

ОБОСНОВАНИЕ ДЛИННЫ РАЗГРУЗОЧНОЙ ЩЕЛИ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ РАБОТЫ УЗЛОВ АРОЧНОЙ КРЕПИ

Инж. Резник А.В., Донецкий национальный технический университет, Донецк, Украина
sska78@mail.ru

Для решения поставленной задачи использовался аналитический метод исследований. При этом было принято допущение, что длина щели должна быть не менее ширины зоны разрушенных пород. Задача решалась с использованием методики изложенной в работе [1].

Рассматривалась протяженная выработка радиусом r_b , пройденная на глубине H и поддерживаемая крепью с несущей способностью P_0 , работающей в режиме постоянного сопротивления (рис. 1.) [2]. При этом были приняты допущения, что породы вмещающие выработку, однородны и изотропные. Возможность замены выработок арочной и другой формы поперечного сечения на круглую для аналитических исследований обоснована в работе К.В. Руппенейта. Возможная погрешность при этом не превышает 4–10%.

При решении задачи принято, что разрушение пород происходит в два этапа. На первом этапе происходит накопление повреждений и расширение микротрещин, а на втором – развитие магистральных трещин, что вызывает разрушение породы. При этом продолжительность первого этапа значительно больше продолжительности второго этапа.

Как было доказано в работе [3], при заглублении выработки на величину, большую её двадцатикратного линейного размера, весомую полуплоскость можно заменить невесомой, у которой на бесконечности приложены напряжения, равные напряжениям в нетронутом массиве на глубине расположения выработки. Таким образом, решалась плоская асимметричная задача.

Распределение напряжений на границе невесомой полуплоскости принято равнокомпонентным и равным γH , то есть $P_r = P_b = \gamma H$. Исследования, выполненные в работах [4,5] свидетельствуют о том, что на глубинах более 600 метров величина коэффициента бокового распора λ стремиться к единице. В работе [6] показано, что при значении коэффициента бокового распора в диапазоне $0,7 \leq \lambda < 1$, погрешность в определении напряжений не превышает 15% по сравнению со случаем, когда $\lambda = 1$.

Для принятых нами условий, распределение напряжений вокруг круглой выработки определяется по известной формуле:

$$\left. \begin{array}{l} \sigma_{\Theta} \\ \sigma_r \end{array} \right\} = \gamma H \pm (\gamma H - P) \cdot \frac{r_b^2}{r^2} \quad (1.1)$$

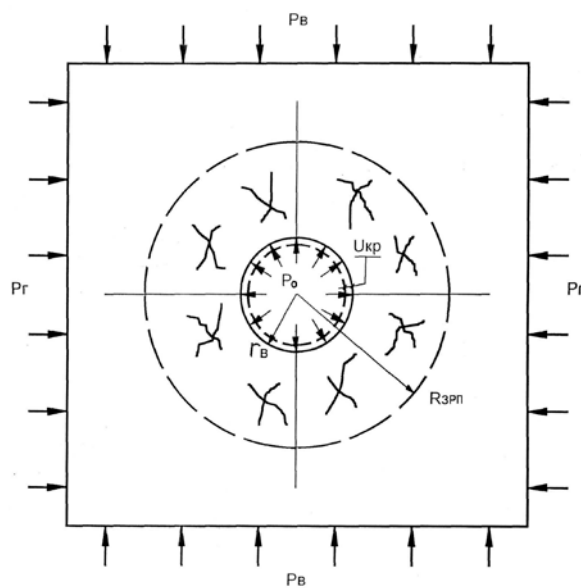


Рис. 1. – Схема к определению

где σ_{Θ} и σ_r – соответственно тангенциальное и радиальное напряжения;

γ – объемный вес пород, Мн/м^3 ;

H – глубина расположения выработки, м;

P – суммарный отпор крепи и пород в пределах зоны разрушенных пород, МПа;

r_b – начальный радиус выработки, м;

r – текущий радиус, м.

Известно [7], что механизм образования вокруг выработки зоны разрушенных пород и её движение вглубь массива связаны как с прочностными свойствами пород, так и с действующими в горном массиве напряжениями.

