

НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ПОРОД В НАДРАБОТАННОМ ПОРОДНОМ МАССИВЕ

Сравнением двух конечно-элементных методов обоснована методика объемного моделирования напряженно-деформированного состояния породного массива вокруг выработанного очистными работами пространства. Продемонстрирована изменчивость условий сооружения выработок в надработанном породном массиве.

Порівнянням двох кінцево-елементних методів обґрунтована методика об'ємного моделювання пружно-деформованого стану породного масиву навколо виробленого очисними роботами простору. Продемонстрована мінливість умов спорудження виробок у надробленому породному масиві.

The algorithm of 3D modelling of stress-strain a rock massif round a coal face is proved by comparison of two FE-methods. Variability of conditions is shown at building of mine workings in a rock massif at an overworking.

Проблема и ее связь с практическими задачами. Надработка породных массивов и выработок является наиболее часто встречающимся видом геомеханического воздействия очистных работ при нисходящем порядке разработки сближенных угольных пластов. При первоначальной отработке верхнего пласта, т.е. при надработке, породный массив в месте залегания нижнего пласта подвергается сложному процессу последовательного нагружения и разгрузки, в результате чего породы изменяют свое исходное напряженно-деформированное состояние и физико-механические свойства: уплотняются в зонах опорного давления и разрыхляются в зонах разгрузки. Поэтому при ведении очистных работ и проведении подготовительных выработок по надработанному массиву выбор технологических параметров может быть аргументировано обоснован лишь с учетом изменения напряженно-деформированного состояния пород в конкретной горно-геологической обстановке.

Анализ исследований и публикаций. Вследствие сложности задачи аналитические решения, основанные на методах механики сплошной среды, по определению напряженно-деформированного состояния пород вокруг очистных выработок не многочисленны [1 и др.]. Имеющиеся решения дают приближенные результаты, так как они основаны на ряде идеализаций при постановке задачи, что ограничивает область их практического использования.

Существующие нормативные документы [2] по прогнозированию смещений породного контура выработок и определению параметров их охраны, основанные на большом объеме шахтных инструментальных наблюдений в надработываемых выработках, не содержат сведений о напряженно-деформированном состоянии пород, а лишь дают обобщенные эмпирические зависимости по определению размеров зон влияния опорного давления и разгрузки.

Для решения практических вопросов обеспечения устойчивости выработок и управления горным давлением необходимо иметь оперативную информацию о распределении напряжений и перемещений пород вокруг выработки. В этих

случаях весьма эффективным является применение численных методов механики сплошной среды, в частности, метода конечных элементов (МКЭ) [3]. Так, например, МКЭ применяют при изучении напряженно-деформированного состояния пород вокруг очистной выработки [4]. Этот метод позволяет поэтапно решать объемную задачу об устойчивости выработки при ее проведении [5]. В зарубежной практике МКЭ и измеренные смещения породного контура выработки используются не только для оценивания устойчивости породных обнажений [6], но и определения начального напряженного состояния массива путем решения обратной задачи [7].

Постановка задачи. Основной задачей настоящей работы являлась исследование напряженно-деформированного состояния породного массива вокруг выработанного пространства методом конечных элементов для оценки влияния надработки на устойчивость выработок, проводимых в изменчивых горно-геологических условиях. Решение общей задачи состояло из двух этапов. На первом этапе путем решения пространственной задачи оценивалось влияние очистных работ по вышележащему сближенному пласту на напряженное состояние породного массива в месте проведения выработок. На втором этапе моделировалось последовательное проведение выработки в заранее надработанном массиве, причем загрузка модели осуществлялась путем задания по периферии расчетной области перемещений, полученных из расчета более крупного фрагмента массива с очистной выработкой.

