СЕКЦИЯ ГЕОЛОГО-МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 622.831

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ УГЛЕПОРОДНОГО МАССИВА

Трофимов Виталий Александрович

д.т.н., ведущий научный сотрудник

Филиппов Юрий Алексеевич

к.т.н., старший научный сотрудник

ФГБУН Институт проблем комплексного освоения недр
имени академика Н.В. Мельникова, г. Москва

Аннотация: Построена модель для расчёта напряженно-деформированного состояния угольного пласта и вмещающего массива как вблизи зоны ведения очистных работ, так и в кровле выработанного пространства. Анализ деформационных параметров, полученных в рамках разработанной 3D модели углепородного массива, позволяет считать модель адекватно описывающей напряженно-деформированное состояние массива в любой его части, затронутой горными работами.

Ключевые слова: напряженно-деформированного состояния, угольный пласт, геомеханическая модель, численное моделирование, метод конечных элементов.

NUMERICAL SIMULATION OF A CARBON-BEARING ROCK MASSIF

Trofimov Vitaly Alexandrovich

Filippov Yuri Alekseevich

Abstract: A model is constructed for calculating the stress-strain state of the coal seam and the host array both near the cleaning zone and in the roof of the worked-out space. Analysis of deformation parameters obtained in the framework of the developed 3D model of coal-rock mass, allows to consider the model adequately describing the stress-strain state in any part thereof, affected by mining operations.

Key words: stress-strain state, coal seam, geomechanical model, numerical simulation, finite element method

Создание геомеханической модели шахтного поля - это наиболее сложный и затратный по времени этап моделирования.

Для построения расчетной геомеханической модели требуются геологические материалы: планы горных работ, геологические разрезы, физико-механические свойства горных пород, стратиграфические колонки и другая дополнительная информация. Эта информация позволяет разработать адекватную геомеханическую модель горного массива [1].

Трёхмерная геомеханическая модель отображает участок земной коры, включающий элементы геологической структуры массива (горные породы, тектоническую нарушенность и др.), а также элементы системы отработки месторождения полезных ископаемых (выработки, скважины и др.) Моделирование проводилось с помощью программного комплекса ANSYS Workbench.

Построение модели угленородного массива

Построение цифровой трехмерной модели выполнено с помощью AutoCAD и с помощью встроенных графических пакетов ANSYS Workbench.

При создании геометрических твердых тел угольных пластов, вмещающих пород и других геологических объектов, был использован графический материал шахты Кирова.

При этом имеющиеся дискретные данные о состоянии массива интерполировались на весь исследуемый объем для построения полноценной геомеханической модели.

Контур геомеханической модели определен по крайним графическим данным.

На первом этапе на основе геологических данных была создана трёхмерная модель шахты Кирова в программном комплексе ANSYS для двух угольных пластов (Болдыревский и Поленовский) с вмещающими породами и тектоническими нарушениями до начала выемки горной массы (рис.1). Такая модель нужна для определения начального напряженно-деформированного состояния (*Greenfield*).

Рис. 1 Геомеханическая модель

Выбор свойств материалов

Одним из важных этапов моделирования является выбор материалов (физико-механических свойств) для геомеханической модели. Модуль (*Engineering Data*) в ANSYS позволяет управлять материалами, он связан с блоком анализа Mechanical. ANSYS предусматривает возможность расчёта нелинейного деформирования материалов [2].

Генерация конечно-элементной сетки численной модели

Для получения адекватных результатов расчета, важно правильно разбить геопространственную модель на конечные элементы (МКЭ).

Конечно-элементная сетка генерируется на геометрической модели и является основной для составления и решения системы уравнений в матричном виде.

Для определения начального напряженно-деформированного состояния (*Greenfield*) общая модель разбита на тетраэдры (Tetrahedrons), (рис. 2).

Рис. 2 Общий вид конечно-элементной модели шахты Кирова

Количество элементов в модели 1301925.

Граничные условия

Граничные условия формируются на внешних границах расчетной области и сводятся к заданию различных смещений и напряжений в соответствии с реальной нагруженностью массива. На рисунке 3 показана схема напряжений, действующих на вертикальных гранях расчетной области, когда они не совпадают с плоскостями главных напряжений.

**Рис. 3 Напряжения, действующие на вертикальных гранях
расчетной области**

Блок схема

Разработана блок схема конечно-элементного моделирования для создания трехмерной численной модели в среде ANSYS (рис.4), начиная от анализа исходной горно-геологической информации до интерпретации полученных результатов моделирования.

ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗРАБОТКИ ПО ПРИОРИТЕТНЫМ НАПРАВЛЕНИЯМ РАЗВИТИЯ

Рис. 4 Блок схема

Результаты расчета напряженно-деформированного состояния горного массива шахты Кирова

На рис. 5 показаны примеры вычисления Greenfield состояния для исследуемых угольных пластов, расположенных в массиве горных пород шахты Кирова.

Рис. 5 Напряженно-деформированное состояние двух пластов в программном комплексе ANSYS

Используя рассчитанные начальные напряжения (Greenfield) в рамках метода дополнительных напряжений, получены полные напряжения и смещения точек массива. На рис.6 показаны вертикальные смещения над выработанным пространством при отработке лав 2458 и 2459 на пласте Болдыревский.

Рис. 6 Вертикальные смещения над выработанным пространством

Заключение

Построенная модель была в конечном итоге использована для расчета напряженно-деформированного состояния вмещающего массива и угольного пласта, как вблизи зоны ведения очистных работ, включая учет передовых выработок, так и в кровле выработанного пространства. Последнее является значительным источником метана, поступающего из пород междупластья и сопутствующих угольных пластов. В связи с этим оценка их напряженно-деформированного состояния, а также оценка формирующейся в них проницаемости является важной частью обеспечения безопасности горных работ.

Любая геомеханическая модель включает в себя физико-механические характеристики слагающих массив пород. Использование их табличных значений приводит, как правило, к неверным результатам расчета, т.е. значения этих параметров должны быть каким-либо образом скорректированы. Это осуществляется в процессе калибровки модели по имеющимся натурным

наблюдениям. В качестве таковых были использованы данные по оседанию дневной поверхности, замеренные при отработке лав 2458 и 2459.

Использование полученных параметров в разработанной ранее 3D модели массива позволяет считать, что эта модель адекватно описывает напряженно-деформированное состояние массива в любой его части, затронутой горными работами.

Примечание

Исследования выполнены при поддержке Министерства науки и высшего образования, Соглашение № 075-15-2019-1903 (05.616.21.0122), Номер государственного учета НИОКТР АААА-А19-119123090079-2, Уникальный идентификатор проекта RFMEFI61619X012.

Список литературы

1. Трофимов В.А., Филиппов Ю.А. Влияние изменения напряженного состояния пород кровли угольного пласта при развитии очистных работ на газовый режим залежи. // ФТПРПИ. — 2019. № 5. С. 33-44.
2. Трофимов В.А., Филиппов Ю.А. Оценка устойчивости горнотехнической конструкции с использованием метода уменьшения прочности материала (stress strength reduction, SSR). // Проблемы и перспективы комплексного освоения и сохранения земных недр. 2018. С. 158-160.