

Распределение давления и геометрия вязких пальцев в неустойчивом вытеснении вязких жидкостей из радиальной ячейки Хеле-Шоу

Научный руководитель – Скрылёва Евгения Игоревна

Паремская Лусине Акоповна

Сотрудник

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

E-mail: lusine.paremskaya@gmail.com

Проведено численное моделирование многослойного вытеснения вязких жидкостей из радиальной ячейки Хеле-Шоу с источником методом сквозного счета. Движение жидкостей описывается единой системой уравнений Дарси с переменной по пространству динамической

вязкостью, зависящей от объемных концентраций. Для концентраций записывались уравнения конвективной диффузии. Зависимость вязкости от концентраций для жидкостей близкой химической природы считается степенной.

Рассматривается движение трех вязких жидкостей, где каждая жидкость вытесняется менее вязкой жидкостью. Таким образом, на каждой из границ раздела жидкостей наблюдается развитие неустойчивости Саффмана-Тейлора. Продемонстрированы результаты расчетов, где отношение вязкостей на первой границе раздела больше, чем на внешней границе раздела. Показана картина вытеснения в разные моменты времени. Очевидно, что на обеих границах раздела образуются вязкие пальцы. Но, поскольку отношение вязкостей на внутренней границе раздела больше, чем на внешней, видно, что нестабильность развивается быстрее на внутренней границе, и, соответственно, пальцы достигают каналов, образованных пальцами внешней границы, и, увеличивая свою скорость, продолжают свое развитие.

Со временем (рисунок 1) первая жидкость прорывается через границу раздела второй и третьей жидкостей, и наблюдается просачивание вязких пальцев первой жидкости через вторую жидкость в третью (моменты времени 20 с и 25 с). На рисунке 2 выделены области, где можно заметить увеличение скорости потока вытесняющей жидкости в каналах пальцев, которые уже достигли внешней границы ячейки и, соответственно, не имеют препятствий на пути движения. В моменты времени 89 с и 90 с (рисунок 3) демонстрируется распределение давления в ячейке Хеле-Шоу, когда два доминантных пальца достигли края ячейки. На рис. 4 показаны состояния давления, где состояние давления и вязкие пальцы отображаются одновременно. Давление в области, где пальцы достигли внешней границы ячейки, равно одной атмосфере, как и в исходных условиях моделирования.

Источники и литература

- 1) Смирнов Н.Н., Никитин В.Ф., Коленкина (Скрылева) Е.И., Газизова Д.Р. Эволюция поверхности раздела фаз при вытеснении вязких жидкостей из пористой среды. Известия Российской академии наук. Механика жидкости и газа. 2021. № 56 С. 80-93
- 2) Skrylyova E.I.1, Paremskaya L.A.1, Manakhova A.N.1, Tyurenkova V.V.1, Chen F., Meng Yu Characteristic Features of Modeling Multiphase Flows in the Hele-Shaw Cell. Journal of Engineering Physics and Thermophysics, Springer Nature (Switzerland), 2024 T.97. № 7. С. 1854-1861.

- 3) Skryleva E.I., Smirnov N.N., Mikhailchenko E.V., Paremskaya L.A., Manakhova A.N., Chen F., Meng Y., Modeling of microgravity conditions on earth in the study of multiphase flows, Acta Astronautica, Pergamon Press Ltd. (United Kingdom), 2024, T. 224, C. 449- 457
- 4) Паремская (Мелкумян) Л. А. Образование вязких пальцев на межфазных границах при совместном вытеснении трех вязких жидкостей из пористой среды, Успехи кибернетики. 2023. Т. 4, № 4. С. 22–31.
- 5) Smirnov, N.N., Legros, J.C., Nikitin, V.F., Istasse, E., Schramm, L., Wassmuth, F., Hart, D.A. Filtration in artificial porous media and natural sands under microgravity conditions Microgravity Science and Technology, 2003, v.14 (2), pp. 3-28.
- 6) А. В. Звягин, О. Е. Ивашнев, О. А. Логвинов, О влиянии малых параметров на структуру фронта неустойчивого вытеснения вязкой жидкости из ячейки Хеле-Шоу, Изв. РАН. Механ. жидкости и газа, 2007. No4. 27-37
- 7) Баренблатт Г.И., Ентов В.М., Рыжик В.М. Движение жидкостей и газов в природных пластах. Монография. 1984
- 8) Using the Hele-Shaw cell to simulate multiphase flows under microgravity conditions Skryleva E.I., Smirnova M.N., Paremskaya L.A., Manakhova A.N., Galiullina A.R., Egorova A.D., Chilingaryan M.Yu в журнале Acta Astronautica, издательство Pergamon Press Ltd. (United Kingdom), том 238, с. 368-376 DOI
- 9) Xuan Li, Kevin Worrall, Aditya Vedanthu, Andrew Scott-George, Patrick Harkness, The pulse-elevator: a pump for granular materials, Acta Astronautica, 2022, pp.33–41