Представление основного материала исследования. Моделирование напряженно-деформированного состояния породного массива проведено для условий отработки сближенных пластов k_3^e и k_3^H на шахте «Перевальская» с целью установления изменчивости условий проведения четвертого западного бремсберга. Данная выработка предназначена для подготовки выемочного столба, обрабатываемого по восстанию. Бремсберг проводится под углом наклона 10° сверху вниз с горизонта 390 м на горизонт 492 м по пласту k_3^H , предварительно надработанному очистными работами по пласту k_3^e , с прямоугольной формой поперечного сечения и нижней подрывкой пород. Выработку предполагается использовать вначале в качестве конвейерной, а затем – вентиляционной, поэтому она, кроме сложных условий проведения, будет еще дважды подвергаться воздействию очистных работ по собственному пласту.

Решение задачи о напряженно-деформированном состоянии надработанного породного массива, в котором проводится выработка, производилось с использованием программного комплекса ЛИРА (ПК ЛИРА) [8], реализующего численное моделирование методом конечных элементов [3]. Структура и размеры большей пространственной модели породного массива (рис.1) устанавливались из условия, чтобы изменения напряжений и деформаций, вызванные ным пространством по пласту k_3^e , затухали к границе расчетного фрагмента, а размеры меньшей пространственной модели приняты такими, чтобы силы и перемещения, задаваемые по периферии расчетной области, соответствовали напряженному состоянию массива, вмещающему сближенные угольные пласты k_3^e и k_3^H , после выемки пласта k_3^e .

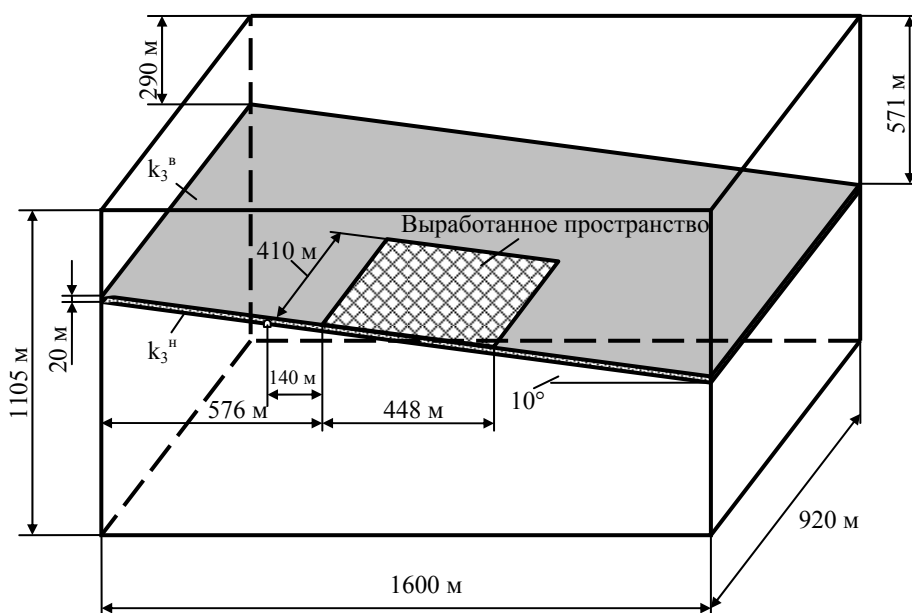


Рис. 1. Схема пространственной модели породного массива выработан

Воспроизведение массива пород при решении задачи осуществлялось с использованием двух расчетных моделей, реализующих обычный и суперэлементный подходы [8]. Первая модель состояла из 8215 универсальных пространственных восьмиузловых изопараметрических конечных элементов (тип 36), предназначенных для прочностного расчета континуальных объектов и массивных пространственных конструкций. Угольные пласты имитировались двумя наклонными слоями конечных элементов (толщиной 1 м) с расстоянием по вертикали между ними 20 м и углом наклона 10° . Для всех КЭ задавался коэффициент Пуассона $\nu = 0,3$. Модуль Юнга для КЭ, имитирующих верхний (вынимаемый) угольный пласт, принят равным $E = 4,6 \times 10^5$ тс/м². Для остальных КЭ задавался модуль Юнга $E = 3 \times 10^6$ тс/м². Ко всем конечным элементам модели прикладывалась равномерно распределенная нагрузка от собственного веса пород, величиной 2,7 тс/м³. Задача решалась в упругой постановке.

