

нию золотодобывающей отрасли Украины и реализации постановления Кабинета Министров № 1/12-1930 от 27.07.95 г. «О разведке, добыче и переработке золота в Украине».

УДК 622.83:622.28

Л.В. Новикова

КОМБИНИРОВАННЫЙ МЕТОД РЕШЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ЗАДАЧ ГЕОМЕХАНИКИ

Эффективность горнопроходческих и очистных работ в значительной степени зависит от согласованности с реальными геомеханическими процессами и конкретными горнотехническими ситуациями. Особо важное значение имеет картина напряженно-деформированного состояния пород в окрестности сопряжений выработок и в области забоя. Определение напряжений и перемещений в этих областях массива горных пород связано с рассмотрением довольно сложных трехмерных задач горной геомеханики, линейных и нелинейных для изотропных и анизотропных сред. Исследуемые области породных массивов, кроме того, большей частью неоднородны по своей структуре.

Такие задачи настолько сложны, что не могут быть решены в рамках одной расчетной схемы ни аналитическими, ни численными методами. Эффективным в подобных задачах оказывается комбинированный подход, предполагающий выполнение двух этапов исследований:

1) решение пространственной задачи на основе самой простой модели упругой однородной среды, но для массива со сколь угодно сложной геометрией; определение коэффициентов концентрации напряжений, обусловленных возмущающим воздействием сопряжений выработок и забоя;

2) решение плоской задачи, сравнительно простой с точки зрения геометрии, но для физически нелинейной неоднородной среды, более близкой к реальной, и с учетом найденных коэффициентов концентрации напряжений.

Так в расчетном алгоритме отражаются и специфические деформационные свойства пород и реальное очертание исследуемой области массива. Разработанные алгоритмы для обеих расчетных схем основаны на методе граничных элементов. Использование их для различных горно-геологических и горнотехнических условий в задачах из области горнодобывающей промышленности и подземного строитель-

ства и сравнение расчетных величин напряжений и перемещений с измеренными в натуральных условиях показали, что они отличаются не более, чем на 15 %.

Типичная расчетная схема пространственной задачи применительно к той или иной системе разработки обычно включает очистную и подготовительные выработки, угольный целик впереди забоя, выработанное пространство, заполненное обрушенными породами, а также участки целиков или погашенных штреков, примыкающие к подготовительным выработкам, т.е. все основные элементы, формирующие напряженно-деформированное состояние исследуемого породного массива. В случае тонких угольных пластов базовым в методе граничных элементов является аналитическое решение Ронгведа о постоянном разрыве смещений на прямоугольном элементе в бесконечной упругой среде [1].

Если вмещающие породы обладают трещиноватостью с выделяющейся регулярной системой параллельных трещин, соответствующая плоская задача решается в рамках модели трансверсально изотропной упругой среды с эффективными упругими постоянными [2]:

$$E_x = E_z = E;$$

$$E_y = \frac{E}{1 + E/l_0 k_n};$$

$$G_{xy} = \frac{G}{1 + G/l_0 k_s};$$

$$G = \frac{E}{2(1 + \nu)};$$

$$\nu_{xy} = \nu;$$

$$\nu_{yx} = \frac{E_y}{E_x} \nu_{xy} = \frac{E_y}{E} \nu;$$

$$\nu_{xz} = \nu;$$

$$\nu_{zx} = \frac{E_z}{E_x} \nu_{xz} = \nu,$$

где E и G - модули упругости и сдвига породы; ν - коэффициент Пуассона породы; k_n и k_s - нормальная и сдвиговая жесткости материала-заполнителя трещины; l_0 - расстояние между трещинами.

При этом используется аналитическое решение задачи о постоянных условиях, приложенных к произвольно ориентированному прямолинейному отрезку в бесконечной анизотропной среде [3].

