

## РАЗРУШЕНИЕ ПОРОД В РАЗГРУЖЕННОЙ ЗОНЕ

к.т.н. Кольчик Е.И. (ИФГП НАН Украины), инж. Демченко А.И. (шахта "Красноармейская-Западная №1")

Розглянуто змінення напружень та граничного опору порід на розрив у розвантаженої зоні. Наведені залежності визначення відстані, на якій виникає руйнування порід, вміщуючих виробку.

## THE ROCKS FAILURE IN STRESS RELIEF ZONE

Kolchik E.I. and Demchenko A.I.

The variation of stresses and limiting resistance of soils on a breaking in a unloading zone is reviewed. The dependencies of definition of spacing interval are reduced, on which one there is a breaking down of soils containing a development.

За последние 20 лет на угольных шахтах широкое распространение получило анкерное крепление горных выработок. Так, в Австралии анкерной крепью закреплено до 87% выработок от общей их протяженности, в КНР – до 83%, в США – до 52%, а в Великобритании – до 41% [1].

На шахтах Украины объем применения анкерного крепления очень мал и составляет всего 0,15% от общей протяженности горных выработок. Малый объем внедрения анкерного крепления в нашей стране объясняется в основном тем, что не на всех шахтах и не на всех пластах возможно его применение. Так, на шахтах Павлоградско-Петропавловского, Красноармейского и Донецко-Максеевского районов Донбасса в 90<sup>е</sup> годы прошлого столетия разрабатывалось 243 шахтопласта. Из них только 10 шахтопластов имеют устойчивую непосредственную кровлю (таблица 1).

Таблица 1. Распределение шахтопластов по категориям устойчивости пород их непосредственной кровли и почвы.

№ п/п	Категория пород	Количество шахтопластов, шт.	
		Доля шахтопластов от общего количества, %	
		Непосредственная кровля	Непосредственная почва
1	Устойчивые	10	30
		4,1	12,4
2	Средней устойчивости	87	125
		35,9	51,4
3	Неустойчивые	133	88
		54,7	36,2
4	Весьма неустойчивые	13	—
		5,3	—

146 шахтопластов (60,0% от общего количества) имеют неустойчивую и весьма неустойчивую непосредственную кровлю. С устойчивой непосредственной почвой обрабатывалось 30 шахтопластов (12,4%), а с неустойчивой почвой 88 шахтопластов (36,2%).

Практически все шахтопласты имеют ложную кровлю (табл.2). Так, на 46 шахтопластах (18,9% от общего количества) распространение ложной кровли достигает 75% и более площади пласта, а на 135 шахтопластах (55,6%) – 25% площади.

В основной кровле большинство шахтопластов залегают легко и средне обрушающиеся породы. Доля таких шахтопластов составляет, соответственно 30,4 и 51,5% (табл.3). С трудно и весьма трудно обрушающейся кровлей разрабатывалось всего 44 шахтопласта (18,1%).

Из вышеизложенного видно, что на большинстве шахтопластов применение анкерного крепления не возможно. Однако, несмотря на наличие большого количества шахтопластов со слабыми боковыми породами полностью исключать этот способ поддержания выработок нельзя. Для условий, при которых возможно применение анкерного крепления, необходимо выполнять технико-экономическое сравнение вариантов способов поддержания выработок, и принимать к реализации наиболее экономичный.

Таблица 2. Распределение шахтопластов по распространению ложной кровли.

Показатели	Распространение ложной кровли по площади шахтопласта, %				Всего
	до 25	26...50	51...75	более 75	
Количество шахтопластов, шт.	135	55	7	46	243
Доля шахтопластов от общего количества, %	55,6	22,6	2,9	18,9	100

Таблица 3. Распределение шахтопластов по обрушаемости основной кровли.

Показатели	Тип основной кровли				Всего
	Легко обрушающаяся	Средне обрушающаяся	Трудно обрушающаяся	Весьма трудно обрушающаяся	
Количество шахтопластов, шт.	74	125	36	8	243
Доля шахтопластов от общего количества, %	30,4	51,5	14,8	3,3	100

Кроме результатов технико-экономического сравнения вариантов необходимо знать механизм взаимодействия вида крепи с горным массивом и величину смещения пород.

