

Экспериментальное исследование двухфазных фильтрационных течений в пористой среде с фазами переходами

С.В. Елисеев^{1,2}, Н.А. Барышников^{1,2}

¹Московский физико-технический институт (государственный университет)

²Институт динамики геосфер РАН

Фильтрационные течения в пористой среде, сопровождаемые фазовыми переходами, встречаются во многих природных явлениях и техногенных процессах. В частности, одной из перспективных технологий разработки кероген-содержащих нефтяных месторождений является термогазовый метод воздействия на пласт. Согласно экспериментальным исследованиям [1], извлечение углеводородов из керогена возможно под воздействием температур выше 400 градусов Цельсия. Суть метода термогазового воздействия заключается в закачке воздуха в пласт, инициализации горения керогена и последующей трансформации его в вытесняющие агенты. При этом возникают некоторые специфические проблемы моделирования подземной гидродинамики. Для оптимизации технологического воздействия необходимо знать, как в пласте происходят процессы взаимодействия разогретых агентов и слагающих пласты углеводородных фаз. Предполагается, что в процессе подобного воздействия на пласт может формироваться фронт плавления, продвигающийся в направлении фильтрационного потока. При этом остаётся не изученным вопрос влияния изменения фильтрационных свойств коллектора за фронтом на его устойчивость. В данной работе представлено экспериментальное исследование динамики продвижения фронта плавления части твёрдого вещества пористого скелета при фильтрации через него разогретой вязкой жидкости. В ходе работы изучалась его структура, влияние скоростей фильтрации и доли легкоплавкой твёрдой фазы на структуру и устойчивость фронта.

В качестве пористого массива использовался тонкий слой стеклянных шариков, зажатый между двумя параллельными теплоизолированными стеклянными пластинами, с примесью парафина, частично заполняющего поры (проницаемость варьировалась от 12 до 50 Дарси; пористость скелета составляла 0.4; температура плавления парафина 50 градусов Цельсия). Вода, разогретая до температуры кипения, играла роль вытесняющего вещества. Подача разогретой воды происходила при различных, фиксированных, перепадах давления.

Перед началом опыта массив заполнялся водой, так что их температура была равна 20 градусам Цельсия. После чего под действием постоянного перепада давления в массив

закачивалась вода с температурой 95 градусов Цельсия. В процессе плавления парафина, содержащегося внутри пористого массива, формировался фронт, продвигающийся вдоль направления фильтрационного потока в виде проплавленных каналов (рис.1). При этом часть расплавленного парафина оставалась за фронтом плавления в виде отдельных капель внутри пор.

В ходе работы исследован процесс формирования и продвижения фронта плавления парафина, содержащегося внутри пор, вдоль направления фильтрационного потока. Во всех проделанных опытах фронт плавления легкоплавкой твёрдой фазы, частично заполнявшей поровое пространство модельного массива, был неустойчив и продвигался в направлении фильтрационного потока в виде проплавленных пальцев. Обнаружено явление формирования оторочек из расплавленного парафина на фронте плавления. Показано, что оторочки возникают, когда парафин занимает около 30% порового пространства. Установлено, что температура на фронте постоянна и равна температуре плавления твёрдой фазы. Это даёт возможность предположить, что динамика продвижения фронта плавления определяется переносом тепла в потоке жидкости. Для описания динамики продвижения фронта плавления была рассмотрена задача о конвективном переносе тепла в плоском параллельном массиве. Было выявлено, что эксперимент соответствует нестационарному режиму теплового потока, при котором характерное время изменения температуры жидкости на входе в массив сравнимо с характерным временем установления теплового равновесия в пористой среде.

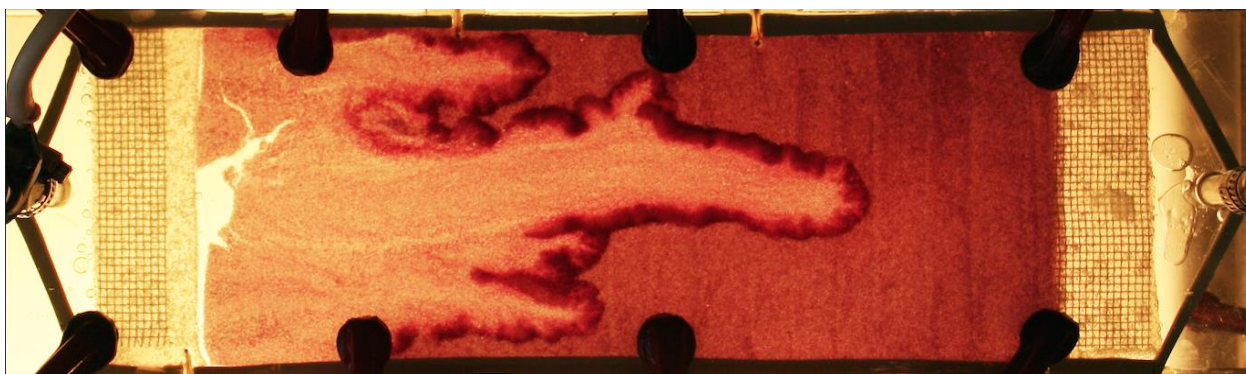


Рис.1 Фронт Плавления

Литература

1. M.F. Martins. Co-current combustion of oil shale part 1-2 - Fuel. – 2009. - Volume 89, Issue 1 - p. 133–151.