Если напряжения на контуре выработки превысят мгновенную прочность пород, то в ней начинается развитие микротрещин, которые в дальнейшем приведут к разрушению породы.

Для описания хрупкого разрушения горной породы, основываясь на работе Л.М. Качанова [8], введем понятие сплошности горной породы, но при этом учтем пороговое значение напряжений, как это сделано в работе [9]:

$$\frac{d\psi}{dt} = -\alpha \cdot \frac{\sigma - B}{\psi^n}, \quad (1.2)$$

где ψ – сплошность горной породы, которая в общем случае характеризует меру развития микротрещин за время t ;

α – размерный реологический параметр, зависящий от типа, структуры и свойств горной породы, $1/\text{сут.} \cdot \text{МПа}$;

σ – действующие в горной породе напряжения, МПа;

B – пороговое значение напряжений, после превышения которых начинают развиваться микротрещины, МПа;

n – показатель трещинообразования, ед.

Рассмотрим изменение сплошности горных пород по направлению действия разрушающего напряжения, за которое принимаем касательные напряжения, согласно теории прочности Мора.

Разность между действующим в породе напряжением и пороговым значением напряжения, т.е. касательное напряжение, вызывающее появление и развитие микротрещин в породах вокруг горной выработки, определим из диаграммы Мора (рис. 2). При этом, под огибающей наибольших кругов напряжений диаграммы Мора будем понимать кривую, которая характеризует мгновенную прочность горных пород при их различном напряженном состоянии.

Разрушающее касательное напряжение можно определить следующим образом (см. рис. 2):

$$\tau_p = \tau_d - [\tau], \quad (1.3)$$

где τ_d – действующее в породе касательное напряжение;

$[\tau]$ – допустимое касательное напряжение.

Действующее в породе касательное напряжение определяется из выражения:

$$\tau_d = \frac{\sigma_\Theta - \sigma_r}{2} \cdot \cos \varphi, \quad (1.4)$$

где φ – угол внутреннего трения, град.

А допустимое касательное напряжение из выражения:

$$[\tau] = (C + \sigma_r) \cdot \frac{\sin \varphi \cdot \cos \varphi}{1 - \sin \varphi}, \quad (1.5)$$

где C – удельная сила сцепления породы, МПа.

Подставляя полученные значения τ_d и $[\tau]$ выражение (1.3) получим:

$$\tau_p = \frac{\sigma_\Theta - \sigma_r}{2} \cdot \cos \varphi - (C + \sigma_r) \cdot \frac{\sin \varphi \cdot \cos \varphi}{1 - \sin \varphi}. \quad (1.6)$$

