

Некоторые результаты численной оценки эффективных упругих и пороупругих свойств горных пород по данным компьютерной томографии на графических процессорах.

Научный руководитель – Яковлев Максим Яковлевич

Луценко Павел Вячеславович

E-mail: pavel.lutcenko@math.msu.ru

Керн представляет собой образец горной породы, извлеченный из скважины с помощью бурения. Эффективные механические свойства кернов изучаются для прогнозирования поведения горной породы в процессе разработки месторождения полезных ископаемых. Для оценки механических характеристик кернов существуют методики их натуральных испытаний. Такие методики реализуются в ходе лабораторных экспериментов, которые требуют дорогостоящего оборудования и зачастую предполагают разрушение керна в ходе исследований.

Альтернативой является численная оценка эффективных упругих свойств горной породы. Существует метод компьютерной томографии, позволяющий исследовать внутреннюю структуру керна. Результатом томографии является цифровая модель керна, состоящая из вокселей, каждый из которых содержит информацию о минерале, располагающемся в соответствующей части керна.

В работе оценка эффективных упругих свойств производится путём численного решения серии краевых задач линейной теории упругости на представительном объёме керна. Каждая краевая задача решается методом конечных разностей на регулярной декартовой сетке (совпадающей с исходной воксельной моделью) в сочетании с методом установления с явной схемой по времени. Такая методика позволяет проводить расчёты на воксельных моделях керна больших размеров с минимальными затратами оперативной памяти. Кроме того, расчёт несложно и очень эффективно распараллеливается. В работе реализовано распараллеливание вычислительного процесса при помощи технологии CUDA с целью проведения расчётов на графических процессорах.

В докладе приведены результаты расчётов эффективных упругих свойств для различных фрагментов керна из песчаника. Осуществляется выбор представительного объёма керна, проводится анализ эффективных свойств в зависимости от выбранного для расчёта фрагмента.

Кроме того, приводятся результаты численной оценки эффективного коэффициента Био пористого материала. Оценка производится путём проведения расчёта на представительном объёме материала. Внешняя граница представительного объёма жёстко фиксируется, а к поверхности пор прикладывается давление. Краевая задача теории упругости с данными граничными условиями решается численно, с помощью технологии CUDA. Поле напряжений, полученное в результате решения, осредняется по объёму. Эффективный коэффициент Био вычисляется из осреднённого тензора напряжений. Сравнение численных результатов для эффективного коэффициента Био с аналитическим решением проведено на простейшей модели - кубе со сферической полостью. Для разных пористостей и для разных коэффициентов Пуассона материала показано, что погрешность составляет не более 5%.

Источники и литература

- 1) Вершинин А.В., Улькин Д.А., Яковлев М.Я. Вариант численной оценки эффективных механических характеристик керна с помощью САЕ-системы FIDESYS // В сб. "XI Всероссийский съезд по фундаментальным проблемам теоретической и прикладной механики", Казань, 2015. – С. 744–746.
- 2) М. Я. Яковлев, А. А. Семькин, В. А. Левин. Метод и некоторые результаты численной оценки эффективного коэффициента Био горных пород // Чебышевский сборник, 2022, т. 23, вып. 4, с. 382–393.