УДК 622.284

Ю.Н.АНТОНОВ
Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет)

ПАРАМЕТРЫ ПОЛЕЙ НАПРЯЖЕНИЙ В РУДНОМ МАССИВЕ, ВМЕЩАЮЩЕМ ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ ВЗАИМОВЛИЯЮЩИЕ ВЫРАБОТКИ

Методом конечных элементов обоснованы рациональные расстояния между выработками (ширина целика). Определены параметры НДС и смещения на контуре выработок при различном порядке их проведения и закладки при строительстве защитного перекрытия. Даны качественная и количественная оценка результатов моделирования.

Efficient distance between underground excavations (width of pillar) was determined. Stress and strain state around excavation and excavation walls displacements were found. The technology and the order of an excavation development and backfilling during construction of protective coating were taken into account. Qualitative and quantitative assessment of numerical modeling was done. As a method of analysis, finite element method was used .

Основанием для проектирования и расчета подземных конструкций являются параметры начального напряженно-деформированного состояния массива и их изменение при ведении горно-строительных работ. В общем случае массив горных пород представляет собой сложную физическую среду, геомеханическое состояние которой обуславливается структурными особенностями, глубиной залегания и природными напряжениями. В настоящее время получили распространение численные методы определения параметров поля напряжений. Один из них – метод конечных элементов (МКЭ). Несмотря на некоторую идеализацию свойств реального массива, метод позволяет исследовать влияние отдельных факторов на параметры поля напряжений при ведении горных работ.

В статье рассматривается напряженное стояние массива при строительстве защитного искусственного перекрытия на Яковлевском руднике путем последовательной проходки и закладки ортов бетоном.

Цель моделирования заключалась в определении напряжений и смещений во вмещающем массиве при различном порядке проведения и закладки выработок.

Решались следующие задачи:

- установление зависимости вертикальных напряжений во вмещающем массиве от расстояния между выработками (обоснование рациональных параметров целика);
- определение вертикальных смещений кровли выработок при различном порядке проходки и закладки параллельных выработок.

Модель представляет собой пять выработок, которые проходятся и закладываются в различном порядке (рис.1).

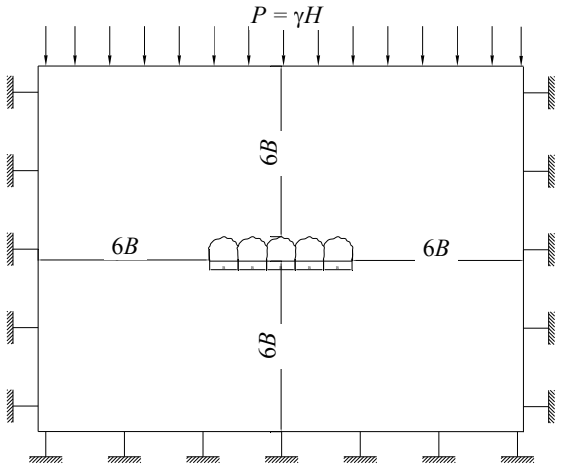


Рис.1. Схема модели (*B* – ширина выработки)

В плоской модели реальный массив пород размерами 100х50 м заменялся конечной невесомой плоскостью, по граням которой обеспечивались граничные условия: по нижней грани запрещались деформации по вертикальной оси *y*, по боковым – по горизонтальной оси *x*; напряженное состояние задавалось компонентами σ_y = 12 МПа, σ_x = 4 МПа, приложенными к каждому узлу конечно-элементной модели.

Рассматриваемая плоскость разбивалась на конечные элементы: на контуре выработок сетка сгущена (размер элементов составляет 0,3 м), по мере удаления от контура размер элементов плавно увеличивается до 5 на гранях. Рудный массив (числитель) и закладочный материал (знаменатель) моделировались изотропными линейно деформируемыми средами с физико-механическими характеристиками:

Модуль деформации *E*, МПа	$5 \cdot 10^3/15 \cdot 10^3$
Коэффициент Пуассона ν	0,25/0,25

Модель представляет собой фрагмент искусственного защитного перекрытия, которое будет строиться на Яковлевском руднике. Рассматривалось несколько вариантов, отличающихся только порядком проходки выработок.

