УДК 622.268.13; 622.612.22

И.Е.ДОЛГИЙ, Д.И.РАЕВСКИЙ, А.А.СИЛАНТЬЕВ
Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет)

ОСОБЕННОСТИ ДЕФОРМИРОВАНИЯ МАССИВА ПОРОД ВОКРУГ ВЫРАБОТОК С УЧЕТОМ ИХ АНИЗОТРОПИИ

Показаны методы определения параметров анизотропии горных пород, вмещающих горные выработки, характер деформации пород в приконтурной зоне при упругопластическом деформировании. Рассмотрены вопросы определения форм и размеров зон неупругих деформаций в зависимости от физико-механических свойств горных пород, глубины заложения выработок и размеров поперечного сечения.

In the article considered methods of determination, parameters to anisotropies of mountain sorts, containing mountain productions, nature of deforming the sorts an edge to the area at упругопластическом deforming; considered questions of determination of the forms and sizes of areas not springy deformation depending on the physicist-mechanical characteristics of mountain sorts, depths of a pawning the productions and sizes of cross-section.

Массивы горных пород в зависимости от горно-геологических условий залегания и характера трещиноватости проявляют свойства упругой и пластической анизотропии.

Испытания образцов горных пород при одноосном сжатии перпендикулярно и параллельно напластованию показывают, что их прочность в этих направлениях различна.

Данные испытаний горных пород осадочного чехла Восточного Донбасса приведены в табл.1. Коэффициент анизотропии равен отношению предела прочности на сжатие перпендикулярно слоистости к пределу прочности на сжатие параллельно слоистости. Для устойчивых пород он составляет 1,18-1,28, для пород средней устойчивости – 1,5-1,65, для неустойчивых – 2,5-2,7.

Анализ экспериментальных данных показывает, что предел прочности на одноосное сжатие зависит от направления слоистости пород по отношению к действующей нагрузке

$$\sigma_{пр} = \sigma_{пр}(\Theta), \qquad (1)$$

где Θ – угол между слоистостью и направлением действия нагрузки.

Известно [4], что смещение горных пород K связано с пределом прочности на одноосное сжатие зависимостью

$$K = (1 - \sin\rho)\sigma_{пр}(\Theta)/(2\cos\rho), \qquad (2)$$

где ρ – угол внутреннего трения горной породы.

При расчете параметров пластического деформирования пород в массивах с раз-

Таблица 1

Коэффициенты анизотропии пород для различных геологических формаций Восточного Донбасса

Категория устойчивости пород	Литологическая разность	Литологическая разность, МПа		Коэффициент, характеризующий степень анизотропии, δ
		перпендикулярно слоистости	параллельно слоистости	
Устойчивые	Песчанистый сланец	622	527	0,300
	Песчаник мелкозернистый	680	530	0,280
Средней устойчивости	Глинистый сланец	470	284	0,247
	Песчано-глинистый сланец	390	260	0,200

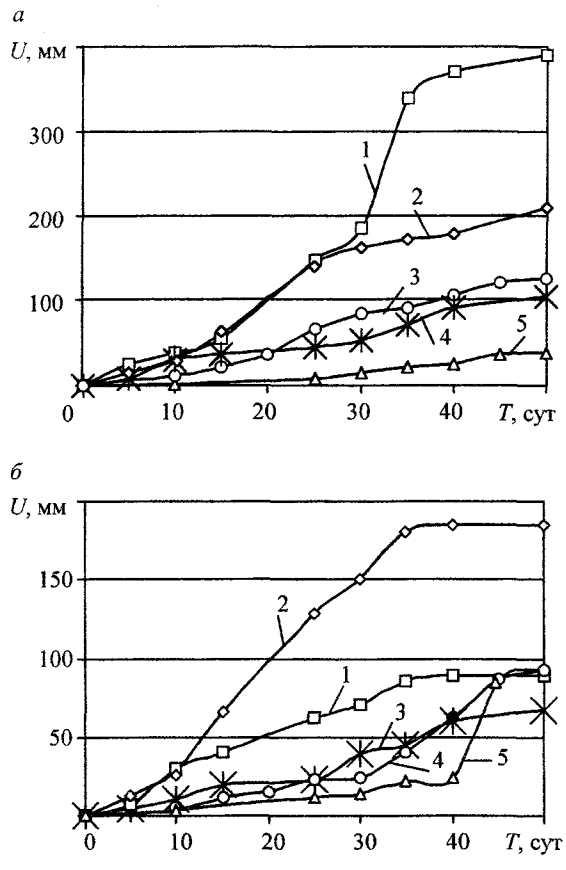


Рис.1. Зависимость смещений пород подготовительных выработок от времени их существования (вне зоны опорного давления) в почве (*а*) и кровле (*б*)
1 – замерная станция № 1 (пластовый штрек № 26);
2 – замерная станция № 3 (полевой штрек № 46);
3 – замерная станция № 8 (полевой штрек № 35);
4 – замерная станция № 9 (пластовый штрек № 1214);
5 – замерная станция № 7 (полевой штрек № 26)

