

Численное моделирование многослойного вытеснения вязких жидкостей из ячейки Хеле-Шоу с источником

Научный руководитель – Скрылева 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 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 в полярных координатах. имеют вид с переменной вязкостью. Для концентраций записывались уравнения конвективной диффузии. Зависимость вязкости от концентраций для жидкостей близкой химической природы считается степенной.

Расчёты были проведены для трехфазного неустойчивого вытеснения вязких жидкостей из радиальной ячейки Хеле-Шоу. Каждая жидкость вытесняется менее вязкой жидкостью. Наблюдается развитие неустойчивости Саффмана-Тейлора на каждой из границ раздела жидкостей. Представлены результаты расчета, где отношение вязкостей на первой межфазной границе больше, чем на внешней границе раздела. Видно, что на обеих межфазных границах образуются вязкие пальцы. Так как на внутренней границе отношение вязкостей больше, чем на внешней границе, можно заметить, что развитие неустойчивости на внутренней происходит быстрее, чем на внешней и, соответственно, пальцы доходят до каналов, образованных пальцами внешней границы и увеличивая скорость продолжают своё развитие.

Представлены результаты расчета, где на внутренней границе отношение вязкостей много больше (на два порядка), чем на внешней границе. Можно заметить, что развитие неустойчивости на внутренней межфазной границе происходит медленнее и образованные вязкие пальцы имеют отличную от прямолинейных форм структуру. Современем первая жидкость прорывается через границу раздела второй и третьей жидкостей и наблюдается просачивание "вязких пальцев" первой жидкости через слой второй жидкости в слой третьей.

Результаты численного моделирования качественно соответствуют экспериментальным данным. В случае, когда вязкая жидкость вытесняется менее вязкой на фронте вытеснения развивается неустойчивость Саффмана-Тейлора, в обратном случае вытеснение устойчиво. Продемонстрировано смывание жидкости в канал вязкого пальца, который достиг края ячейки и более не имеет препятствий продвижению. Нестабильность возникает на обеих поверхностях раздела жидкостей. Пальцы, образующиеся на внутренней границе раздела, обгоняют внешнюю и проникают в вязкую вытесняемую жидкость.

Работа выполнена при поддержке РНФ (грант № 24-71-10026)

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., Mikhachenko 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, С. 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) P. Daripa and C. Gin, Studies on Dispersive Stabilization of Porous Media Flows. Department of Mathematics, Texas A& M University, College Staаon, 2016
- 6) 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
- 7) 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.
- 8) 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
- 9) Баренблатт Г.И., Ентов В.М., Рыжик В.М. Движение жидкостей и газов в природных пластах. Монография. 1984

