

РАЗВИТИЕ И ПРИМЕНЕНИЕ РЕГУЛЯРИЗОВАННЫХ МЕТОДОВ ТИПА ФАЗОВОГО ПОЛЯ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ МИКРОТЕЧЕНИЙ МНОГОФАЗНЫХ ЖИДКОСТЕЙ

В.А. Балашов, Е.Б. Савенков

ИПМ им. М.В. Келдыша РАН, г. Москва

vladislav.balashov@gmail.com, e.savenkov@gmail.com

Многофазные микротечения широко встречаются в природе и промышленности. В контексте нефтегазовой промышленности одной из технологий, в которой моделирование таких процессов играет основное значение, является «цифровой керн». Ее цель состоит в дополнении классических лабораторных исследований образцов горной породы (керн) вычислительным экспериментом.

Доклад посвящен моделям типа фазового поля. В моделях этого класса межфазная граница представляется тонким слоем конечной толщины, в пределах которого происходит «быстрое», но гладкое изменение свойств среды. Соответствующие методы основаны на использовании специальной функции, называемой параметром порядка, которая играет роль индикатора фазы. В качестве параметра порядка может выступать одна или несколько из характеристик среды (например, плотность или концентрация) или же некая искусственно введенная переменная. Характер взаимодействия фаз определяется специальным видом свободной энергии Гельмгольца, зависящей как от параметра порядка, так и от его пространственных производных. При этом зависимость от параметра порядка является невыпуклой. Указанный специальный вид свободной энергии определяет толщину межфазной границы и коэффициент поверхностного натяжения.

Особенностью развиваемых моделей является наличие регуляризации: массовая плотность потока смеси в общем случае отличается от среднего импульса единицы объема. Это предположение лежит в основе «квазигидродинамической» регуляризации. Оно приводит к возникновению малых дополнительных диссипативных слагаемых в исходных уравнениях. Регуляризирующие слагаемые улучшают свойство численной устойчивости явных разностных алгоритмов, в которых пространственные производные аппроксимированы центральными разностями. В докладе рассмотрены описанные математические модели и их разностная аппроксимация. Приведены результаты моделирования, демонстрирующие работоспособность развиваемых подходов. На рисунках 1 и 2 приведены примеры моделирования двухфазных течений в канале с гидродинамической фокусировкой и в поровом пространстве образца горной породы.

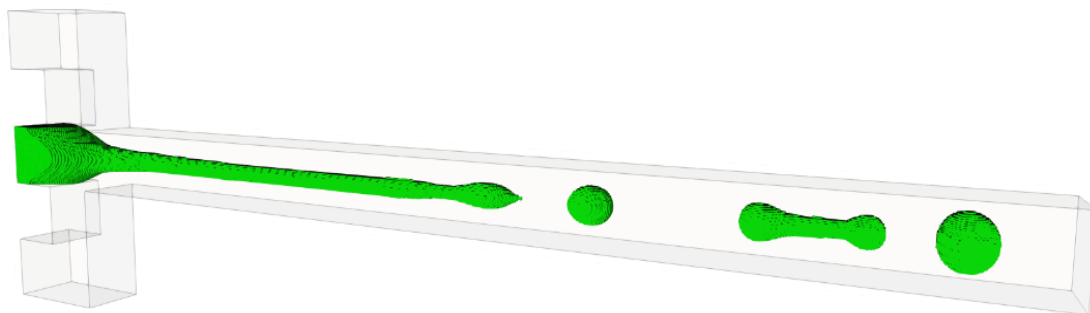


Рис. 1. Двухфазное течение в микроканале с гидродинамической фокусировкой.

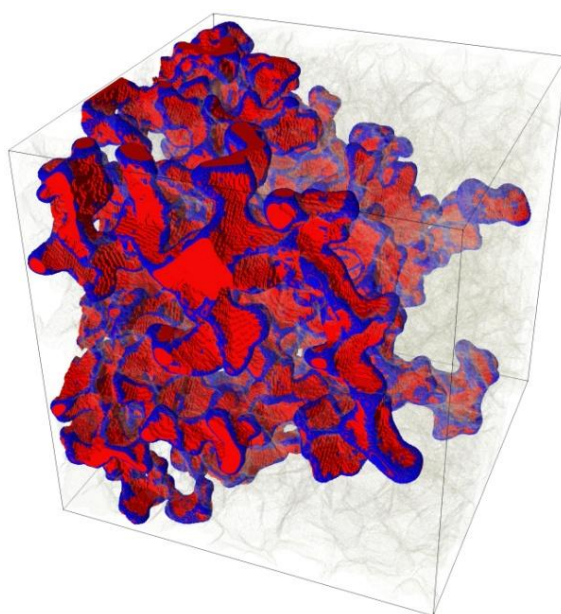


Рис. 2. Двухфазное течение в поровом пространстве образца горной породы.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда, проект № 22-11-00203.

Список литературы:

1. Berg C.F., Lopez O., Berland H. Industrial applications of digital rock technology // *Journal of Petroleum Science and Engineering*. 2017. V. 157. P. 131–147.
2. Балашов В.А., Савенков Е.Б., Четверушкин Б.Н. Вычислительные технологии программного комплекса DiMP-Hydro для моделирования микротечений // *Матем. моделирование*. 2019. Т. 31. № 7. С. 21–44.
3. Balashov V.A. Dissipative spatial discretization of a phase field model of multiphase multicomponent isothermal fluid flow // *Computers and Mathematics with Applications*. 2021. V. 90.
4. Balashov V.A., Savenkov E.B. Thermodynamically consistent spatial discretization of the one-dimensional regularized system of the Navier–Stokes–Cahn–Hilliard equations // *Journal of Computational and Applied Mathematics*. 2020. V. 372.