УДК 622.284

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

ВЛИЯНИЕ ВЗРЫВНЫХ ВОЛН НА НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ РАЗДЕЛИТЕЛЬНОГО ЦЕЛИКА ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК

Для условий рудного массива Яковлевского месторождения методом конечных элементов исследовано напряженное состояние разделительного целика при проведении параллельных выработок буровзрывным способом. Дана оценка суммарных статических и динамических напряжений, генерируемых зарядами различной массы, на контуре ранее пройденной выработки.

The stress condition of the barrier pillar in bypassing with the drill and fire system has been studied for the ore massif conditions at the Yakovlevskiy Deposit with application of the finite element method. Estimation of cumulative static and dynamic stresses resulting from charges of various weights is presented for the previously mined entry contour.

На сегодняшний день при строительстве подземных сооружений в России и мире 90 % горных выработок проводят буровзрывным способом. Оценка влияния взрывных работ на выработки, которые находятся в непосредственной близости от места взрыва, и прогноз возможных негативных последствий (вывалов, отколов) является актуальной задачей.

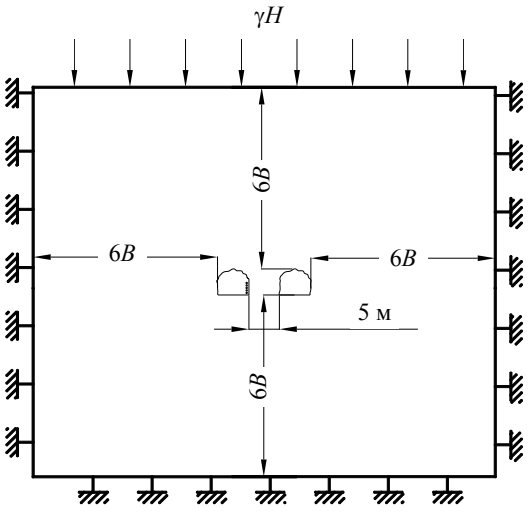


Рис.1. Расчетная схема модели с шириной разделительного целика, равной пролету выработки

Методом конечных элементов было выполнено моделирование напряженного состояния целика (различной ширины), расположенного между двумя параллельными выработками, в одной из которой ведутся взрывные работы. По результатам моделирования дана оценка воздействия на целик взрывных волн, генерируемых зарядами различной массы.

Задача решалась на плоской конечно-элементной модели, представляющей участок массива размером 90×90 м с двумя параллельными выработками шириной B (рис.1). По граням модели задавались граничные условия: по нижней грани запрещались деформации по вертикальной оси y, по боковым – по горизонтальной оси x; напря-

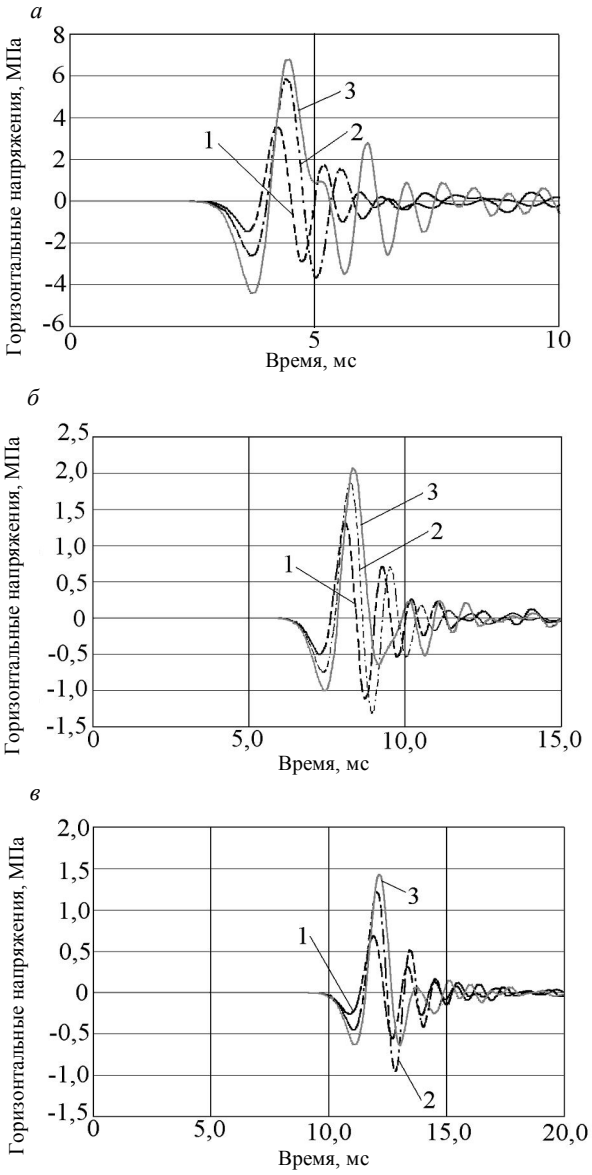


Рис.2. Эпюра суммарных геостатических и динамических горизонтальных напряжений на расстоянии 0,4 м от контура выработки при массе заряда: 1 – 5 кг; 2 – 10 кг; 3 – 15 кг и ширине разделительного целика, равной одному (*а*), двум (*б*) и трем (*в*) пролетам выработки

женное геостатическое состояние задавалось компонентами $\sigma_y = 12$ МПа, $\sigma_x = 4$ МПа, приложенными к каждому узлу конечно-элементной модели.