Иллюстрации

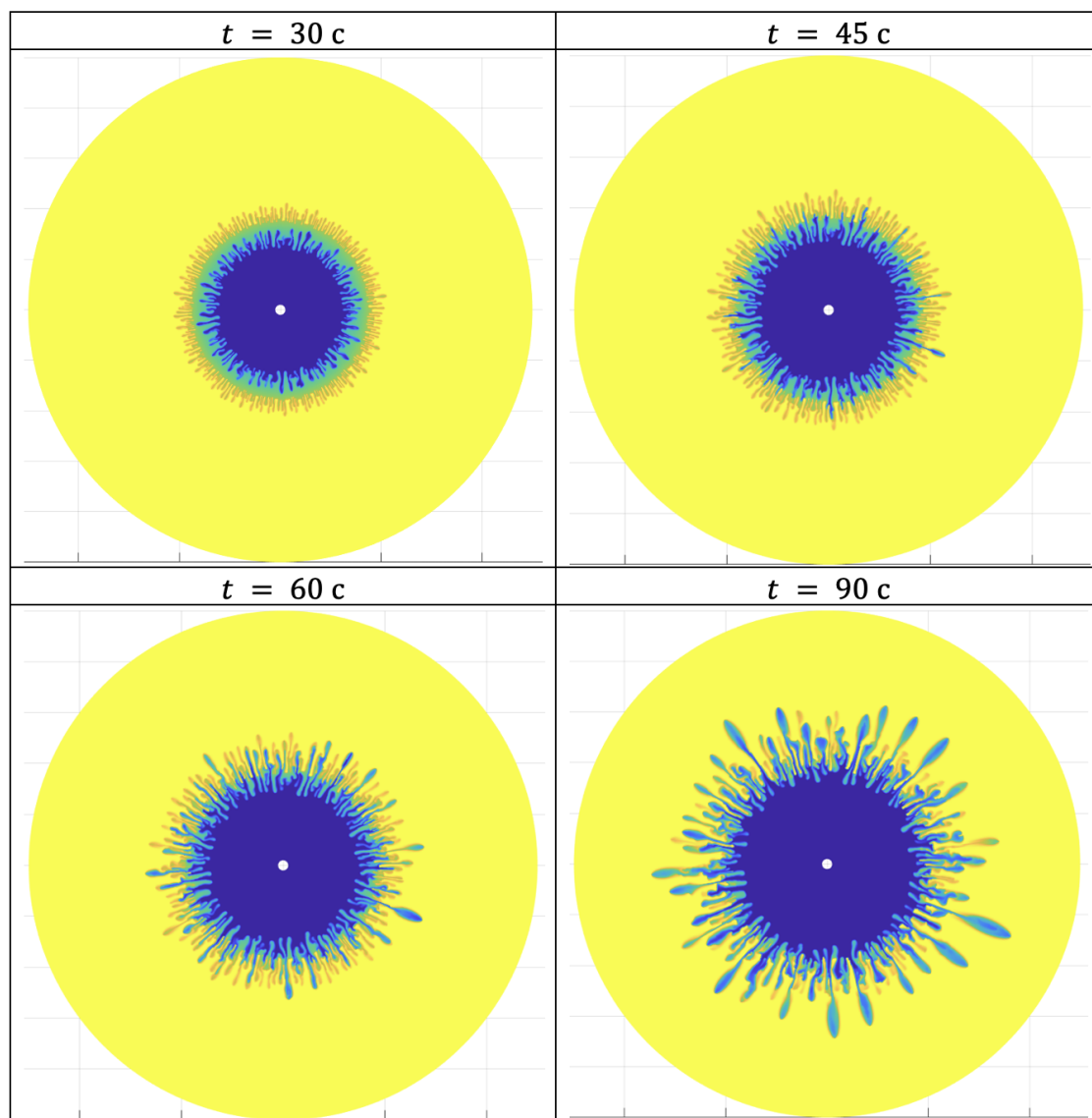


Рис. : Результаты расчета №1 численного моделирования совместного вытеснения трех вязких жидкостей из радиальной ячейки Хеле-Шоу.

