтому необходимо дополнить Стандарт единой методикой, которая должна регламентировать требования к насыпной модели, неконсолидированному керну, рабочим агентам (в том числе к пару), проведению эксперимента с насыпной моделью, методике сбора и обоснованию результатов;

— изменить требования к применяемому при фильтрационных экспериментах оборудованию:

исключить применение сплавов из олова, висмута и свинца для высокотемпературных элементов оборудования, так как данный сплав обладает низкой температурой плавления,

исключить применение меди при изготовлении элементов оборудования, непосредственно контактирующих с флюидами,

исключить из набора оборудования для фильтрационных экспериментов бюретки высокого давления и специальный жидкостный контейнер в связи с устареванием данного оборудования и внедрением автоматических регуляторов противодавления, которые позволяют вывести из системы измерения лишние единицы оборудования, тем самым снизить погрешность измерения, заменить их на мерные бюретки-сепараторы с ценой деления не более 0,2 мл,

рекомендовать применение ультразвуковых, оптических и других автоматических сепараторов, исключающих человеческий фактор при измерении.

Введение перечисленных изменений позволит более качественно проводить эксперименты на стадии воссоздания пластовых условий, с более высокой точностью оценивать коэффициент вытеснения нефти, снизить погрешности при проведении экспериментов. При этом совмещение фильтрационных экспериментов с томографическими исследованиями позволит осуществлять более четкий контроль эффективности разрабатываемых технологий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] ОСТ 39-195-86. Нефть. Метод определения коэффициента нефти водой в лабораторных условиях. Введ. 1987-01-01. М.: Миннефтепром, 1986.
- [2] *Ледовская Т.И., Мезенцев Д.Н., Тупицин Е.В., Шумская С.К., Шемелинин Ю.А.* Восстановление смачиваемости образцов керна при подготовке к фильтрационным исследованиям // Нефтяное хозяйство. 2012. № 11. С. 54–56.
- [3] *Хижняк Г.П., Амиров А.М., Мошева А.М., Мелехин С.В., Чижов Д.Б.* Влияние смачиваемости на коэффициент вытеснения нефти // Вестник ПНИПУ. Геология. Нефтегазовое и горное дело. 2012. № 6. С. 54–63.
- [4] ОСТ 39-180-85. Нефть. Метод определения смачиваемости углеводородосодержащих пород. Введ. 1985-07-01. М.: Миннефтепром, 1985.
- [5] ОСТ 39-227-89. Вода для заводнения нефтяных пластов. Определение фильтрационной характеристики и водовосприимчивости низкопроницаемых пород-коллекторов в пластовых условиях. Введ. 1990-07-01. М.: Миннефтепром, 1990.
- [6] ОСТ 39-228-89. Вода для заводнения нефтяных пластов. Оценка совместимости закачиваемой воды с пластовой водой и породой продуктивного пласта. Введ. 1990-07-01. М.: Миннефтепром, 1990.

- [7] ОСТ 39-229-89. Вода для заводнения нефтяных пластов. Определение совместимости закачиваемых и пластовых вод по кальциту и гипсу расчетным методом. Введ. 1990-07-01. М.: Миннефтепром, 1990.
- [8] ОСТ 39-230-89. Вода для заводнения нефтяных пластов. Определение размера частиц механических примесей. Введ. 1990-07-01. М.: Миннефтепром, 1990.
- [9] ОСТ 39-231-89. Вода для заводнения нефтяных пластов. Определение содержания механических примесей в речных и промысловых водах. Введ. 1990-07-01. М.: Миннефтепром, 1985.
- [10] ОСТ 39-232-89. Вода для заводнения нефтяных пластов. Определение размера частиц эмульгированной нефти. Введ. 1990-07-01. М.: Миннефтепром, 1990.
- [11] ОСТ 39-133-81. Вода для заводнения нефтяных пластов. Определение содержания нефти в промышленной сточной воде. Введ. 1982-07-01. М.: Миннефтепром, 1982.
- [12] ОСТ 39-233-89. Вода для заводнения нефтяных пластов. Определение содержания растворенного кислорода в нефтепромысловых сточных водах. Введ. 1990-07-01. М.: Миннефтепром, 1990.
- [13] ОСТ 39-234-89. Вода для заводнения нефтяных пластов. Определение содержания сероводорода. Введ. 1990-07-01. М.: Миннефтепром, 1985.
- [14] ОСТ 39-191-85. Вода для заводнения нефтяных пластов. Определение содержания железа в промышленной сточной воде. Введ. 1986-07-01. М.: Миннефтепром, 1986.
- [15] *Зубков М.Ю., Чуйко А.И.* Причины расхождения результатов экспериментальных исследований фазовых проницаемостей и коэффициентов вытеснения нефти водой для неоконских продуктивных отложений Аганского месторождения с промысловыми данными // Пути реализации нефтегазового потенциала ХМАО (Шестая научно-практическая конференция): в 2 т. Т. II. 2003.
- [16] *Колпаков В.В., Зубков М.Ю., Коваленко Р.В.* Существующие ОСТы, регламентирующие проведение потоковых исследований и необходимость их модернизации // Пути реализации нефтегазового потенциала ХМАО (Девятая научно-практическая конференция): в 3 т. Т. I. 2006.
- [17] *Амикс Д., Басс Д., Уайтинг Р.* Физика нефтяного пласта. М: Гостоптехиздат, 1962.
- [18] *Mott R., Cable A., Spearing M.* Measurement and simulation of inertial and high capillary number flow phenomena in gas-condensate relative permeability // SPE annual technical conference and exhibition. 2000. P. 13.
- [19] Лабораторно-измерительный комплекс для исследования нефтевытеснения: руководство по эксплуатации. Ред. 1.2. Vinci Technologies Inc. Nanterre, France. 2015.
- [20] Operating Manual. Auto Flood Reservoir Conditions Coreflooding System, AFS-300 // Core Lab Instruments, Tulsa. USA. 2014. С. 15–26.
- [21] Установка для исследования керна для высокотемпературных исследований в кислотоустойчивом исполнении ПИК-ОФП/ЭП-К-Т. АО «Геологика»: руководство по эксплуатации. Новосибирск, 2017.
- [22] *Жуковская Е.А., Лопушняк Ю.М.* Использование рентгеновской томографии при исследовании терригенных и карбонатных коллекторов // Нефтяное хозяйство. 2008. № 3. С. 24–31.
- [23] *Кривошеков С.Н., Кочнев А.А.* Определение емкостных свойств пород-коллекторов с применением рентгеновской томографии керна // Master's Journal. 2014. № 1 С. 120–128.