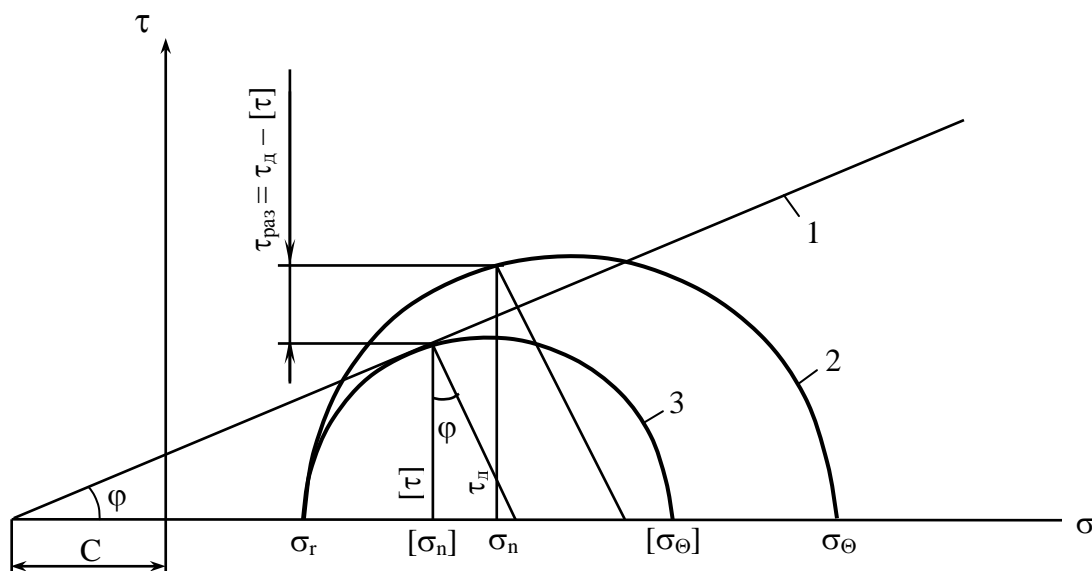


Рис. 2 – Расчетная схема к определению разрушающего напряжения из диаграммы Мора: 1 – огибающая кругов мгновенной прочности; 2 – круг реально действующих в породе напряжений; 3 – круг наибольших допусаемых напряжений.

Учитывая распределение напряжений вокруг горной выработки (1.1), выражение (1.6) примет следующий вид:

$$\tau_p = (\gamma H - P) \cdot \frac{r_6^2}{r^2} \cdot \cos \varphi - \gamma H \cdot \left[\frac{C}{\gamma H} + 1 - \left(\frac{\gamma H - P}{\gamma H} \right) \cdot \frac{r_6^2}{r^2} \right] \cdot \frac{\sin \varphi \cos \varphi}{1 - \sin \varphi}. \quad (1.7)$$

Подставив полученное выражение разрушающего напряжения в дифференциальное уравнение (1.2) и решив его относительно сплошности φ с учетом начального условия $\varphi = 1$ при $t=0$, получим зависимость для определения размера зоны разрушенных пород, сплошности пород от величины действующих напряжений, прочностных свойств пород и времени действия напряжений:

$$\psi^{n+1} = 1 - \alpha \cdot (n + 1) \cdot \left\{ (\gamma H - P) \cdot \frac{r_b^2}{r^2} \cdot \cos \varphi - \right. \\ \left. - \gamma H \cdot \left[\frac{C}{\gamma H} + 1 - \left(\frac{\gamma H - P}{\gamma H} \right) \cdot \frac{r_b^2}{r^2} \right] \cdot \frac{\sin \varphi \cdot \cos \varphi}{1 - \sin \varphi} \right\}^n t \quad (1.8)$$

Обработка полученных данных позволила получить более удобную зависимость для прогноза размеров ЗРП:

$$\frac{R_{зрп}}{r_6} = 0,763 \cdot e^{1,104 \cdot \frac{\gamma H}{\sigma_0 \cdot K_c}}. \quad (1.9)$$

Библиографический список

1. **Поддержание и проведение выработок** глубоких шахт / С.С. Гребенкин, Ю.Ф. Булгаков, Н.Н. Касьян, Ю.А. Петренко, А.В. Агафонов, М.А. Ильяшов, С.Д. Керкез, С.Н. Смоленов, В.Д. Рябичек, В.А. Трофимов, С.Е. Топчий. – Донецк: «Каштан», 2005. – 256 с.
2. **Петренко Ю.А., Новиков А.О., Захаренко А.В.** Обоснование своевременности применения способов охраны при поэтапном поддержании горных выработок // Известия Донецкого горного института. – 1998. - № 1. – С. 34-38.
3. **Динник А.Н., Савин Г.И., Моргаевский А.Б.** Распределение напряжений вокруг подземных горных выработок. – В кн.: Труды совещания по управлению горным давлением. – М.: Изд. АН СССР, 1938.
4. **Рукин В.В., Руппенейт К.В.** Механизм взаимодействия обделки напорных тоннелей с массивом горных пород. – М.: Недра, 1969. – 160 с.
5. **Либерман Ю.М.** Естественное напряженное состояние массива горных пород. – В сб.: Вопросы прочности подземных сооружений. Труды ВНИИСТ, 1962, вып. 12, с. 15-18.
6. **Баклашов И.В., Картозия Б.А.** Механика горных пород. – М.: Недра, 1975. – 271 с.
7. **Черняк И.Л.** Повышение устойчивости подготовительных выработок. – М.: Недра, 1993. – 256 с.
8. **Качанов Л.М.** Основы механики разрушения. – М.: Наука, 1974. – 311 с.
9. **Литвинский Г.Г.** Кинетика хрупкого разрушения породного массива в окрестности горной выработки // ФТПРПИ. – 1974. - № 5. – С. 15-22.