Записки Ленинградского орденов Ленина и Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова, т. LVII, вып. 1, 1969 г.

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ПОРОД ВОКРУГ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК МЕТОДОМ ФОТОУПРУГОСТИ

Е. А. Зимина, Е. Н. Тарасенко

Устойчивость породного массива при проведении группы горных выработок в значительной мере зависит от их взаимного расположения и соотношения размеров поперечного сечения, а также от характера приложения нагрузок. Ниже рассматриваются результаты исследования напряженного состояния пород при проведении двух вертикальных выработок на Текелийском руднике, где ствол диаметром 6,7 *м* и рудоспуск диаметром 3,4 *м* пройдены при расстоянии между их осями 15 *м* до глубины X горизонта (572 *м*). В неустойчивых породах взаимное влияние этих выработок друг на друга приводит к значительным деформациям пород и их вывалам.

Напряженное состояние пород вокруг вертикальных выработок изучалось на моделях с помощью поляризационно-оптического метода. Такой метод позволяет получить качественную картину распределения напряжений и оценить напряженное состояние пород значениями коэффициентов концентрации. Определялось влияние вывалов породы на распределение напряжений в массиве при проведении одиночной вертикальной выработки и двух вертикальных выработок, имитирующих ствол и рудоспуск с расстоянием между их осями 15,25 и 35 *м*. Модели изготовлялись из эпоксидной смолы Э-40. На 100 вес. частей ее добавлялось 30 вес. частей малеинового ангидрида и 25 вес. частей дибутилфталата. При таком соотношении компонентов и принятой методике отверждения композиции модели можно испытывать при комнатной температуре. Испытания производились в специальном нагрузочном устройстве, позволяющем создавать по взаимно перпендикулярным граням модели одинаковое или различное давление.

Напряженное состояние массива расшифровывалось по картинам изохром, которые фотографировались на поляризационно-оптической установке *FMB*-56. Затем строились графики распределения напряжений и коэффициентов концентрации.

Как известно, значения коэффициентов концентрации напряжений при круглой одиночной выработке зависят не от ее диаметра, а только от вида напряженного состояния. *

Теоретически решена задача о концентрации напряжений вокруг круглого отверстия при одноосном напряженном состоянии. Распределение напряжений при двуосном напряженном состоянии может быть получено сложением полей напряжений при двух одноосных напря-

* Родин И. В. К вопросу о влиянии выработок на напряженное состояние горного массива. Изв. АН СССР, ОТН № 12, 1950.

женных состояниях с давлением по взаимно перпендикулярным сторонам q_1 и q_2.

Из графика (рис. 1) видно, что при изменении бокового распора $\lambda = \frac{q_2}{q_1}$ от 0 до 0,33 вблизи точек B наблюдаются растягивающие, а при $\lambda > 0{,}33$ во всех точках только сжимающие напряжения.

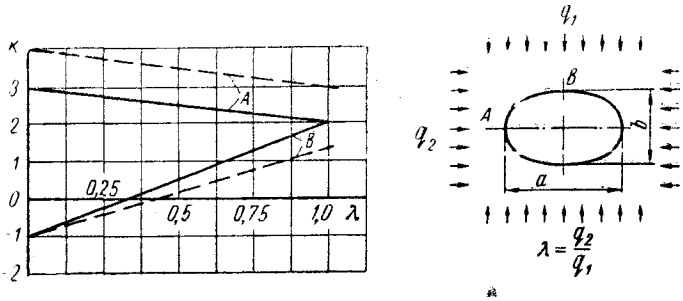


Рис. 1. График изменения коэффициентов концентрации напряжений вокруг вертикальной выработки круглой (сплошная) и эллиптической (пунктирная) формы поперечного сечения в зависимости от соотношения боковых давлений.

Значения коэффициентов концентрации напряжений на контуре выработки круглой формы, пройденной в массиве, испытывающем гидростатическое сжатие ($\lambda = 1$), во всех точках равны двум.

Изохромы для данного случая представляют почти концентрические окружности, что свидетельствует о равномерном распределении напряжений вокруг выработки. Вычисленный коэффициент концентрации напряжений во всех точках контура $k = 2{,}04$ практически совпадает с теоретическим.

В действительности при неустойчивых породах в местах вывалов сечение выработки приобретает эллипсообразную форму. Основываясь на известных теоретических решениях для эллипса с отношением полуосей $\frac{b}{a} = \frac{2}{3}$* аналогично предыдущему построен график изменения значений коэффициентов концентрации напряжений (рис. 1) в зависимости от соотношения боковых давлений $\lambda = \frac{q_2}{q_1}$ для точек A и B. Можно построить также график $k = f(\lambda)$ для эллипса с соотношением полуосей $\frac{b}{a} = \frac{3}{2}$. Получив эти зависимости, строим графики изменения значений коэффициентов концентрации напряжений в точках A и B для эллипсов с соотношением полуосей в пределах $\frac{2}{3} \leqslant \frac{b}{a} \leqslant \frac{3}{2}$ при $\lambda = 1$ (рис. 2).