Основной целью расчетов являлось определение степени влияния одной параллельной выработки на другую при различных вариантах взаимного размещения. Рассматривались варианты, когда вторая выработка расположена от первой:

- через целик, равный пролету выработки;
- через целик, равный двум пролетам выработки;
- через целик, равный трем пролетам выработки.

В первом варианте рассмотрена проходка и закладка трех камер в три этапа:

- проходка первой выработки моделируется путем удаления элементов, входящих в сечение данной выработки (этап 1);
- заполнение первой выработки закладочным материалом: элементы, удаленные на первом этапе моделирования, восстанавливаются с изменением физико-механических свойств (этап 2);
- проходка второй выработки через целик, равный ширине выработки (этап 3).

Второй вариант – вторая выработка проходится через целик, ширина которого равна двум пролетам выработок (этап 4-6):

- заполнение второй выработки закладочным материалом (этап 4);
- проходка орта второй очереди по целику между выработками (этап 5);
- заполнение орта второй очереди между выработками закладочным материалом (этап 6).

В третьем варианте повторяются этапы 4-6 при ширине целика, равной трем пролетам выработки.

Результаты моделирования показали, что различное расположение выработок значительно влияет на распределение напряжений и вертикальных смещений в целике между выработками.

В процессе моделирования напряжения снимались на высоте *B*/2 от почвы выработки. Данные моделирования представлены на рис.2.

Напряжения в целике максимальны при проведении выработок через целик, равный величине выработки. В целике, ширина которого равна трем пролетам выработки, напряжения практически равны фоновым. Максимальные коэффициенты концентрации напряжений в целиках составляют соответственно 1,54; 1,2; 1,04.

Из полученных результатов следует:

- при проведении выработки через целик, равный ширине выработки, величина вертикальных напряжений в целике в 1,5 раза превышает их значения в целике шириной в три пролета выработки;
- рациональной шириной целика является ширина, равная двум или трем пролетам выработки; дальнейшее увеличение размеров целика нецелесообразно.

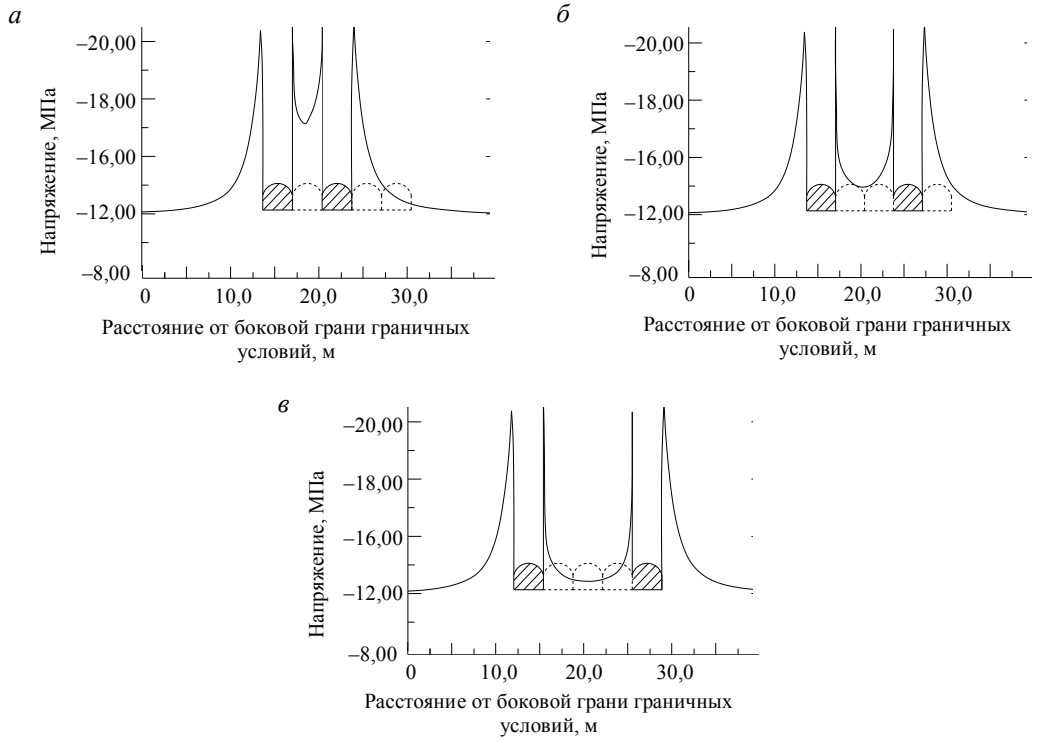


Рис.2. Распределение вертикальных напряжений во вмещающем массиве при ширине целика, равной одному (*а*), двум (*б*) и трем (*в*) пролетам выработки

