

0.1. Трусов К.В. Фильтрация двухфазных жидкостей с диффузной межфазной границей

Результаты многочисленных физических экспериментов и соответствующей цифровой 3D-обработки кернов свидетельствуют о надежности математических моделей многофазных течений, основанных на понятии фазового поля, уравнениях Навье — Стокса и Кана — Хиллиарда. Однако для прогнозирования характера течений в больших объемах пористой среды учет сложной системы микроканалов приводит к вычислительным трудностям. Поэтому развиваются методы осреднений уравнений Навье — Стокса и Кана — Хиллиарда.

Наиболее распространенным и действенным подходом к усреднению уравнений в неоднородных средах является метод двухмасштабных разложений. Применение этого метода обусловлено тем, что процессы в порах и кернах отличаются пространственно-временными масштабами. Теория двухмасштабной гомогенизации позволяет математически разделить эти масштабы с помощью макро- и микроуравнений.

С помощью метода двухмасштабной гомогенизации примененного к системе уравнений Навье — Стокса и Кана — Хиллиарда получены выражения для скоростей фаз в случае сильной и слабой смесимости. Сила смесимости определяется корреляцией между параметром масштаба и поверхностным натяжением.

Макроскопическая скорость фронта вытеснения определяется разницей давлений и капиллярными эффектами. Показано, что вытеснение может осуществляться в отсутствие перепада давлений: только за счёт капиллярных сил. Такой результат был получен и в случае сильной смесимости.

В пределе тонкой межфазной границы решена автоточная задача противоточной капиллярной пропитки с помощью пакета Wolfram Mathematica. По результатам вычислений видно, что в случае тонкой межфазной границы пропитка происходит быстрее, чем в случае диффузной межфазной границы. В среде FreeFem++ реализована программа для вычисления капиллярной диффузионной энергии на ячейке периодичности в пределе тонкого межфазного слоя методом конечных элементов. Методом Левенберга — Марквардта построены кривые, аппроксимирующие зависимость энергии от насыщенности.

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта "Современные модели гидродинамики для задач природопользования, промышленных систем и полярной механики" (2024-26) (гос. задание FZMW-2024-0003)

Научный руководитель — д.ф.-м.н. Шелухин В. В.

Список литературы

- [1] Шелухин В.В., Крутько В.В., Трусов К.В. Фильтрация сильно смешиваемых жидкостей на основе двухмасштабной гомогенизации уравнений Навье-Стокса и Кана-Хиллиарда // Прикладная механика и техническая физика. 2023. Т. 64. № 3 (379). С. 161–173.
- [2] AMIRAT Y., SHELUKHIN V., TRUSOV K. Flows of Two Slightly Miscible Fluids in Porous Media: Two-Scale Numerical Modeling // Transport in Porous Media . 2024. Vol. 151. P. 1423–1452.