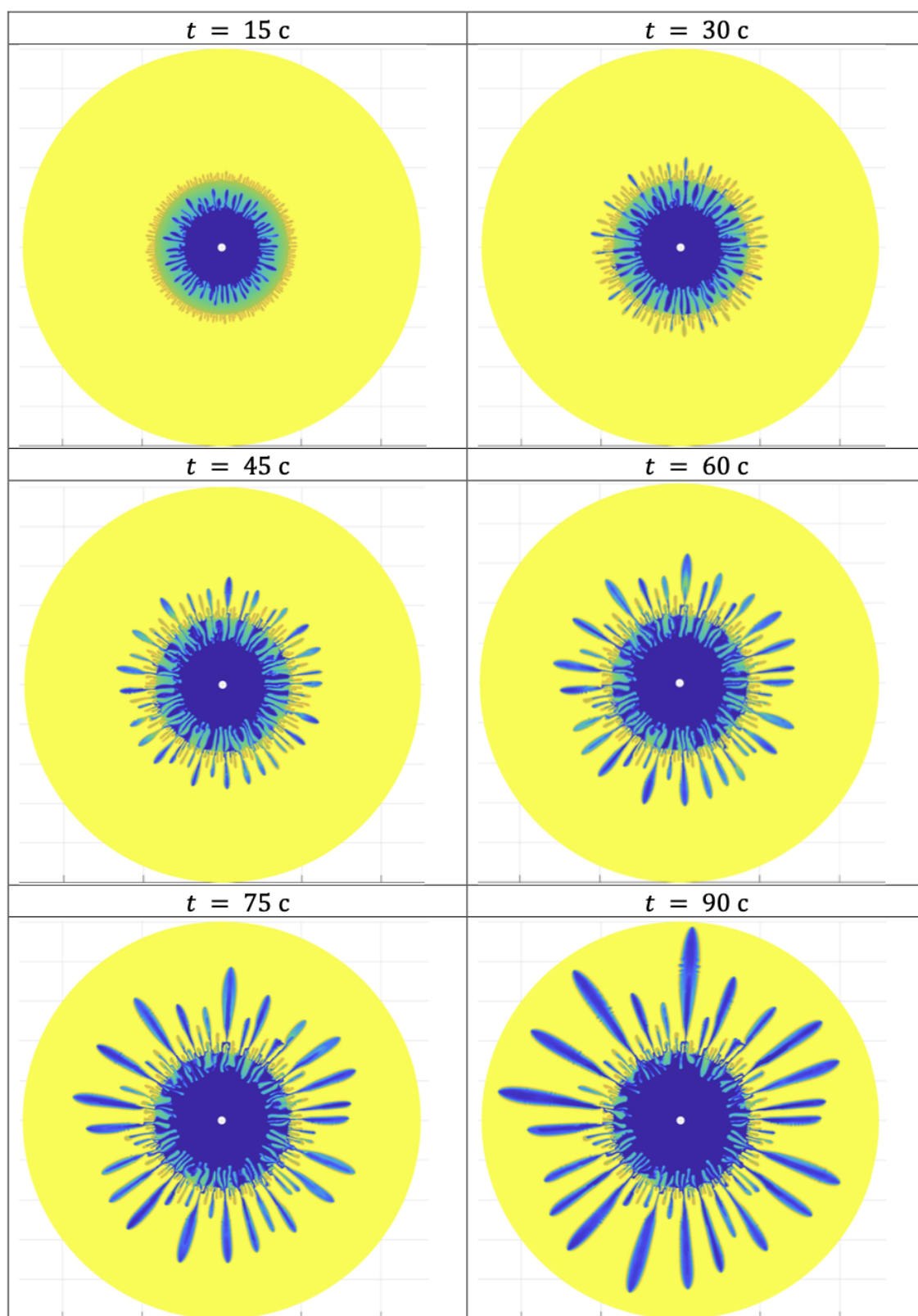


Рис. : Результаты расчета №2 численного моделирования совместного вытеснения трех вязких жидкостей из радиальной ячейки Хеле-Шоу.

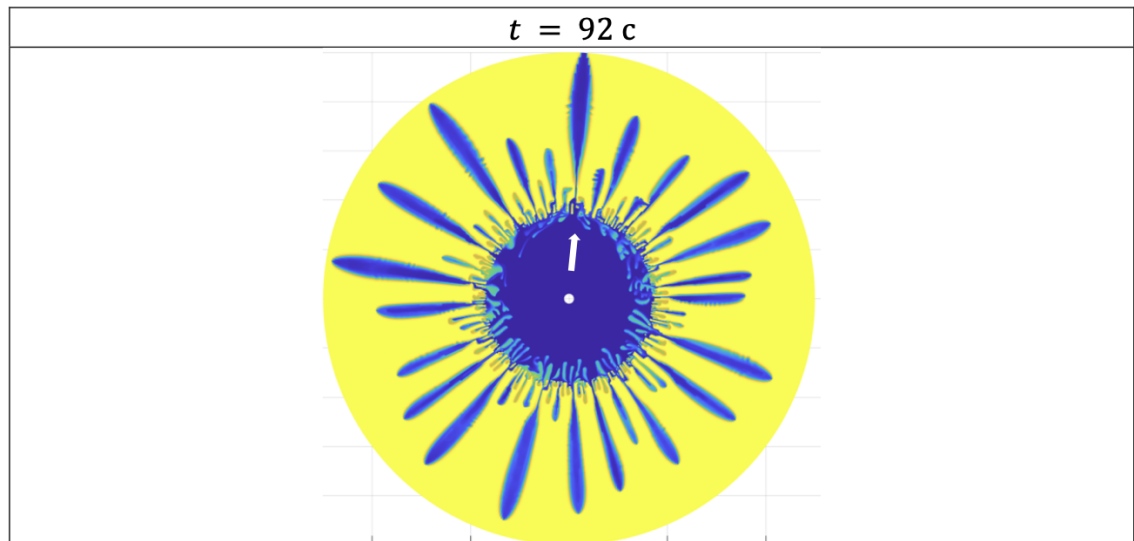


Рис. : Результаты расчета №3 численного моделирования совместного вытеснения трех вязких жидкостей из радиальной ячейки Хеле-Шоу.

