

Экспериментальное исследование многофазных течений в ячейке Хеле-Шоу

Научный руководитель – Скрылева Евгения Игоревна

Галиуллина Аделия Рустамовна

Студент (специалист)

Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова,
Механико-математический факультет, Кафедра газовой и волновой динамики, Москва,
Россия

E-mail: adelia.gali@gmail.com

Изучение процессов фильтрации и вытеснения жидкостей в пористых средах является фундаментальной задачей для ряда отраслей промышленности, включая нефтегазодобычу, экологию и микрофлюидику. Ячейка Хеле-Шоу представляет собой экспериментальную установку, позволяющую визуализировать двумерные течения и моделировать процессы в пористой среде с однородной проницаемостью. Основные уравнения, описывающие течение в зазоре между пластинами ячейки, математически аналогичны уравнениям фильтрации по закону Дарси. Это делает установку идеальным инструментом для исследования динамики многофазных потоков в пористых средах, изучения межфазных неустойчивостей и явления "вязких пальцев".

Одним из наиболее значимых приложений данной модели является симуляция движения нефти вблизи нагнетательной скважины. Радиальная конфигурация течения с источником в центре (Рис.1) позволяет воспроизвести процесс вытеснения флюида и подробно изучить устойчивость фронта раздела фаз. Однако классические теоретические модели, описывающие данные процессы, часто базируются на идеализированных допущениях. Предварительный анализ показывает, что теоретические расчеты не всегда точно коррелируют с эмпирическими данными, особенно при варьировании свойств жидкостей и граничных условий.

В данной работе рассматривается радиальное течение несмешивающихся жидкостей. Экспериментальная установка была модифицирована для обеспечения радиальной геометрии. Жидкость нагнеталась в центральный источник при постоянном давлении, вытесняя воздух из ячейки. Выбор несмешивающихся флюидов позволил наблюдать четкую межфазную границу и упростить систему уравнений для первичного анализа. Была проведена серия лабораторных экспериментов, направленных на оценку точности теоретических предсказаний. В ходе исследования варьировались ключевые параметры: давление вытесняющей жидкости и отношение вязкостей фаз. Дополнительно исследовались режимы устойчивого вытеснения для слабо-смешивающихся жидкостей.

Сравнение полученных экспериментальных данных с теоретическими моделями выявило систематические отклонения. Для устранения данных расхождений и повышения предсказательной способности модели было предложено ввести коэффициенты коррекции, основанные на экспериментальных результатах. В работе исследовано влияние данных коэффициентов на теоретические предсказания при различных условиях. Модификация уравнений течения с учетом полученных поправок позволяет более точно описывать реальную динамику фронта вытеснения и учитывать эффекты, которые игнорируются в базовой теории.

Данное исследование направлено на повышение точности математического моделирования процессов вытеснения в ограниченных геометриях. Полученные результаты и уточненная

модель могут иметь широкое практическое применение для оптимизации промышленных процессов. В частности, они способствуют развитию методов увеличения нефтеотдачи пластов, повышению эффективности вторичной добычи, решению задач очистки грунтовых вод, а также совершенствованию микрофлюидических технологий, где критически важно контролируемое перемещение жидкостей.

Источники и литература

- 1) Зубков А. Ф., Логвинов О. А. – Вытеснение вязкой жидкости из ячейки Хеле-Шоу. // Москва: Издательство Московского Университета, 2019. – 20 с;
- 2) Скрылёва Е. И., Никитин В. Ф., Логвинов О. А., Смирнов Н. Н. – Фильтрационные течения в пористых средах. Монография. // Москва: Изд-во ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН, 2020. – 73 с;
- 3) Басниев К. С., Власов А. М., Кочина И. Н., Максимов В. М. – Подземная гидравлика: Учебник для вузов. // Москва: Недра, 1986. – 303 с;
- 4) Skryleva E.I., Smirnova M.N., Paremskaya L.A., Manakhova A.N., Galiullina A.R., Egorova A.D., Chilingaryan M.Yu - Using the Hele-Shaw cell to simulate multiphase flows under microgravity conditions//United Kingdom: Pergamon Press Ltd., 368-376pp

Иллюстрации

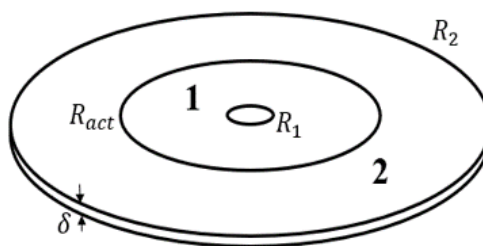


Рис. : 1. Схема радиальной ячейки Хеле-Шоу при устойчивом вытеснении двух жидкостей.