

Исследование влияния внутреннего (порового) давления на эффективные механические свойства керна

Научный руководитель – Яковлев Максим Яковлевич

Быстров Иван Дмитриевич

Студент (специалист)

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

E-mail: ibistrov90@icloud.com

В работе исследуется влияние внутреннего (порового) давления на эффективные механические свойства керна [1] - образца горной породы, полученного из глубины земли при помощи специального вида бурения. Оценка эффективных свойств керна [2] проводится численно, с помощью программного модуля Fidesys Composite отечественного прочностного программного пакета «Фидесис». Моделирование керна в САЕ Fidesys проводится с помощью специально разработанного программного модуля [3], который, основываясь на данных компьютерной томографии [4] строит структурированную гексаэдральную сетку (каждый элемент которой соответствует вокселю исходной модели).

Приложение внутреннего давления к керну осуществляется при помощи недавно разработанного расширения вышеуказанного программного модуля. Это расширение позволяет составить список свободных внутренних граней керна, определить их ориентацию, и приложить к ним давление требуемой величины. Данные о сетке и приложенном давлении записываются в файл формата FC (Fidesys Case), что позволяет провести расчет эффективных свойств. Задача определения эффективных свойств решается численно, путем расчета на представительном объеме.

В ходе исследования строились сетки для фрагмента однородного керна (материал - песчаник) размером 100x100x100 вокселей, к каждой сетке прикладывалось внутреннее давление из промежутка 0-40 Гпа. На промежутке 0-1 Гпа - с шагом 0.1, на промежутке 1-35 Гпа - с шагом 1, на промежутке 35-40 Гпа - с шагом 0.5. Всего было проведено 54 измерения, в каждом случае вычислялись модули упругости для анизотропного, ортотропного и изотропного случая. Полученные результаты (записанные в текстовом формате json) были визуализированы с помощью библиотеки matplotlib языка Python. Был выявлен линейный характер зависимости модуля Юнга (прямо пропорционален) и коэффициента Пуассона (обратно пропорционален) от внутреннего давления, обнаружена граница изотропии керна (35 Гпа). В дальнейшем планируется провести исследование эффективных свойств фрагмента керна размера 250x250x250 вокселей.

Исследование выполнено за счёт гранта Российского научного фонда (проект №19-71-10008).

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) Яковлев М.Я., Вдовиченко И.И., Улькин Д.А., Вершинин А.В., Сбойчаков А.М. Об оценке эффективных механических и теплофизических характеристик полноразмерных образцов керна // Материалы научно-практической конференции «Суперкомпьютерные технологии в нефтегазовой отрасли. Математические методы, программное и аппаратное обеспечение», 16-17 февраля 2017 года, МГУ имени М.В. Ломоносова. – С. 180–185.
- 3) Быстров И.Д. Построение гексаэдральной сетки для керна по его цифровой модели и численная оценка его эффективных механических свойств с помощью CAE Fidesys // XXVII Международная конференция студентов, аспирантов и молодых учёных «Ломоносов», Секция «Математика и механика», Москва, Россия, 2020.
- 4) Maxim Yakovlev, Anatoly Vershinin, Vladimir Levin, Konstantin Zingerman, Dmitry Konovalov. Application of Finite and Spectral Element Methods for Rock Modeling at Different Scales // Proceedings of the International SPDM Conference NAFEMS World Congress, Quebec City, Canada, 2019. – Article ID: NWC19-185.