Известно, что на устойчивость выработок основное влияние оказывает напряженное состояние горного массива. С увеличением напряженного состояния горного массива происходит рост зоны неупругих деформаций вокруг выработки. Образование зоны неупругих деформаций приводит к увеличению объема пород, находящихся в ней, за счет появления трещин и разрушения пород. Увеличение объема пород приводит к уменьшению площади поперечного сечения выработки и полуму крепи. Поэтому, при выборе параметров горных выработок необходимо учитывать параметры зоны разрушения пород в горном массиве. Для повышения устойчивости выработок необходимо использовать такие типы крепи, которые снижают развитие зоны неупругих деформаций.

При решении задач о напряженном состоянии и деформируемости пород использовались прямоугольная, цилиндрическая и сферическая системы координат [2]. Компоненты напряженного состояния горного массива в указанных системах координат приведены на рисунке 1.

Наиболее простым является упругое решение о перераспределении естественного напряженного состояния вокруг выработки. С целью упрощения задача решается для круглого сечения выработки. Согласно теории упругости горная порода принимается как однородная среда, описываемая законом Гука. В плоской постановке задача сводится к решению вопросов распределения напряжений вокруг отверстия в тонкой пластине.

На рисунке 2 представлена расчетная схема для данного случая, где  $k$  – коэффициент концентрации напряжений ( $k = 0 \dots 1$ );  $\gamma$  – объемная плотность горных пород;  $H$  – глубина разработки;  $l$  – расстояние до рассматриваемой точки;  $r$  – радиус выработки;  $\sigma_r$ ;  $\sigma_\theta$  – константы составляющих напряженного состояния, соответственно, радиальная и тангенциальная.

Величина этих напряжений может быть определена по формулам [3]:

$$\sigma_r = \frac{(1 + \lambda)\gamma H}{2} \left(1 - \frac{r^2}{l^2}\right) - \frac{(1 - \lambda)\gamma H}{2} \left(1 + \frac{3r^4}{l^4} - \frac{4r^2}{l^2}\right) \cos 2\theta, \quad (1)$$

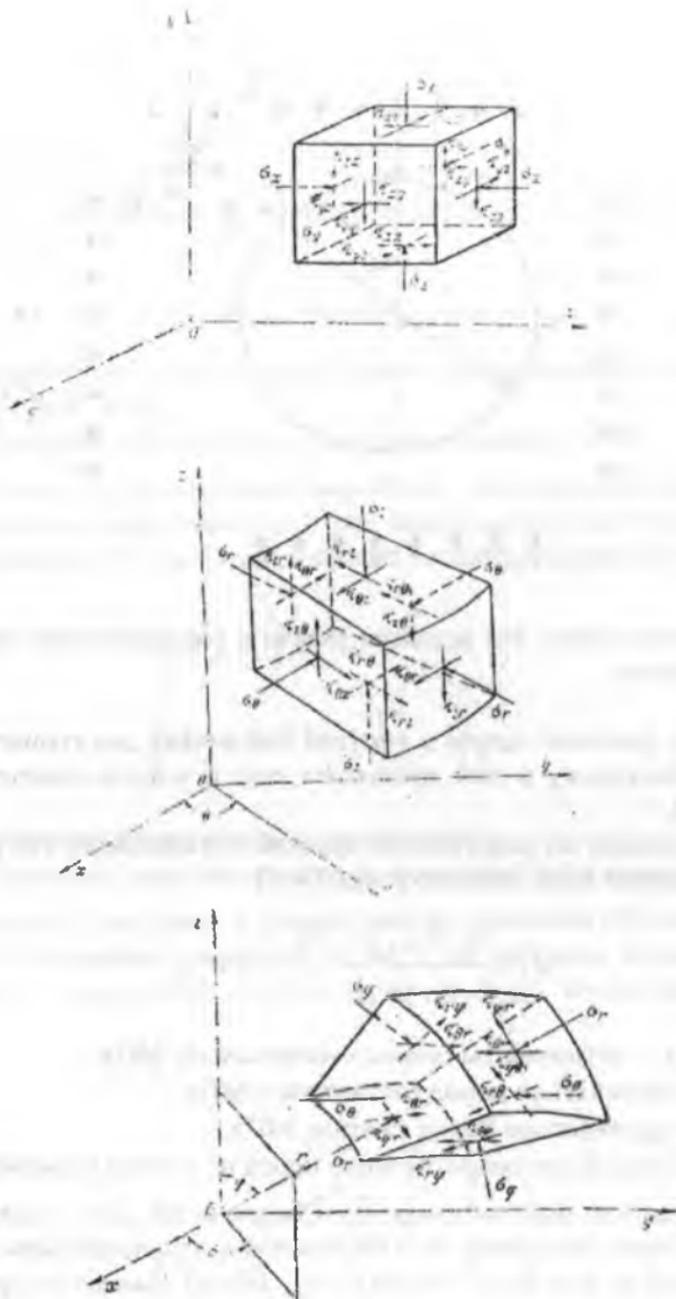
$$\sigma_\theta = \frac{(1 + \lambda)\gamma H}{2} \left(1 + \frac{r^2}{l^2}\right) + \frac{(1 - \lambda)\gamma H}{2} \left(1 + \frac{3r^4}{l^4}\right) \cos 2\theta, \quad (2)$$