© Белошапка И.Е., Ганиев Д.И., 2018

История статьи:

Дата поступления в редакцию: 16 мая 2018

Дата принятия к печати: 15 июля 2018

Для цитирования:

Белошапка И.Е., Ганиев Д.И. Применение фильтрационных исследований для изучения технологий разработки месторождений нетрадиционных коллекторов и трудноизвлекаемых запасов нефти // *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования.* 2018. Т. 19. № 3. С. 343—357. DOI 10.22363/2312-8143-2018-19-3-343-357

Сведения об авторах:

Белошапка Иван Евгеньевич — аспирант кафедры разработки и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений, Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Альметьевский государственный нефтяной институт». *Область научных интересов:* повышение эффективности разработки месторождений с трудноизвлекаемыми запасами нефти, фильтрационные исследования. *Контактная информация:* e-mail: i.e.beloshapka@gmail.com

Ганиев Динис Ильдарович — аспирант кафедры разработки и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений, Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Альметьевский государственный нефтяной институт». *Область научных интересов:* разработка нетрадиционных запасов нефти, фильтрационные исследования, томографические исследования. *Контактная информация:* e-mail: dinisganiev@gmail.com

Application of filtration tests for studying technologies for development of non-traditional reservoirs and tight oil reserves

I.E. Beloshapka, D.I. Ganiev

Almetyevsk State Oil Institute
2, Lenina str., Almetyevsk, 423452, Russian Federation

Abstract. Currently, main light hydrocarbon reserves are being depleted across the world, which is why more and more petroleum companies pay attention to the possibility of developing unconventional reservoirs and hard-to-recover reserves. It is obvious that at this development stage of technologies for oil field exploitation, cost-effective development of unconventional reservoirs is impossible, and therefore there is a need for new oil production methods. Herewith, accurate setting and conducting of laboratory experiments plays an important role, since the decisions taken based on the experimental results affect the technological and economic factors. Such studies include filtration tests for determining the oil displacement ratio from core in laboratory. When carrying out filtration tests, the important point is accurate formulation of the experiment, which is impossible without a well-developed methodology and specification. To date, the tests to determine the oil displacement ratio are regulated by IST-39-195-86, which was approved in 1986. In a detailed investigation of the document, it was established that most of the points in the document need to be changed and refined in connection with the improvement of equipment and methods for preparing the core material in order to reduce errors at various stages of the experiment and to estimate the displacement ratio more accurately in determining the effectiveness of the technologies being developed.