Иллюстрации

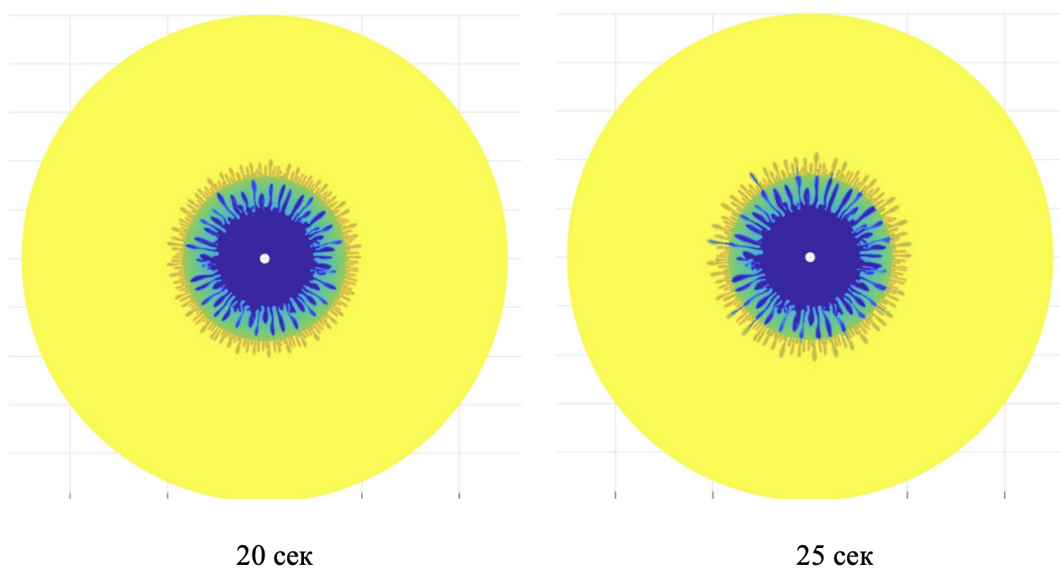


Рис. : Рис. 1 Результаты численного моделирования трехфазного неустойчивого потока в ячейке Хеле-Шоу в моменты времени 20 сек и 25 сек.