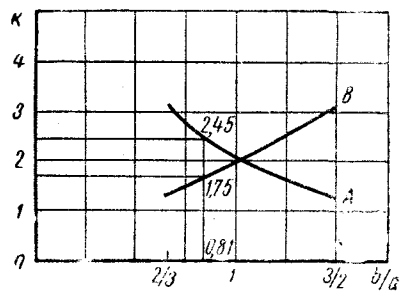


Рис. 2. Коэффициенты концентрации напряжений для выработок эллиптической формы поперечного сечения с соотношением полуосей в пределах

$$2{,}3 \leqslant \frac{b}{a} \leqslant 3{,}2.$$

При моделировании напряженного состояния пород вокруг ствола после вывала равного порядка половины радиуса, при равномерном сжатии получена картина изохром.

* Савин Г. Н. Концентрация напряжений около отверстий. Гостехиздат, 1951.

После вывала ствол приобрел эллипсообразную форму поперечного сечения с соотношением полуосей $\frac{b}{a}=0{,}81$. Это привело к перераспределению напряжений вокруг контура: в точках A, примыкающих к длинной полуоси, напряжения и коэффициенты концентрации увеличиваются по сравнению с их значением на контуре выработки круглого сечения, а в точках B, примыкающих к малой полуоси, — уменьшаются. В точке A напряжения будут 2,08, в точке B 1,51 *кг/см*^{2}, а соответствующие этим точкам коэффициенты концентрации напряжений $K_A=2{,}54$, $K_B=1{,}84$. Эти значения почти совпадают с вычисленными теоретически (см. рис. 2). Следовательно, образование вывалов в стволе значительно снижает устойчивость окружающего его породного массива.

В дальнейшем исследовалось напряженное состояние пород при наличии двух вертикальных выработок и соотношении их диаметров в натуре $\frac{D}{d}=\frac{6{,}7}{3{,}4}\approx 2$, которое было принято при моделировании. В процессе моделирования, при расстоянии между осями выработок 15,25 и 35 *м*, были получены картины изохром, по которым вычислены напряжения. Анализ напряженного состояния показывает, что при проведении выработок на расстоянии 35 *м* напряжения распределяются так же, как и при одиночной выработке. Уменьшение расстояния до 15 *м* приводит к перераспределению напряжений в окружающем породном массиве, причем в более тяжелых условиях оказывается выработка меньшего диаметра, т. е. рудоспуск, для которого значение коэффициента концентрации в опасной точке 2,33. При сближении выработок увеличиваются напряжения не только на контуре, но и во всем массиве целика между выработками. Такое перераспределение напряжений приводит к увеличению зоны влияния выработок. Так, при расстоянии между осями выработок $l=35$ *м* зона повышенных напряжений распространяется в глубь массива до 2 *м*, а при $l=15$ *м* до 3,0 *м*.

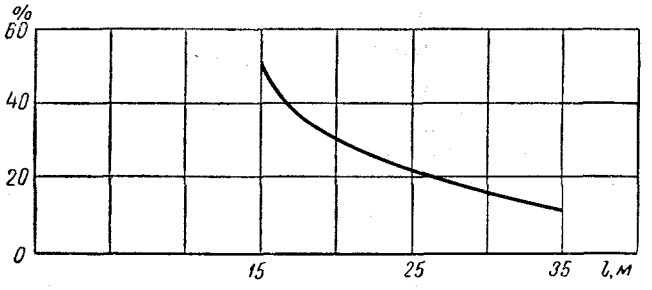


Рис. 3. Расположение зоны повышенных напряжений в зависимости от расстояния между осями ствола и рудоспуска.

Увеличение зоны повышенных напряжений снижает несущую способность пород в целике между выработками, что приводит к деформации пород.

На графике рис. 3 по оси абсцисс отложено расстояние между осями выработок, а по оси ординат—отношение зоны повышенных напряжений к ширине целика. При $l=35$ *м* зона повышенных напряжений занимает около 12% от ширины целика, а при $l=15$ *м*—увеличивается до 45%.

Таким образом, наиболее опасное напряженное состояние имеет место в точках контура ствола и рудоспуска, обращенных в сторону

целика между выработками при расстоянии между их осями 15 *м*, где одновременно увеличиваются и коэффициенты концентрации напряжений и зона влияния выработок.

Выводы

1. Вывалы в стенке одиночной вертикальной выработки вызывают перераспределение напряжений в окружающем его породном массиве с увеличением их по длинной полуоси образующегося эллипсообразного сечения, что ухудшает устойчивость выработки.

2. Сближение двух выработок приводит к увеличению напряжений в разделяющем их породном целике и зон их взаимного влияния (повышенных напряжений), что может вызывать деформации пород и их вывалы.

3. Вывалы пород при сближенных выработках еще больше снижают устойчивость окружающего выработку породного массива.

4. Следует отметить, что моделирование проводилось на упругом однородном материале, в натуре же породы не упруги, вследствие чего зоны повышенных напряжений могут быть значительно больше.