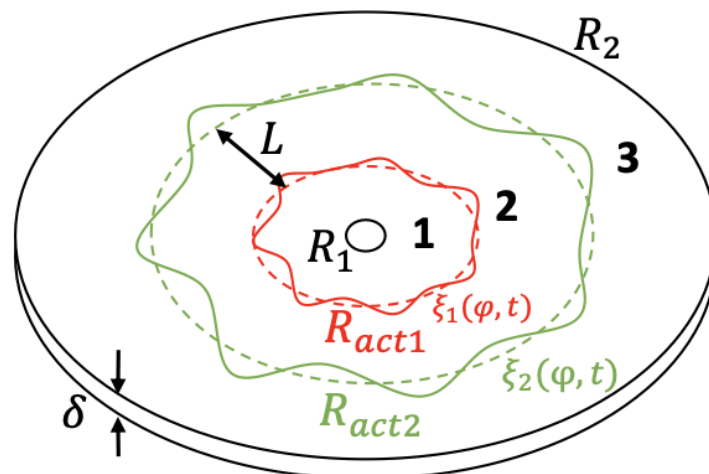


Рис. : Трёхмерная геометрия вытеснения из ячейки Хеле-Шоу. Вытесняющая жидкость «1» поступает через отверстие в верхней пластине радиуса R_1 . Радиус пластин ячейки – R_2 .

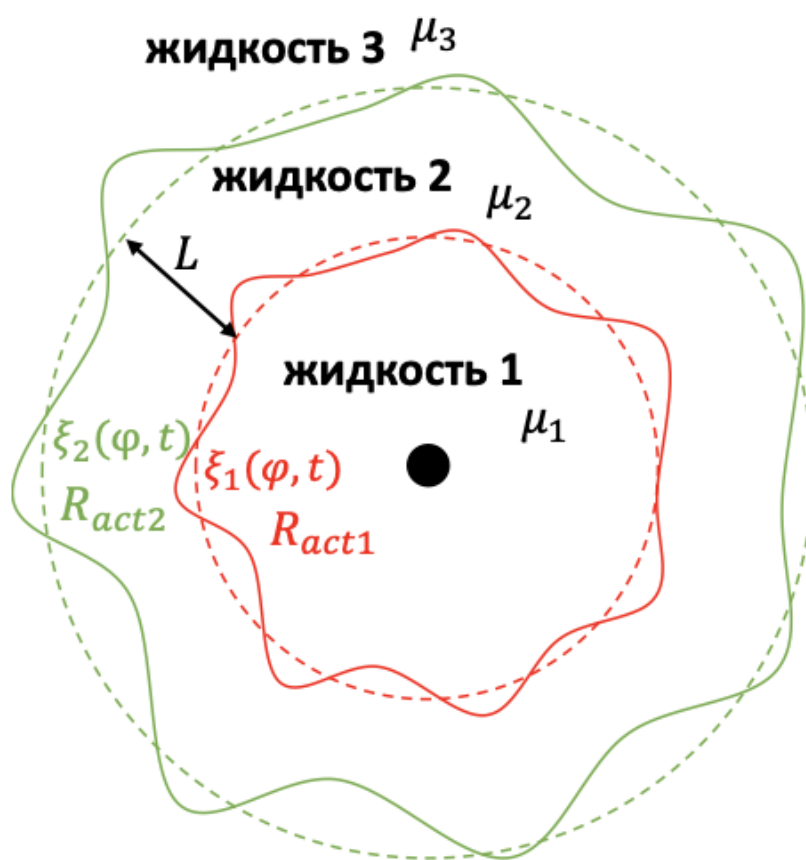


Рис. : Двумерная схема вытеснения в бесконечной области с точечным источником.