Во второй расчетной модели был реализован суперэлементный подход, заключающийся в решении пространственной задачи в упрощенном виде на вертикальных плоских фрагментах массива. Такой подход в работе [5] называется псевдопространственным. С его помощью существенно сокращается продолжительность расчета, так как можно проделать все вычисления для одного из суперэлементов и полученные результаты использовать для остальных элементов этого же типа. Модель состояла из пятидесяти суперэлементов, ориентированных в вертикальной плоскости и имеющих толщину 1 м. Ширина каждого суперэлемента составляла 32 м, высота – 766 м. Суперэлементы состояли из универсальных пространственных изопараметрических восьмиузловых (тип 36) КЭ и шестиузловых (тип 34) КЭ. В верхней и нижней частях суперэлементов размеры КЭ составляли $32 \times 32 \times 1$ м с постепенным сгущением сети КЭ к середине модели. Средняя область суперэлемента, разбитая на КЭ размером $1 \times 1 \times 1$ м, имела высоту 94 м и включала слои, имитирующие угольные пласты,

вмещающие их породы и породы междупластья. В целом расчетная модель была представлена 160202 КЭ. Коэффициент Пуассона в супер-элементной модели для всех КЭ также принят равным $\nu = 0,3$. Модуль Юнга для КЭ, относящихся к обоим угольным пластам, принят равным $E = 4,6 \times 10^5$ тс/м², а для остальных КЭ – $E = 3 \times 10^6$ тс/м². Выработанное пространство имитировалось последовательным удалением КЭ в угольном слое.

Выполненные расчеты напряженно-деформированного состояния породного массива в области выработанного пространства при обычном и суперэлементном подходах дали близкие, а в областях, удаленных от мест концентрации напряжений, практически идентичные результаты. Однако при обычном подходе напряжения в зонах опорного давления имеют меньшее значение коэффициента концентрации. В целом же поле распределения напряжений в обычной КЭ модели более детально характеризует особенности напряженно-деформированного состояния пород в наработанной толще (рис.2 и рис.3), где можно выделить три характерные зоны: сжатия, разгрузки и уплотнения пород.