Key words: filtration, core material, displacement ratio, industry standard, extraction, permeability

REFERENCES

- [1] OST 39-195-86. Neft'. Metod opredeleniya koeffitsienta nefti vodoi v laboratornykh usloviyakh. Vzamen OST 39-070-78; vved. 1987-01-01 [IST 39-195-86. Oil. Method for determining the oil ratio in water in laboratory. In exchange for IST 39-070-78; Effective 1987-01-01]. Moscow: Minnefteprom Publ., 1986. 2–16. (In Russ.)
- [2] Ledovskaya T.I., Mezentsev D.N., Tupitsin E.V., Shumskaya S.K., Shchemelinin Y.A. Vosstanovlenie smachivaemosti obraztsov kerna pri podgotovke k fil'tratsionnym issledovaniyam [Recovering the wettability of core samples in preparation for filtration tests]. *Oil Industry*. 2012. No. 11. 54–56. (In Russ.)
- [3] Khizhnyak G.P., Amirov A.M., Mosheva A.M., Melekhin S.V., Chizhov D.B. Influence of wettability on oil displacement efficiency. *Bulletin of PNRPU. Geology. Oil & Gas Engineering & Mining*. 2012. No. 6. 54–63. (In Russ.)
- [4] OST 39-180-85. Neft'. Metod opredeleniya smachivaemosti uglevodorodosoderzhashchikh porod. Vved. 1985-07-01 [IST 39-180-85. Oil. Method for determination of wettability of hydrocarbonaceous rocks. Effective 1985-07-01]. Moscow: Minnefteprom Publ., 1985. 2–10. (In Russ.)
- [5] OST 39-227-89. Voda dlya zavodneniya neftyanykh plastov. Opredelenie fil'tratsionnoi kharakteristiki i vodovospriimchivosti nizkopronitsaemykh porod-kollektorov v plastovykh usloviyakh. Vved. 1990-07-01 [IST 39-227-89. Water for flooding oil reservoirs. Determination of filtration characteristic and water sensibility of low-permeable reservoir rocks in in-situ conditions. Effective 1990-07-01]. Moscow: Minnefteprom Publ., 1990. 2–10. (In Russ.)
- [6] OST 39-228-89. Voda dlya zavodneniya neftyanykh plastov. Otsenka sovместimosti zakachivaemoi vody s plastovoi vodoi i porodoi produktivnogo plasta. Vved. 1990-07-01 [IST 39-228-89. Water for flooding oil reservoirs. Assessment of compatibility of injected water with stratal water and reservoir rock. Effective 1990-07-01]. Moscow: Minnefteprom Publ., 1990. 2–10. (In Russ.)
- [7] OST 39-229-89. Voda dlya zavodneniya neftyanykh plastov. Opredelenie sovместimosti zakachivaemykh i plastovykh vod po kal'tsиту i gipsu raschetnym metodom. Vved. 1990-07-01 [IST 39-229-89. Water for flooding oil reservoirs. Determination of compatibility of injected and stratal water by calcite and gypsum calculation method. Effective 1990-07-01]. Moscow: Minnefteprom Publ., 1990. 2–8. (In Russ.)
- [8] OST 39-230-89. Voda dlya zavodneniya neftyanykh plastov. Opredelenie razmera chastits mekhanicheskikh primesei. Vved. 1990-07-01 [IST 39-230-89. Water for flooding oil reservoirs. Determination of particle size of mechanical impurities. Effective. 1990-07-01]. Moscow: Minnefteprom Publ., 1990. 2–9. (In Russ.)
- [9] OST 39-231-89. Voda dlya zavodneniya neftyanykh plastov. Opredelenie sodержaniya mekhanicheskikh primesei v rechnykh i promyslovykh vodakh. Vved. 1990-07-01 [IST 39-231-89. Water for flooding oil reservoirs. Determination of content of mechanical impurities in river and commercial waters. Effective 1990-07-01]. Moscow: Minnefteprom Publ., 1985. 2–10. (In Russ.)
- [10] OST 39-232-89. Voda dlya zavodneniya neftyanykh plastov. Opredelenie razmera chastits emul'girovannoi nefti. Vved. 1990-07-01 [IST 39-232-89. Water for flooding oil reservoirs. Determination of particle size of emulsified oil. Effective 1990-07-01]. Moscow: Minnefteprom Publ., 1990. 2–10. (In Russ.)
- [11] OST 39-133-81. Voda dlya zavodneniya neftyanykh plastov. Opredelenie sodержaniya nefti v promyslovoi stochnoi vode. Vved. 1982-07-01 [IST 39-133-81. Water for flooding oil reservoirs. Determination of oil content in commercial wastewater. Effective 1982-07-01]. Moscow: Minnefteprom Publ., 1982. 2–7. (In Russ.)
- [12] OST 39-233-89. Voda dlya zavodneniya neftyanykh plastov. Opredelenie sodержaniya rastvorenного kisloroda v neftepromyslovykh stochnykh vodakh. Vved. 1990-07-01 [IST 39-233-89. Water for flooding oil reservoirs. Determination of dissolved oxygen content in oilfield wastewater. Effective. 1990-07-01]. Moscow: Minnefteprom Publ., 1990. 2–10. (In Russ.)

