

Численное моделирование высокого разрешения перехода от волнового распространения фронта пористости до гидроразрыва в обстановке растяжения

Глазов Станислав Николаевич

Студент (специалист)

Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова,
Механико-математический факультет, Кафедра вычислительной механики, Москва,
Россия

E-mail: mr.stas-ak-47@yandex.ru

В наше время вычислительная механика ставит перед специалистами множество задач, которые включают в себя одновременное взаимодействие гидрологических, тепловых, химических и механических процессов. Решение задач включающих взаимодействия такого рода позволит предсказывать быструю и нелинейную эволюцию природных систем с большой точностью.

Нелинейная зависимость проницаемости от пористости способствует возникновению распространения аномалий пористости и проницаемости как уединённых волн [1][2]. В процессе распространения аномалии пористости происходит рост пористости до некоторого максимального значения, которое сменяется снижением пористости до начальных, невозможных значений пористости. Добавление растягивающей нагрузки приводит к тому, что максимальное значение приближается к 100% пористости [3], матрица, содержащая поровый флюид, теряет сплошность и переходит в трещину, заполненную флюидом. Такое явление можно классифицировать как «гидроразрыв». Моделирование распространения гидравлических трещин в пористой среде представляет собой серьёзную вычислительную задачу с приложениями в области наук о Земле и инженерии [4].

Благодаря сильной локализации получаемых решений во времени и пространстве необходимо высокое разрешение математических моделей, как временное, так и пространственное [2]. Следовательно, требуется получить значительное ускорение расчетов, производя вычисления не на центральном процессоре компьютера, а с использованием параллельного вычисления на CUDA ядрах видеокарты (технология Nvidia CUDA).

Работа содержит численное моделирование волн пористости и моделирование распространения гидравлических трещин в пористой среде с учётом гидромеханических уравнений методом конечных разностей. Результат работы - скрипт в пакетах программ Matlab/Octave и код, написанный на языке C, решающий аналогичную задачу, но с применением технологии параллельных вычислений. Результаты работы на GPU дают многократное ускорение расчётов, по сравнению с работой на CPU, а различие в ответе приблизительно равно машинной ошибке вычислений. Программа на языке Matlab осуществляет численное решение сопряжённой нелинейной термо-гидро-хемо-механической задачи, моделирующей явление распространения солитарных аномалий пористости в обстановке растяжения, затем производит запуск аналогичной программы на языке C с использованием технологии NVIDIA CUDA (Compute Unified Device Architecture) параллельных вычислений на видеокарте, сравнивает полученные результаты и скорости работы реализованных методов.

Полученный расчетный комплекс используется для систематических расчетов вариантов эволюции модельной системы, при варьировании некоторых основных безразмерных параметров, с целью построения фазовой диаграммы возможных режимов течения.

Источники и литература

- 1) Räss L., Simon N. S. C., Podladchikov Y. Y. Spontaneous formation of fluid escape pipes from subsurface reservoirs //Scientific reports. – 2018. – Т. 8. – №. 1. – С. 1-11.
- 2) Räss L., Duretz T., Podladchikov Y. Y. Resolving hydromechanical coupling in two and three dimensions: spontaneous channelling of porous fluids owing to decompaction weakening //Geophysical Journal International. – 2019. – Т. 218. – №. 3. – С. 1591-1616.
- 3) Yarushina V. M., Podladchikov Y. Y., Connolly J. A. D. (De) compaction of porous viscoelastoplastic media: Solitary porosity waves //Journal of Geophysical Research: Solid Earth. – 2015. – Т. 120. – №. 7. – С. 4843-4862.
- 4) Santillán D., Juanes R., Cueto-Felgueroso L. Phase field model of hydraulic fracturing in poroelastic media: Fracture propagation, arrest, and branching under fluid injection and extraction //Journal of Geophysical Research: Solid Earth. – 2018. – Т. 123. – №. 3. – С. 2127-2155.