

**Построение гексаэдральной сетки для ядра по его цифровой модели и численная оценка его эффективных механических свойств с помощью САЕ Fidesys**

**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 решается задача численной оценки эффективных механических свойств ядра [1] - образца горной породы, полученного из глубины земли при помощи специального вида бурения. Эффективные свойства ядра [2] оцениваются численно, с помощью программного модуля Fidesys Composite отечественного прочностного программного пакета «Фидесис». Для проведения моделирования ядра в САЕ Fidesys в рамках исследования был разработан прототип программного модуля, который на основе цифровой модели ядра (в виде бинарного файла, полученного в результате компьютерной томографии [3]) строит структурированную гексаэдральную конечноэлементную сетку, в которой каждый элемент соответствует вокселю исходной модели. Построенная сетка записывается в файл формата FC (Fidesys Case), что позволяет далее провести на ней расчёт эффективных свойств.

Разработанный прототип программного модуля решает следующие задачи:

1) Считывает данные из бинарного файла, содержащего информацию о внутренней структуре ядра (в качестве параметров принимаются размеры ядра и размеры считываемого фрагмента; диапазоны, соответствующие различным видам горных пород, адрес и имя файла).

2) Записывает полученную информацию о структуре ядра в трехмерный вектор stl, определяет координаты вершин непустых вокселей и перенумеровывает их.

3) Поочередно обходя вершины непустых вокселей, строит гексаэдральную конечноэлементную сетку.

4) Записывает полученную модель в FC-файл (запись осуществляется как с помощью формата json, так и с помощью обычных для текстового файла методов, что позволяет решить проблему переполнения памяти).

После проведения этих операций, с помощью САЕ-системы Fidesys решается задача оценки эффективных механических свойств ядра. Задача решается численно, путем расчета на представительном объеме ядра. Применённые методы позволяют рассматривать задачу для достаточно больших неоднородных ядер, обладающих сложной геометрической структурой. Механические свойства горных пород, входящих в состав ядра, моделируются при помощи закона Гука. Эффективные свойства ядра также оцениваются в линейно-упругом виде.

В дальнейшем планируется добиться значительного увеличения размеров обрабатываемого фрагмента ядра (до 1000\*1000\*1000) и обобщить алгоритм на случай неструктурированной тетраэдральной сетки (с ячейками, укрупнёнными относительно гексаэдральной).

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. 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.