- [13] OST 39-234-89. Voda dlya zavodneniya neftyanykh plastov. Opredelenie sodержaniya serovodoroda. Vved. 1990-07-01 [IST 39-234-89. Water for flooding oil reservoirs. Determination of hydrogen sulphide content. Effective 1990-07-01]. Moscow: Minnefteprom Publ., 1985. 2–15. (In Russ.)
- [14] OST 39-191-85. Voda dlya zavodneniya neftyanykh plastov. Opredelenie sodержaniya zheleza v promyslovoi stochnoi vode. Vved. 1986-07-01 [IST 39-191-85. Water for flooding oil reservoirs. Determination of iron content in commercial wastewater. Effective. 1986-07-01]. Moscow: Minnefteprom Publ., 1986. 2–8. (In Russ.)
- [15] Zubkov M.Y., Chuiko A.I. Prichiny raskhozheniya rezul'tatov eksperimental'nykh issledovaniy fazovykh pronitsaemosti i koeffitsientov vytesneniya nefli vodoi dlya neokomskikh produktivnykh otlozheniy Aganskogo mestorozhdeniya s promyslovymi dannymi [The reasons for discrepancy between the results of experimental studies of phase permeabilities and oil displacement ratios for Neocomian productive deposits of the Agan field with field data]. Sbornik «Puti realizatsii neftegazovogo potentsiala KhMAO» (Shestaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya) v dvukh tomakh [Collection of “Ways of realizing the oil and gas potential of the Khanty-Mansiysk Autonomous District” (Sixth Scientific and Practical Conference) in two volumes]. 2003. Vol. II. 247–256. (In Russ.)
- [16] Kolpakov V.V., Zubkov M.Y., Kovalenko R.V. Sushchestvuyushchie OSTy, reglamentiruyushchie provedenie potokovykh issledovaniy i neobkhodimost' ikh modernizatsii [Existing ISTs, regulating the conduct of streaming tests and the need for their modernization]. Sbornik «Puti realizatsii neftegazovogo potentsiala KhMAO» (Devyataya nauchno-prakticheskaya konferentsiya) v trekh tomakh [Collection of “Ways of realizing the oil and gas potential of the Khanty-Mansiysk Autonomous District” (Ninth Scientific and Practical Conference) in three volumes]. Vol. I. 2006. 460–465. (In Russ.)
- [17] Amiks D., Bass D., Whiting R. Fizika neftyanogo plasta [Physics of oil reservoir]. Moscow: Gostoptekhizdat Publ., 1962. 572 p. (In Russ.)
- [18] Mott R., Cable A., Spearing M. Measurement and simulation of inertial and high capillary number flow in gas-condensate relative permeability, SPE annual technical conference and exhibition. 2000. P. 13.
- [19] Instruction manual. Laboratory-measuring complex for oil displacement research. Revision 1.2, Vinci Technologies Inc. Nanterre, France. 2015. 8–34. (In Russ.)
- [20] Operating Manual. Auto Flood Reservoir Conditions Coreflooding System, AFS-300, Core Lab Instruments, Tulsa. USA. 2014. 15–26.
- [21] Instruction manual. Core testing unit for high-temperature studies in acid-proof design PIK-OF/EP-K-T. Geologika JSC. Novosibirsk, 2017. 7–14. (In Russ.)
- [22] Zhukovskaya E.A., Lopushnyak Y.M. Ispol'zovanie rentgenovskoi tomografii pri issledovanii terrigennykh i karbonatnykh kollektorov [The use of X-ray tomography in the study of terrigenous and carbonate reservoirs]. *Oil Industry*. 2008. No. 3. 24–31. (In Russ.)
- [23] Krivoshchekov S.N., Kochnev A.A. Determination of reservoir properties of reservoir rocks using X-ray imaging core. *Master's Journal*. 2014. No. 1. 120–128. (In Russ.)

Article history:

Received: May 16, 2018

Accepted: July 15, 2018

For citation:

Beloshapka I.E., Ganiev D.I. (2018). Application of filtration tests for studying technologies for development of non-traditional reservoirs and tight oil reserves. *RUDN Journal of Engineering Researches*, 19 (3), 343-357. DOI 10.22363/2312-8143-2018-19-3-343-357

Bio Note:

Ivan E. Beloshapka — Post-graduate student of the Department of Development and Exploitation of Oil and Gas Fields, Almeteyevsk State Oil Institute. *Research interests:* Increasing efficiency of developing deposits with tight oil reserves, filtration tests. *Contact information:* e-mail: i.e.beloshapka@gmail.com

Dinis I. Ganiev — Post-graduate student of the Department of Development and Exploitation of Oil and Gas Fields, Almeteyevsk State Oil Institute. *Research interests:* Unconventional reserves oil development, filtration tests, tomographic studies. *Contact information:* e-mail: dinisganiev@gmail.com