

УДК 622.831

ГОГОЛИН В.А.

## КРИТЕРИЙ ПРОЧНОСТИ ГОРНЫХ ПОРОД И УГОЛЬНОГО ПЛАСТА НА СЖАТИЕ

Одним из направлений обеспечения безопасности подземной разработки месторождений полезных ископаемых является эффективное управление горным давлением, позволяющее сохранять устойчивое состояние горных выработок, предотвращать динамические и другие проявления горного давления. Оценка устойчивого состояния массива горных пород в окрестности подготовительных и очистных выработок проводится на основе расчетов напряженно-деформированного состояния горных пород с использованием критериев прочности [1].

Основной характеристикой прочности горных пород служит предел прочности на одноосное сжатие. В реальных ситуациях массив горных пород находится в состоянии объемного или плоскодеформированного состояния. Для определения предела прочности горных пород в этих состояниях предлагается критерий прочности, основанный на представлениях о механизме разрушения пород и анализе имеющихся полных диаграмм сжатия образцов.

При одноосном сжатии образца под действием вертикального напряжением  $\sigma_1$  до предела прочности  $\sigma_{cж}$  образец линейно деформируется с модулем  $E$ , так что его вертикальная деформация составляет  $\varepsilon_1 = \sigma_1 / E$ . Поперечная деформация определяется модулем поперечных деформаций  $\nu$  и связана с вертикальной деформацией как  $\varepsilon_2 = -\nu \cdot \varepsilon_1 = -\nu \sigma_1 / E$ . Здесь сжимающие напряжения и деформации приняты положительными, а растягивающие – отрицательными. При достижении напряжений значения предела прочности в образце развивается продольная микротрещиноватость [2], вызывающая значительные поперечные деформации образца. Образец теряет за счет этого свою несущую способность и его дальнейшее запредельное деформирование происходит при снижении нагрузки. Анализ полных диаграмм сжатия горных пород с боковым подпором [2] показывает, что при достижении нагрузок, составляющих  $0,93 \div 0,97$  значения предела прочности, поперечная деформация имеет то же значение, что и при одноосной деформации.

Поэтому, возрастание поперечных деформаций до предельного значения  $\varepsilon_2^{cж} = -\nu \sigma_{cж} / E$  может служить критерием прочности при одноосном сжатии.

Анализ полных диаграмм трехосного сжатия показывает, что в большинстве случаев вертикальные деформации в допредельной части

также линейно зависят от напряжений с тем же модулем линейных деформаций  $E$ , а поперечные деформации меняются незначительно.

При объемном сжатии горных пород поперечные давления  $\sigma_2 = \sigma_3 = \sigma$ , и по закону Гука поперечная деформация  $\varepsilon_2 = [\sigma - \nu(\sigma_1 + \sigma)]/E$ . Принимая за критерий прочности при объемном сжатии предельную поперечную деформацию  $\varepsilon_2^{cyc} = -\nu\sigma_{cyc}/E$ , имеем предел прочности горных пород при объемном сжатии  $\sigma_1^{cyc}$  в следующем виде:

$$\sigma_1^{cyc} = \frac{1-\nu}{\nu} \sigma + \sigma_{cyc}. \quad (1)$$

Сравнение теоретических значений прочности образцов горных пород на сжатие с данными лабораторных испытаний [2] приведены в таблице, где напряжения указаны в МПа.

НВО песчаник (Донбасс)						
$\sigma_2$	0	5	10	25	50	100
$\varepsilon_2^{cyc}$	2,7	3,2	3,4	3,4	3,4	3,7
$\sigma_1^{cyc}$ , лаб.	142	180	190	265	350	425
$\sigma_1^{cyc}$ , теор.	142	179	215	325	507	872
Погрешность, %	0	0,8	13,2	22,5	44,9	105,2

Погрешность отклонения теоретических значений прочности горных пород на сжатие от экспериментальных данных не превышает 22,5% при значениях боковой нагрузки до 25 МПа.

Для горных пород в состоянии плоской деформации  $\varepsilon_3 = 0$  и  $\sigma_3 = \nu(\sigma_1 + \sigma_2)$ . Тогда поперечная деформация с учетом выражения для  $\sigma_3$  имеет следующий вид:

$$\varepsilon_2 = [\sigma_2 - \nu(\sigma_1 + \sigma_3)]/E = [\sigma_2(1 - \nu^2) - \sigma_1(\nu + \nu^2)]/E, \text{ и}$$

$$\sigma_1^{cyc} = \frac{1-\nu}{\nu} \sigma_2 + \frac{\sigma_{cyc}}{1+\nu}. \quad (2)$$

где  $\alpha$  – угол падения пласта;  $\lambda$  - коэффициент бокового распора.

В сечениях по простиранию и вкрест простирания пласта пласт находится в состоянии плоской деформации, и прочность его краевой части определяется по (2) как

$$\sigma_{nl}^{cyc} = \frac{1-\nu}{\nu} (\lambda \cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha) \gamma H + \frac{\sigma_{cyc}}{1+\nu}, \quad (3)$$

где  $\alpha$  – угол падения пласта;  $\lambda$  - коэффициент бокового распора.

Прочность пологого пласта, находящегося в состоянии плоской деформации вычисляется следующим образом:

$$\sigma_{nl}^{cyc} = \frac{1-\nu}{\nu} \lambda \gamma H + \frac{\sigma_{cyc}}{1+\nu}. \quad (4)$$

В гидростатическом поле напряжений прочность пологого пласта определяется по (4), (6) при  $\lambda=1$ . При отсутствии горизонтальных деформаций (гипотеза А. Н. Динника), то есть, при  $\lambda = \nu/(1-\nu)$ , имеем простые выражения для вычисления значений прочности пласта:

$$\sigma_{nl}^{cyc} = \gamma H + \sigma_{cyc} \quad \text{и} \quad \sigma_{nl}^{cyc} = \gamma H + \frac{\sigma_{cyc}}{1+\nu} \quad (5)$$

для объемного и плоско-деформированного состояния краевой части пласта соответственно.

Полученные выражения (3), (5) и их частные случаи показывают, что прочность пласта при объемном и плоско-деформированном состоянии зависит только от деформационной  $\nu$  и прочностной  $\sigma_{cyc}$  характеристик угля, а также вида и степени нагружения пласта в соответствии со значениями параметров  $\lambda$ ,  $\gamma H$  и  $\alpha$ .

#### Выводы.

1. Прочность горных пород на сжатие зависит только от прочности образца, его коэффициента поперечного расширения и боковой нагрузки.

2. Максимум опорного давления постоянен и равен значению прочности пласта, что позволяет трактовать пласт, как своего рода образец в массиве горных пород.

3. Факт постоянства максимума опорного давления следует учитывать при расчетах опорного давления на угольные пласти и параметров целиков.

#### Литература

1. Инструкция по безопасному ведению горных работ на шахтах, разрабатывающих угольные пласти, склонные к горным ударам. (РД 05-328-99).

2. Ставрогин А.Н. Прочность горных пород и устойчивость выработок на больших глубинах./ А.Н. Ставрогин, А.Г. Протосеня. – М.: Недра, 1985, 271 с.