где  $\lambda$  – коэффициент бокового распора,  $\lambda = 0 \dots 1$ .

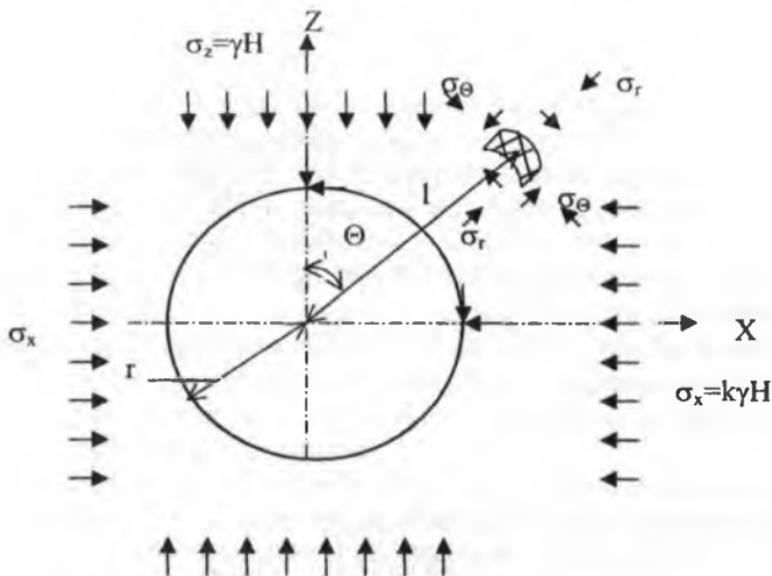
При гидростатическом поле естественно напряженного состояния ( $\lambda = 1$ ) они принимают следующий вид:

$$\sigma_r = \gamma H \left(1 - \frac{r^2}{l^2}\right), \quad (3)$$

$$\sigma_\theta = \gamma H \left(1 + \frac{r^2}{l^2}\right), \quad (4)$$



**Рис.1.** Компоненты напряженного состояния: а – в прямоугольной системе координат; б – в цилиндрической системе координат; в – в сферической системе координат.



**Рис.2.** Расчетная схема для решения задачи о распределении напряжений вокруг выработки.

Однако, решение задачи в упругой постановке для горных пород не приемлемо, поскольку в них протекают еще и упруго-пластические деформации [3].

Исследования по разрушению хрупких тел показали, что условие их разрушения может быть описано в виде [4, 5]

$$\sigma_1 + \frac{\sigma_p (\sigma_2 + \sigma_3)}{\sigma_{сж}} = \sigma_{р.пр.}, \quad (5)$$

где  $\sigma_1; \sigma_2; \sigma_3$  – компоненты главных напряжений, МПа;

$\sigma_p$  – сопротивление пород растяжению, МПа;

$\sigma_{сж}$  – сопротивление пород сжатию, МПа;

$\sigma_{р.пр.}$  – предельное сопротивление пород на разрыв в массиве, МПа.

В результате выполненных по (5) расчетов для условий шахты «Красноармейская-Западная» №1 установлено, что предельное сопротивление пород на разрыв ( $\sigma_{сж} = 50$  МПа;  $H = 800$  м) зависит от протяженности разгруженной зоны и описывается уравнением

$$\sigma_{р.пр.} = 0,05 + 1,05X^{0,8}, \quad (6)$$

где  $\sigma_{р.пр.}$  – предельное сопротивление пород на разрыв в долях от  $\gamma H$ ;

$X$  – расстояние от кромки породного массива в долях от протяженности разгруженной зоны ( $l_p$ ).