Сетка конечных элементов разбивалась так, чтобы на контуре шпура она была сгущена и эквивалентна его радиусу (размер элементов составляет 0,014 м), по мере удаления от контура размер элементов увеличивался до 2,5 м на гранях.

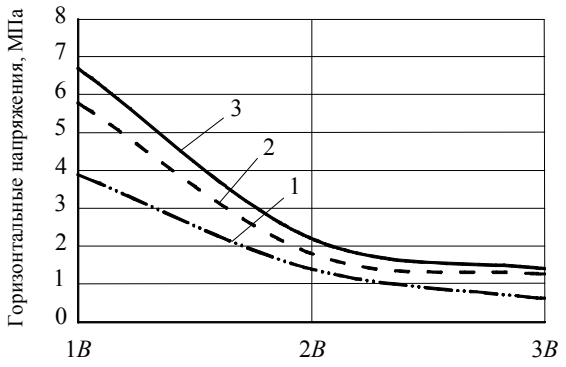


Рис.3. Зависимость суммарных сжимающих горизонтальных напряжений от ширины целика при массе заряда: 1 – 15 кг; 2 – 10 кг; 3 – 5 кг

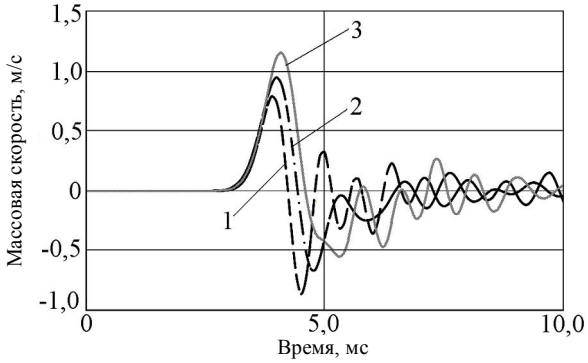


Рис.4. Эпюра массовых скоростей частиц на расстоянии 0,4 м от контура выработки при массе заряда: 1 – 5 кг; 2 – 10 кг; 3 – 15 кг и ширине разделительного целика, равной одному пролету выработки

Рассматривали три модели с различной шириной междукамерного целика. В первой модели ширина целика принята равной одному пролету выработки, в следующих двух вариантах – двум и трем пролетам выработки соответственно. В одной из выработок генерировался взрыв цилиндрического заряда массой 5; 10; 15 кг.

Реальный массив моделировался изотропной линейно-деформируемой средой с модулем деформации $E = 0{,}5 \cdot 10^4$ МПа, плотностью 0,033 МН/м^3 и коэффициентом Пуассона 0,26 (условия соответствуют рудному массиву Яковлевского месторождения). Взрывная волна генерировалась цилиндрическим зарядом, радиус которого принимался равным 0,014 м. Плотность ВВ составляла 1600 кг/м^3. Напряжения в массиве оценивались на расстоянии 0,3-0,4 м от

контура со стороны выработки, где производились взрывные работы.

Были построены эпюры суммарных геостатических и динамических горизонтальных и вертикальных напряжений и массовых скоростей частиц на расстоянии 0,4 м от контура выработки при различных массе заряда и ширине целика.

На эпюрах (рис.2-4) видно, что в зависимости от ширины разделительного целика взрывная волна достигает контура выработки через 4; 7,5 и 11 мс. Максимальные суммарные горизонтальные сжимающие напряжения составляют 6,7 МПа при ширине целика, равного одному пролету выработки, от взрыва заряда массой 15 кг, максимальные растягивающие – до 4 МПа. При дальнейшем увеличении междукамерного целика напряжения уменьшаются в зависимости от ширины целика и массы заряда.

Было также установлено, что на контуре выработки статические вертикальные напряжения суммируются с напряжениями от взрывной волны и увеличиваются до 24; 27,8 и 28,1 МПа соответственно для зарядов массой 5; 10 и 15 кг.

Максимальная массовая скорость частиц составляет 1,250 м/с. По данным Г.Г.Юревича*, массовая скорость 1,4-1,6 м/с способна вызвать откол пород на контуре выработки со стороны хода волны. Для слабых руд массовая скорость 1,0-1,25 м/с, возможно, является критической.

По результатам моделирования можно сделать следующие выводы:

- При взрывах шпуровых зарядов массой 5-15 кг на одно замедление суммарные статические и динамические сжимающие вертикальные напряжения на контуре ранее пройденной выработки при ширине разделительного целика, равной одному и двум пролетам выработки, превышают предел прочности рудого массива при сжатии в разы. Оптимальной является ширина целика не менее трех пролетов выработки. Масса одновременно врываемого ВВ не должна быть больше 10 кг.
- При взрыве зарядов массой 15 кг горизонтальные суммарные геостатические и динамические напряжения и массовая скорость на выходе волны на контур обнажения способны вызвать отколы руды в параллельной выработке.
- При ширине разделительного целика, равной одному-двум пролетам выработок, взрывные работы в параллельной выработке являются важным фактором, способным активизировать деформационные процессы в массиве вокруг ранее пройденных выработок с увеличением нагрузок на крепь.

Научный руководитель проф. *Ю.Н.Огородников*

* *Юревич Г.Г.* Охрана выработок от воздействия взрывов / Г.Г.Юревич, В.Д.Беляков, Б.Н.Севастьянов. М: Недра, 1972. 136 с.