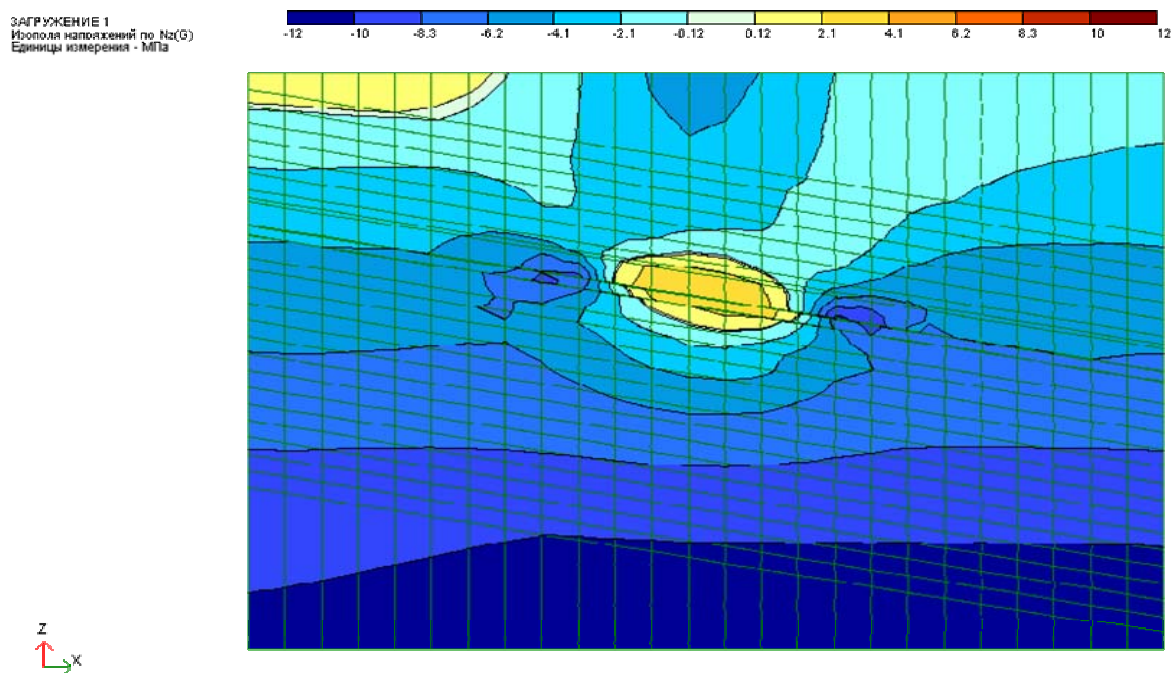


Рис. 2. Картина распределения напряжений N_z вокруг выработанного пространства в вертикальной плоскости, полученная при расчете на обычной КЭ-модели

Под влиянием опорного давления вблизи кромки разрабатываемого пласта происходит сжатие пород, причем максимальное значение коэффициента концентрации напряжений в этой зоне для обычной задачи равно $k_\sigma=2,9$ со стороны падения и $k_\sigma=1,6$ со стороны восстания, а для суперэлементной задачи соответственно $k_\sigma=4,25$ и $k_\sigma=2,8$. Зона опорного давления распространяется на расстояние свыше 150 м, а пик вертикальных напряжений находится от кромки пласта на расстоянии 30 м.

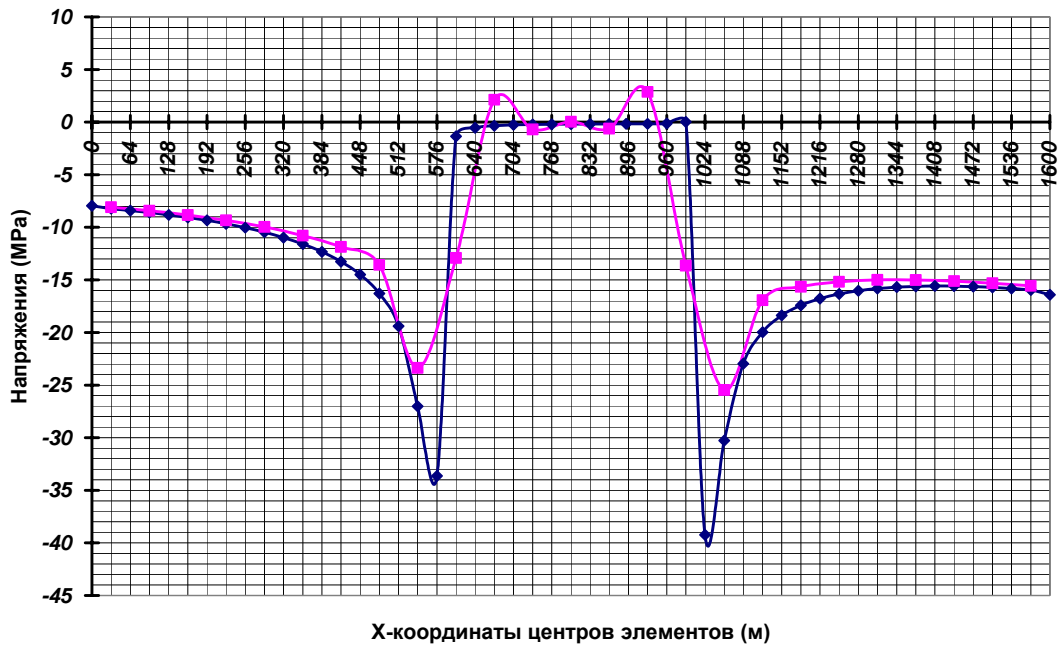


Рис. 3. Вертикальные напряжения N_z в месте проведения выработки, полученные при решении обычной (1) и суперэлементной (2) задач

В зоне уплотнения в результате прогиба пород кровли на расстоянии свыше 60 м от кромки пласта кровля входит в контакт с почвой, поэтому вертикальные напряжения в междупластье становятся сжимающими, а их величина существенно ниже, чем в ненарушенном породном массиве. Следовательно, под действием веса вышележащих пород в этой зоне будет происходить медленное уплотнение надработанной толщи, которая остается загруженной в основном горизонтальными напряжениями.

