

## **Информация о проекте, выполняемом в рамках проектной части государственного задания в сфере научной деятельности**

Задание № 13.2653.2014/К от 17.07.2014г.

Тема: Создание методических основ исследования поверхностных явлений в процессах фильтрации и вытеснения нефти.

Приоритетное направление: Рациональное природопользование.

Критическая технология: Технологии поиска, разведки, разработки месторождений полезных ископаемых и их добычи.

Период выполнения: 17.07.2014г. - 31.12.2016г.

Исполнитель: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Российский государственный университет нефти и газа имени И. М. Губкина» (Кафедра разработки и эксплуатации нефтяных месторождений).

Ключевые слова: нефть, фильтрация, вытеснение, методы увеличения нефтеотдачи.

Научный руководитель: А. Б. Золотухин.

**1. Цель проекта:** Изучение поверхностных явлений в поровом пространстве естественных пород-коллекторов нефти и газа, оценка влияния структуры порового пространства на коэффициент вытеснения нефти, установление взаимосвязи наблюдаемых поверхностных явлений с фильтрационными характеристиками породы-коллектора.

**2. В 2014 году по проекту были проведены следующие работы:**

- Подготовлен литературный обзор научно-технической проблематики.
- Сформулированы цели и задачи исследования.
- На основании выводов из литературного обзора сформулированы направления лабораторных исследований.
- Создана экспериментальная методика совместного изучения поверхностных и фильтрационных характеристик пористых сред, что позволит оценить потенциал методов увеличения нефтеотдачи для заданных свойств нефтяного пласта.

**3. В 2015 году по проекту были проведены следующие работы:**

- отбор коллекции кернового материала;
- проведение стандартных петрофизических исследований;
- опробованы четыре новых методики, использование которых позволяет судить о поверхностных явлениях в пористых средах;
- проведены специальные исследования естественных и искусственных кернов, моделей пористых сред с целью сопоставления традиционных лабораторных исследований керна и разработанных методик изучения поверхностных свойств;

- часть экспериментальных работ проведена в термобарических условиях нахождения нефти в природных пластовых резервуарах. Моделировались пластовые процессы, протекающие при традиционном заводнении, циклическом изменении пластового давления, водогазовом воздействии с целью увеличения нефтеотдачи, хранения и утилизации газа, химическом заводнении.

#### **4. В 2016 году по проекту были проведены следующие работы:**

- анализ полученных экспериментальных данных;
- построение аналитических моделей фильтрации и техногенного воздействия на пласт, учитывающих поверхностные явления в пористых средах.

#### **5. Основные результаты по проекту:**

Рассмотрено влияние поверхностных явлений на фильтрацию углеводородов при разработке месторождений, выявлены закономерности влияния поверхностных сил на добычу углеводородов с точки зрения регулирования и правильного выбора технологии извлечения.

Определено влияние поверхностных процессов на физико-химические свойства закачиваемой воды (основы для создания новых технологий извлечения).

Установлено, что используемая в научных и прикладных расчётах гидродинамики нефтяных залежей капиллярная модель фильтрации некорректна для условий низкопроницаемых коллекторов нефти и газа.

Выявлена необходимость определения границ применимости капиллярной модели для научного обоснования применения различных законов массообмена в пористых средах при подготовке прогнозных показателей разработки месторождений с помощью гидродинамических симуляторов.

Предложены и опробованы четыре новые лабораторные методики регистрации поверхностных явлений в пористых средах:

- методика исследования гистерезиса относительных фазовых проницаемостей в системах с различным типом насыщения;
- методика разделения углеводородных жидкостей в поровом пространстве водо- нефтенасыщенных образцов по категориям подвижности;
- методика определения адсорбционной составляющей остаточной нефтенасыщенности;
- методика изучения адсорбции и механической деструкция полимерных композиций при их фильтрации.

Проведены специальные исследования естественных и искусственных кернов, моделей пористых сред с целью сопоставления традиционных

лабораторных исследований керна и разработанных методик изучения поверхностных свойств.

Часть экспериментальных работ проведена в термобарических условиях нахождения нефти в природных пластовых резервуарах. Моделировались пластовые процессы, протекающие при традиционном заводнении, циклическом изменении пластового давления, водогазовом воздействии с целью увеличения нефтеотдачи, хранения и утилизации газа, химическом заводнении.

Экспериментально показана связь вида гистерезиса относительных фазовых проницаемостей с типом насыщения пористой среды (вода-газ, вода-нефть-газ, вода-нефть).