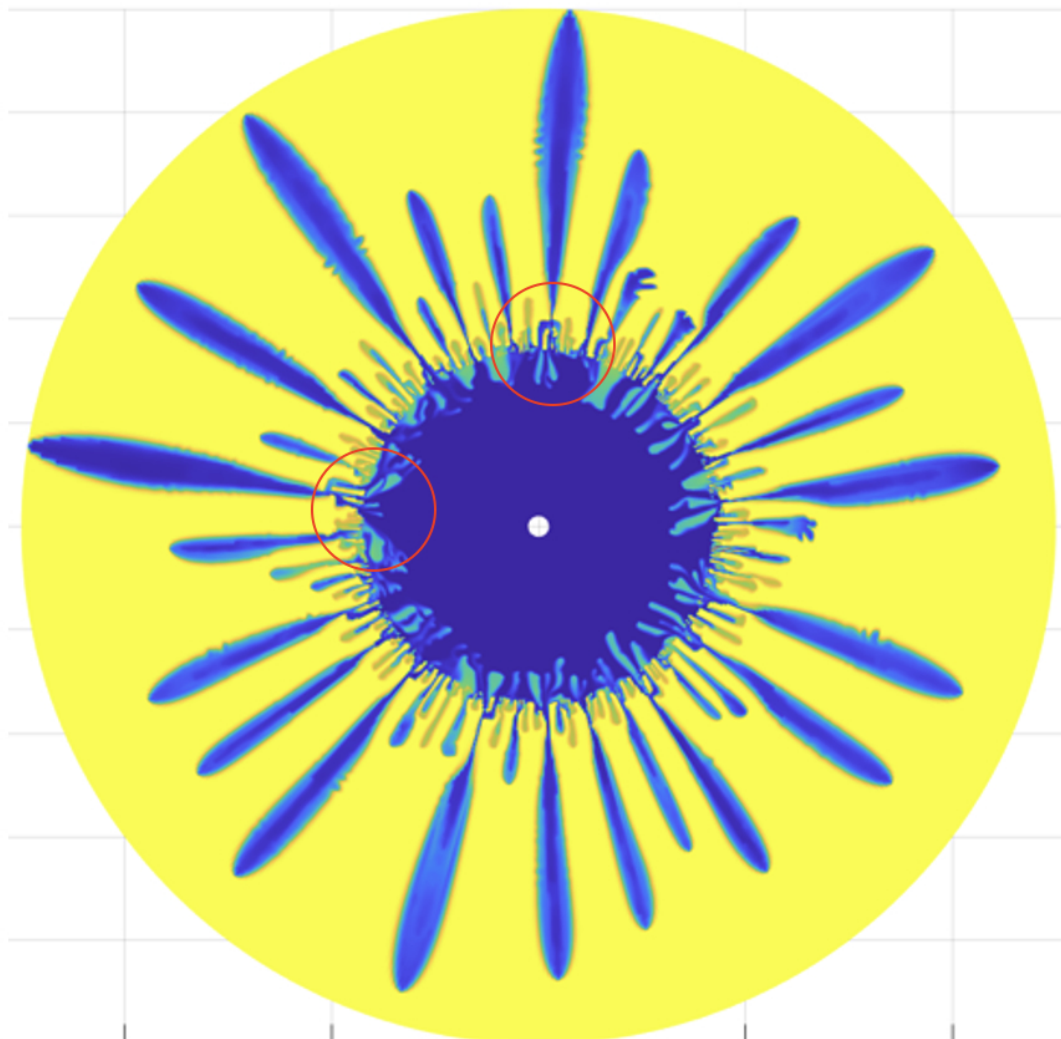


Рис. : Рис. 2 Результат численного моделирования трехфазного неустойчивого потока в ячейке Хеле-Шоу в момент времени 90 сек. Области смывания вытесняющей жидкости.

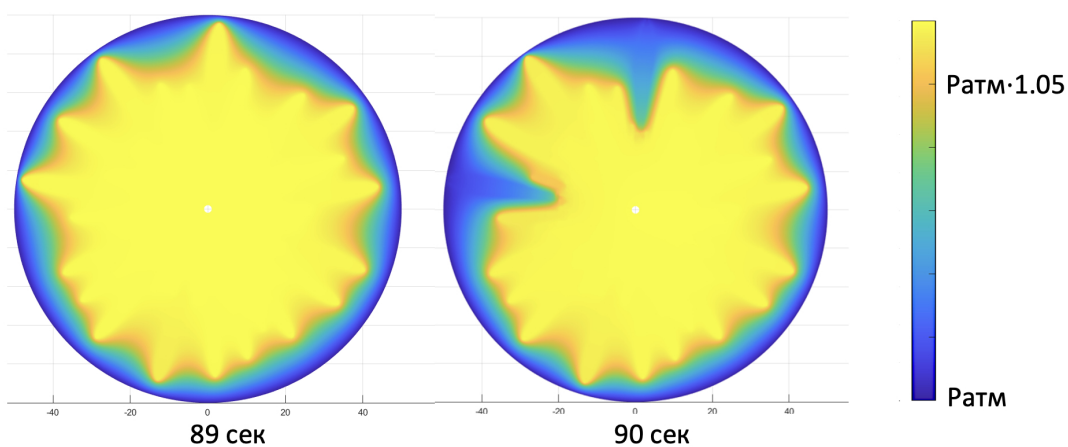


Рис. : Рис. 3 Распределение давления в ячейке Хеле-Шоу в моменты времени 89 сек и 90 сек; где P_{atm} — одна атмосфера.

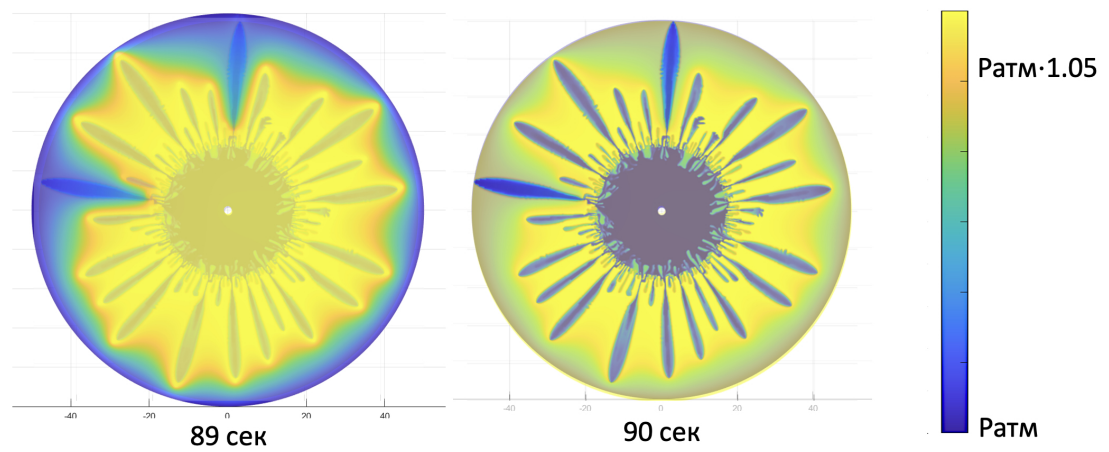


Рис. : Рис. 4 Результат численного моделирования трехфазного неустойчивого потока в ячейке Хеле-Шоу, где состояние давления и «пальцы» отображаются одновременно в моменты времени 89 сек и 90 сек; где P_{atm} — одна атмосфера.