Описанная методика была использована для определения шага первичной посадки кровли в горно-геологических условиях шахты "Донецкая" ГХК "Торезантрацит". При этом предполагалось, что посадка кровли происходит в тот момент, когда зона разрушенных пород над пластом распространяется на всю мощность основной кровли. Соответствующее такому напряженному состоянию значение расстояния от разрезной печи до линии забоя, предполагается равным шагу посадки. Границы зоны предельного напряженного состояния устанавливались по критерию Парчевского-Шашенко [4].

Похожая пространственная схема использовалась для решения задачи, связанной с проблемой обеспечения устойчивости выработок при проходке в слабых водонасыщенных породах. Пересекающиеся выработки в этом случае - вентиляционный штрек и водоотливный рукав. В плоской задаче на сей раз рассматривается совместно деформирующаяся система "крепь - слой закрепленной породы - порода в естественном состоянии". Для закрепленной породы используется модель упруго-пластической среды с линейным разупрочнением и остаточной прочностью, а порода в естественном состоянии подчиняется закону Гука. Результатом исследования являются рациональные параметры крепи и термохимического закрепления продвигая забоя проводимой выработки и вокруг нее. Расчет параметров выполняется по методике, разработанной О.А. Барабан [5]. Результаты расчета были учтены при строительстве водоотливного рукава центрального водосборника на шахте "Верболозовская" ПО "Александрияуголь".

Еще одна задача возникла в связи с необходимостью обоснования новой технологии сооружения трехводчатой станции метрополитена в спондиловой глине. Рассматриваемая пространственная область включала три горизонтальные взаимовлияющие параллельные выработки, боковые - протяженные, а средняя - конечной длины. Плоская задача основывалась на модели линейно-последовательной среды с ядром Абеля. Комбинированный метод в данном случае позволил определить длину и месторасположение участка боковых тоннелей, в котором устанавливается временная механизированная пневмокрепь и такие ее параметры, при которых не происходят деформации обделок боковых тоннелей в процессе строительства среднего.

Соответствующие рекомендации были учтены при сооружении станции "Лукьяновская" Киевского метрополитена.

Разработанные расчетные алгоритмы и составленные на их основе методики расчета элементов подземных сооружений описаны в монографии [6].

Вычислительные Фортран-программы, реализующие расчетные алгоритмы на компьютере типа IBM, созданы В.В. Приходько и И.П. Улановой. Оригинальные конструкции рассчитываемых крепей и методика определения действующей на них нагрузки разработаны В.И. Бузило [7]. Исследования, связанные со строительством станции метрополитена, проводились при содействии Государственной корпорации "Укрметротоннельстрой". Автор благодарит сотрудников этой организации В.С. Петренко, В.И. Лихмана и Г.Ф. Калиниченко за техническое сотрудничество.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Rongved L. Dislocation over bounded plane area in an infinite solid // J. Appl. Mech. - 1957. № 24. - P. 252 - 254.
2. Лехницкий С.Г. Теория упругости анизотропного тела. - М.: Наука, 1973. - 304 с.
3. Rizzo F.J., Shippy D.J. A method for stress determination in plane anisotropic elastic bodies // J. Composite Materials. 1970. - №6. - P. 36-61.
4. Парчевский Л.Я., Шапенко А.Н. О размерах области пластических деформаций вокруг горных выработок // Изв. вузов. Горный журнал. - 1988. - №3. - С. 38-43.
5. Новикова Л.В., Барабан О.А. Расчет параметров средств крепления выработок, проводимых в обводненных породах // Придніпровський науковий вісник. Сер. Технічні науки. - 1988. - №6 (73). - С. 4-12.
6. Новикова Л.В., Пономаренко П.И., Приходько В.В., Морозов И.Т. Метод граничных элементов в задачах горной геомеханики. - Днепропетровск: Наука и образование, 1997. - 180 с.
7. Бузило В.И. Определение нагрузки на временную крепь усиления боковых тоннелей трехсводчатой станции метрополитена // Придніпровський науковий вісник. - 1977. - №15 (26). - С. 33-36.