Напряжения в разгруженной зоне при  $\lambda = 1$  изменяются от 0 до  $\gamma H$  и могут быть описаны уравнением

$$N = X^{0,5}, \quad (7)$$

где  $N$  – напряжения в долях  $\gamma H$ .

Условие неразрушаемости породы в зоне разгрузки может быть описано выражением

$$\sigma_{от} \geq \sigma \quad (8)$$

где  $\sigma_{от}$  – напряжения, создаваемые отпором пород от выработки до рассматриваемой точки, МПа;

$\sigma$  – напряжения, действующие со стороны массива, МПа.

Найдем точку А (рис.3) в боку выработки, удаленную на расстояние  $X_1$  от нее, в которой разрушение не будет происходить. Для этого проинтегрируем выражение (7) для левой и правой частей уравнения (8)

$$\int_0^{X_1} N_{от} = \int_0^{X_1} X^{0,5} dx = \frac{X_1^{1,5}}{1,5}, \quad (9)$$

$$\int_{X_1}^l N_{м} = \int_{X_1}^l X^{0,5} dx = \frac{l^{1,5}}{1,5} - \frac{X_1^{1,5}}{1,5}, \quad (10)$$

где  $N_{от}$  – напряжения отпора пород в долях от  $\gamma H$ ;

$N_{м}$  – напряжения, действующие со стороны массива в долях от  $\gamma H$ .

Вычисленные для левой и правой частей уравнения (8) по выражениям (9) и (10) значения приведены на рис.4, из которого видно, что на расстоянии  $X > X_1$  разрушение породы не произойдет. Точка пересечения

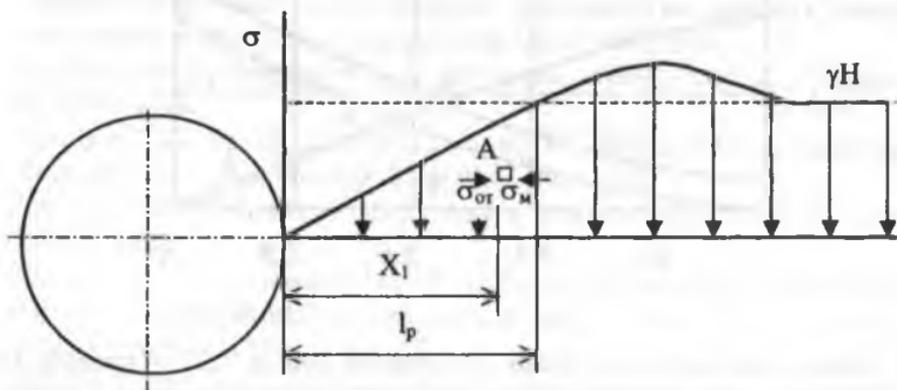


Рис.3. Схема к решению условия не разрушаемости пород.

кривых 1 и 2 характеризует предельное состояние пород на расстоянии  $X_1$  от выработки (рис.4, точка А). При значениях  $X < 0,62 l_p$  породы в данных условиях разрушатся. С учетом роста предельного сопротивления пород на разрыв расстояние  $X_1$  уменьшается. Для рассмотренных условий оно уменьшается на  $0,05 l_p$  (рис.4, точка Б).

Рассмотренное условие разрушения пород (8) не учитывает влияние отпора крепи. С учетом этого влияния разрушение произойдет, если

$$\sigma_{ок} + \sigma_{от} + \sigma_{р.пр.} < \sigma, \quad (11)$$

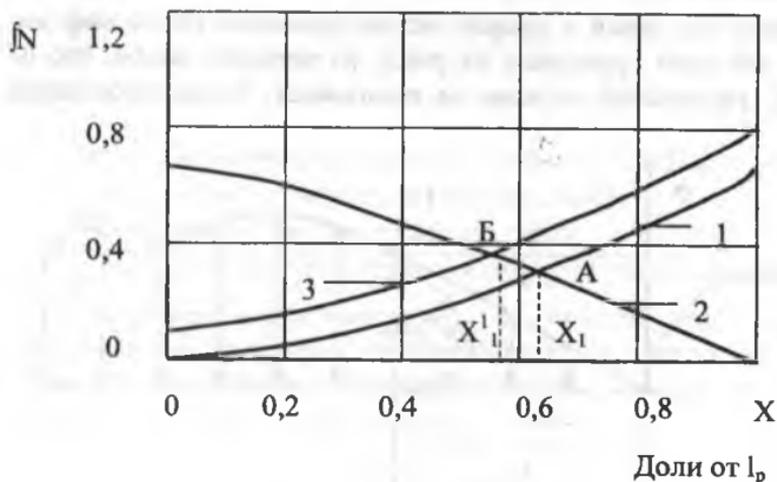
где  $\sigma_{ок}$  – отпор крепи выработки, МПа.