Выводы. В результате первого этапа моделирования установлено, что наработка породного массива приводит к изменению напряженно-деформированного состояния пород междупластья. Вдоль трассы 4-го западного бремсберга напряжения не только возрастают в результате увеличения глубины, но и постоянно изменяются как по величине, так и по направлению из-за влияния очистных работ по пласту k_3^6 . Поэтому условия сооружения бремсберга являются нестационарными, что предполагает дифференцированный выбор типа и параметров крепи в каждой из специфических зон, характеризующимися квазистационарными условиями.

Численное объемное моделирование методом конечных элементов позволяет исследовать напряженно-деформированное состояние пород вокруг очистной выработки. Если мощность разрабатываемого пласта невелика, то перемещения пород кровли, обусловленные упругим деформированием, могут оказаться достаточными для взаимодействия почвы и кровли пласта в выработанном пространстве, что обеспечивает подобие процессу деформирования пород с плавным опусканием кровли и с высокой достоверностью воспроизводит напряженно-деформированное состояние пород почвы пласта в зоне наработки.

Список литературы

1. Литвинский Г.Г. Закономерности изменения напряженного состояния при ведении очистных работ / Г.Г. Литвинский // Сб. науч. трудов: Строительство шахт, механика и разрушение горных пород. – Алчевск: ДГМИ, 1996. – С.71-80.
2. Указания по рациональному расположению, охране и поддержанию горных выработок на угольных шахтах СССР / Минуглепром СССР – Л.: ВНИМИ, 1986. – 222с.
3. Фадеев А.Б. Метод конечных элементов в геомеханике /А.Б. Фадеев – М.: Недра, 1987. – 221с.
4. Комиссаров С.Н. Управление массивом горных пород вокруг очистных выработок / С.Н. Комиссаров. – М.: Недра, 1983– 237с.
5. Виттке В. Механика скальных пород: пер. с нем. / В. Виттке. –М.: Недра, 1990. – 439с.
6. Yang L. Sterling R.L. Back analysis of rock tunnel using boundry element method / I. Geotechn. Eng. – 1989. – 115, № 8. – pp. 1163-1169.
7. Hisatake M. Assessmet of tunnel face stability bu back analysis / Field Meas. Geomech: Proc. 2and Int Sym., Kobe, 6-9Apr. 1987. Rotterdam, Brookfield, 1988. – pp. 1217-1224.
8. Лантух-Лященко А.И. Лира. Программный комплекс для расчета и проектирования конструкций: учеб. пособие / А.И. Лантух-Лященко – К. – М.: 2002. – 312с.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Сдвіжковою О.А.
Надійшла до редакції 11.03.10*

УДК 622.235

© В.Г. Кравец, В.В. Вапничная, А.В. Францишко

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ВЗРЫВНОГО ОБРУШЕНИЯ ГРУНТА ПРИ СОЗДАНИИ ВЗРЫВОМ КОМПЕНСИРУЮЩИХ ЩЕЛЕЙ

Рассмотрены особенности взрывной технологии создания компенсирующих вертикальных щелей для предупреждения деформаций поверхностных слоев грунта под влиянием подземных горных работ

Розглянуті особливості вибухової технології створення компенсуючих вертикальних щілин для попередження деформацій поверхневих шарів ґрунту під впливом підземних гірських робіт

The features of explosive technology of compensating vertical cracks creation are considered for forestalling deformations of superficial layers of soil under influence of mining operations

Введение. Взрывные технологии получения инженерных сооружений - вертикальных щелей типа "стена в грунте" - универсальные, технологичные и высокопродуктивные, поэтому их можно рекомендовать как приоритетные везде, где для этого имеются соответствующие грунтовые условия и достаточное расстояние от поверхностных зданий и сооружений по фактору сейсмоопасности при исполнении взрывных работ.

Сущность технологии состоит в бурении серии скважин на проектную глубину и на определенном расстоянии друг от друга, что обеспечивает достижение заданного результата – сплошного профиля либо прерывистой щели постоянного или переменного сечения (рис. 1).