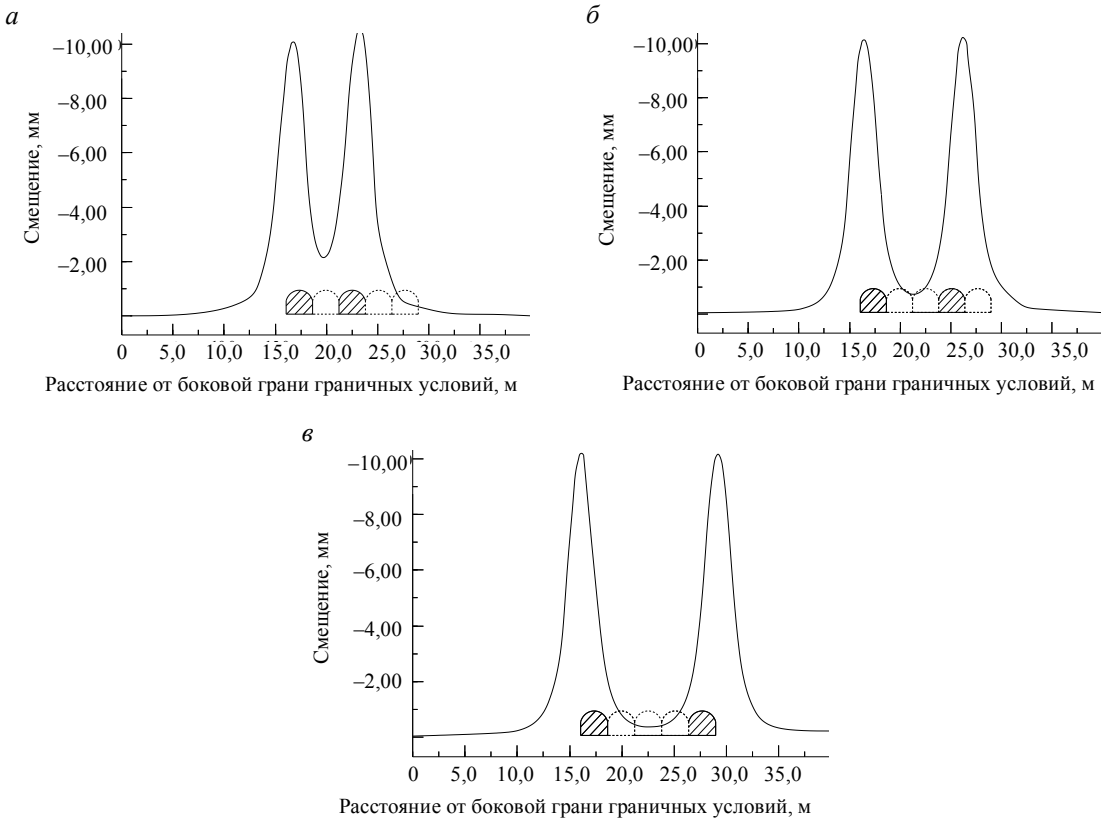


Рис.3. Вертикальные смещения во вмещающем массиве при величине целика, равной одному (*а*); двум (*б*) и трем (*в*) пролетам выработки

Смещения на контуре выработки проявляются сразу после проведения первой выработки. По мере проведения последующих выработок величина смещений увеличивается.

Вертикальные смещения в кровле выработки представлены на рис.3. Смещения на контуре пройденных выработок практически одинаковы и составляют примерно 10 мм. Вертикальные смещения в целике, ширина которого равна пролету выработки, в два раза больше, чем в целике шириной в три пролета выработки.

По смещениям в кровельной толще можно сделать следующий вывод: осадки и деформации вышележащей толщи и целика соответствуют напряжениям, которые возникают в целике при различном порядке проведения выработок.