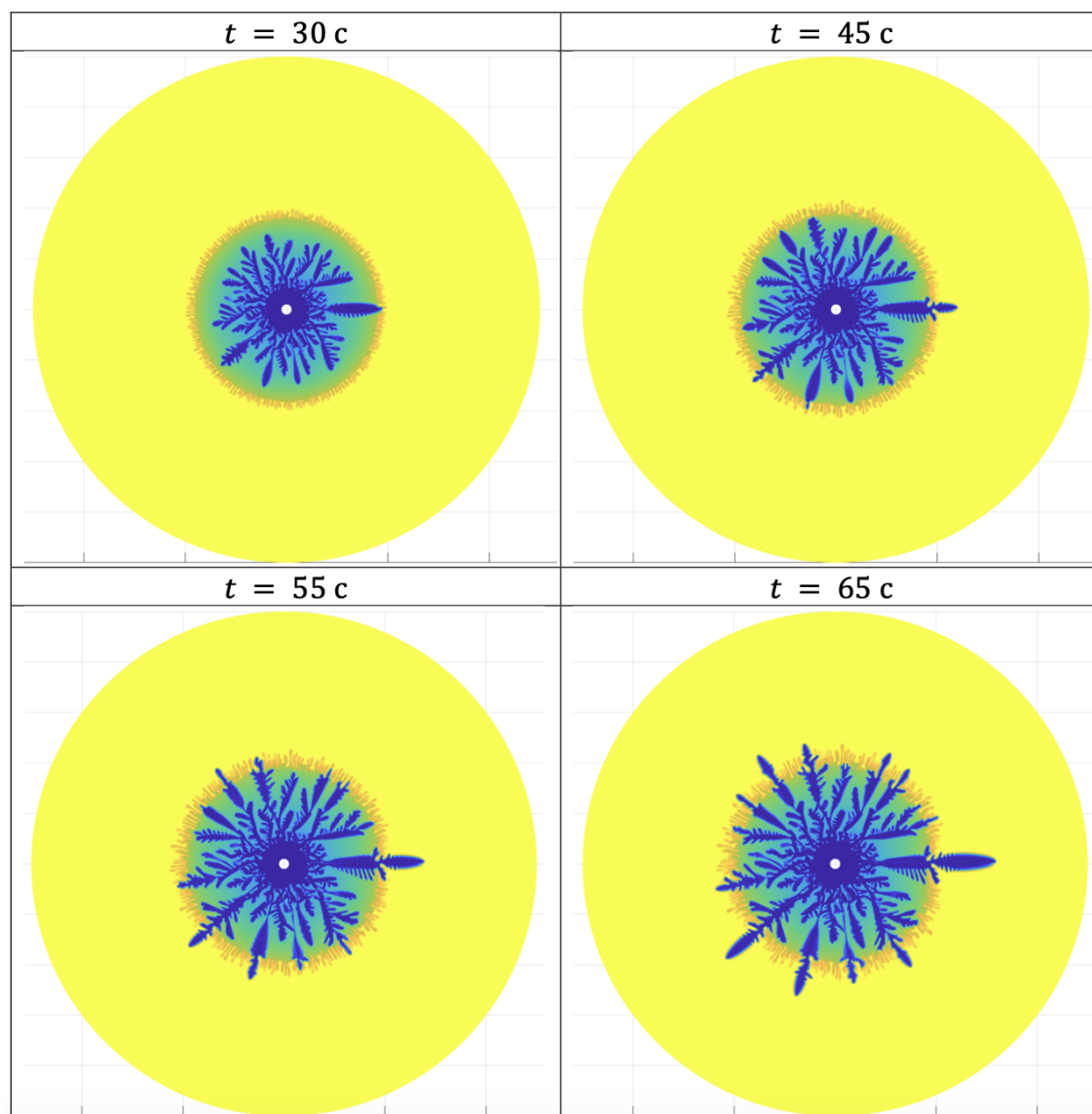


Рис. : Результаты расчета №4 численного моделирования совместного вытеснения трех вязких жидкостей из радиальной ячейки Хеле-Шоу.