В случае использования анкерной крепи (рис.5) непосредственная кровля усиливается за счет ее «подшивки» к основной кровле [6], и оценку ее по условию разрушения можно производить по выражению (11). При этом  $\sigma_{от}$  будет характеризоваться несущей способностью анкерного крепления.

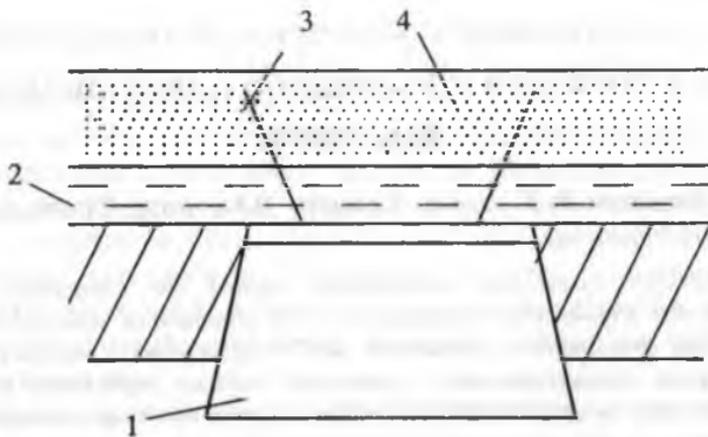
Основная кровля испытывает в данном случае большую нагрузку, чем при рамном креплении выработки. Условие разрушения основной кровли в местах заделки анкера будет описываться выражением

$$\sigma_1 + \frac{\sigma_p (\sigma_2 / + / \sigma_3 /)}{\sigma_{сж}} - \sigma_{н.к.} \geq \sigma_{р.пр.}, \quad (12)$$

где  $\sigma_{н.к.}$  – напряжения, создаваемые весом непосредственной кровли и анкерной крепью, МПа.



**Рис.4.** Схема к определению точки разрушения пород: 1,2,3 – кривые, характеризующие рост отпора пород, изменение напряжений со стороны массива и рост отпора пород с учетом предельного сопротивления на разрыв, соответственно.



**Рис.5.** Схема крепления выработки с помощью анкеров, где 1 – выработка; 2 – непосредственная кровля; 3 – анкер; 4 – основная кровля.

Из вышеизложенного можно сделать следующие выводы:

1. При выборе сравниваемых типов крепи необходима проверка разрушаемости пород по условиям (11) и (12).
2. Выбор способа крепления выработок необходимо производить на основании технико-экономического сравнения вариантов.
3. Использование предлагаемого метода оценки пород по разрушаемости позволит более обоснованно применять рациональную крепь для поддержания горных выработок.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Терещук Р.М. Обґрунтування параметрів анкерного кріплення капітальних похилих виробок в умовах шахт ДХК “Добропіллявугілля”. – автореферат дисертації на здобуття ученого ступеня канд.техн.наук. – Дніпропетровськ: 2002.-17с.
2. Боклашов И.В., Картозия Б.А. Механика горных пород. – Недра. – М.:1975.-272с.
3. Троллоп Д.Х., Бок Х., Бест Б.С., Уоллес К., Фултон М.Дж. Введение в механику скальных пород. – Мир.- М.: 1983.-276с.
4. Леонов М.Я. Механика деформаций и разрушения. – Фрунзе: Илим, 1987.-278с.
5. Нагда Ю.А., Солодовская В.Г. Неупругие деформации и разрушение горных пород. – Деформирование и разрушение горных пород. – Илим. –Бишкек: 1990, с.253-257.
6. Касьян М.М. Геомеханічні основи управління зоною зруйнованих порід навколо виробок для забезпечення їх стійкості на великих глибинах. – автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня докт.техн.наук. – ДонНТУ. – Донецьк: 2002. – 35с.