Установлено, что гистерезис относительных фазовых проницаемостей является механизмом увеличения нефтеотдачи при нестационарном заводнении.

Дано новое представление косинуса краевого угла смачивания в системе горная порода – вода – нефть как функции радиуса пор. Показано, что при уменьшении радиуса пор достигается определённая граница («переходный радиус пор»), когда функция косинуса краевого угла смачивания становится больше единицы, т.е. капиллярный закон Лапласа перестаёт работать. Новые величины (переходный радиус пор и минимальный косинус краевого угла смачивания) коррелируют со стандартными петрофизическими параметрами (открытой пористостью, абсолютной проницаемостью и остаточной водонасыщенностью).

Экспериментально установлена связь толщины граничного слоя углеводородов (измеряется по предложенной методике определение адсорбционной составляющей остаточной нефтенасыщенности) с фильтрационными характеристиками пористых сред. Полученные данные могут быть использованы для калибровки гидродинамических моделей пористых сред.

Изучены особенности морфологии пустотного пространства ряда продуктивных коллекторов месторождений РФ.

Разработаны новые методики определения фильтрационно-емкостных свойств и остаточной водонасыщенности горных пород по данным рентгеновской томографии и численного моделирования для учета поверхностных явлений в моделировании фильтрации и вытеснения на уровне пор:

1. разработан алгоритм восстановления модели порового пространства горных пород, обеспечивающий ее гидродинамическую связность в условиях недостатка разрешающей способности рентгеновского томографа;
2. разработана методика формирования массива «виртуальных кубов» с учетом неоднородности строения горных пород для использования в гидродинамическом моделировании;

3. разработана методика определения фильтрационно-емкостных свойств горных пород по данным рентгеновской томографии и численного моделирования с использованием подхода с выделением «виртуальных кубов» из разных областей образца;
4. установленные расчетные петрофизические связи  $K_{пр}=f(K_{п})$  близки к фактическим лабораторным для всего объекта (пласта) для нескольких месторождений Российской Федерации, что является уникальным подтверждением правильности масштабирования фильтрационных свойств на микро- и макроуровне при гидродинамическом моделировании пористых сред;
5. подтверждена правильность масштабирования фильтрационных свойств на микро- и макроуровне при гидродинамическом моделировании пористых сред на основе совпадающих расчетных и лабораторных петрофизических связей  $K_{пр}=f(K_{п})$  для всего объекта (пласта) на нескольких месторождениях Российской Федерации;
6. разработаны новые методики определения остаточной водонасыщенности горных пород с помощью метода РТ, основанные на анализе спектров поглощения рентгеновского излучения, и данных расчёта поля скоростей однофазной фильтрации.

**6. Назначение и предполагаемое использование результатов проекта:**

- Полученные экспериментально закономерности позволят расширить существующие понятия о поверхностных явлениях в породах-коллекторах нефти и газа, во многом определяющих эффективность разработки месторождения, методов воздействия на продуктивный пласт. Их можно будет учитывать как в аналитических прогнозах разработки месторождения, так и в численных моделях.
- Полученные данные будут использоваться для построения и уточнения моделей фильтрации, учитывающих реальные поверхностные явления в пористых средах, с последующим моделированием пластовых процессов разработки месторождений углеводородных ресурсов.
- Предложенные методики, позволят строить петрофизические связи  $K_{пр}=f(K_{п})$  и  $K_{ов}=f(K_{п})$  из ограниченного числа образцов керна, близкие к фактическим лабораторным связям для всего геологического объекта. Полученные результаты позволяют рекомендовать данный подход для использования на объектах, где проведение традиционных лабораторных исследований по оценке пористости, проницаемости и остаточной водонасыщенности невозможно.
- Предложенный подход с созданием «виртуальных кубов» позволяет формировать массив петрофизических данных по ограниченному количеству кернового материала и устанавливать петрофизические связи отдельных литотипов.

- Методики с использованием массива виртуальных кубов не требуют больших вычислительных мощностей, позволяют экономить время получения данных, ресурс трубки рентгеновского томографа.
- Алгоритм геометрического преобразования модели порового пространства обеспечивает ее гидродинамическую связность в условиях недостатка разрешения рентгеновского томографа, что позволяет определять фильтрационно-емкостные свойства горных пород с проницаемостью порядка единиц и десятков миллидарси и оценивать их анизотропию проницаемости.