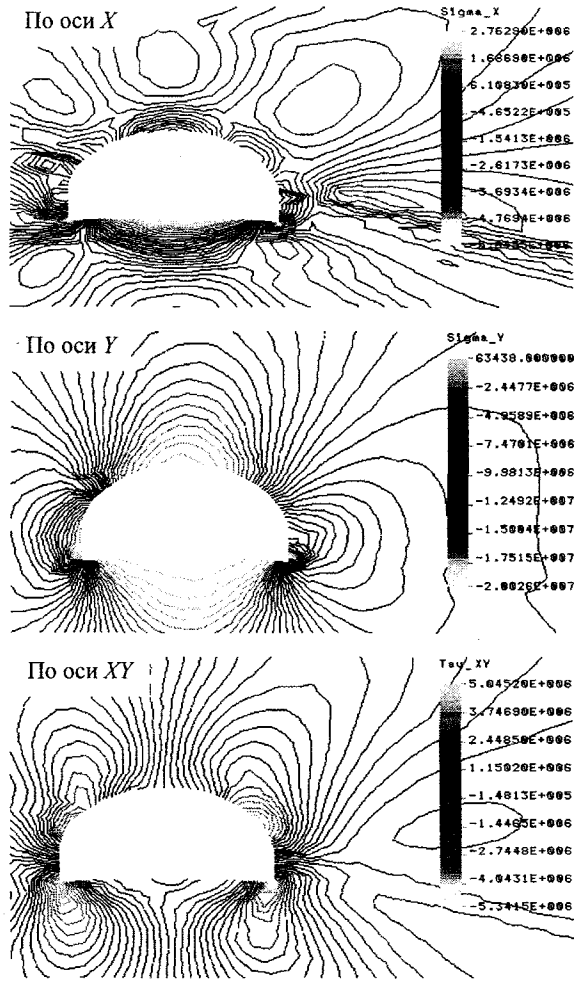


Рис.2. Характер распределения напряжений в окрестности выработок

личными пределами прочности на сжатие параллельно и перпендикулярно слоистости, необходимо учитывать угол между действующими главными напряжениями и направлениями слоистости [3].

Для определения величины сцепления пород в приконтурной зоне выработки при пластическом деформировании слоистого массива

$$K(\Theta) = K\left[1 + \delta\sum_{n=1}^{m}(a_n \cos(n\Theta) + b_n \sin(n\Theta)\right], \quad (3)$$

где δ – коэффициент, характеризующий степень анизотропии пород; a_n, b_n – коэффициенты аппроксимации; Θ – угловая координата.

В зависимости (3) для решения практических задач можно ограничиться двумя слагаемыми:

$$K(\Theta) = K(1 + \delta\cos 2\Theta). \quad (4)$$

Обозначим сцепление пород при сжатии перпендикулярно слоистости K_1 и параллельно K_2. Тогда согласно уравнению (3) имеем

$$\left.\begin{aligned} K(0) &= K(1+\delta) = K_1 \\ K(\pi/2) &= K(1-\delta) = K_2 \end{aligned}\right\}. \quad (5)$$

Откуда следует

$$K = (K_1 + K_2)/2;\ \delta = (K_1 - K_2)/(K_1 + K_2). \quad (6)$$

Таким образом, коэффициенты K и δ характеризуют величину среднего сцепле-

ния породы в приконтурной зоне выработки и разброс вызванной анизотропией прочностных свойств.

Определив коэффициенты K и δ, можно аналитически вычислить форму и размеры области пластичной деформации вокруг выработки.

В данной работе форма и размеры области пластических деформаций определены экспериментально на базе данных по реперным станциям для условий Восточного Донбасса. Реперные станции были заложены в выработках, пройденных в слоистых массивах, со следующими характеристиками: коэффициент крепости $f = 6 \div 8$, мощность угольного пласта $m = 0{,}9 \div 1{,}3$ м, угол падения пород $\alpha = 12 \div 20°$, глубина заложения $H = 500 \div 700$ м, сечение выработки в свету $S_{св} = 12{,}8 \div 15{,}2$ м^2, тип крепи КМП-А3. Характер смещения контура выработок и их величина представлены на рис.1.

Анализ инструментальных наблюдений показал, что породный контур выработки смещался по периметру неравномерно. На всех участках наибольшие смещения наблюдались в почве выработок (241 мм), смещения в кровле выработок составляли 140-150 мм; в боках 20-60 мм. Напряжения, которые соответствовали таким смещениям, были определены с помощью компьютерного моделирования (рис.2). Данные о смещениях и напряжениях показаны в табл.2.

Проанализировав данные табл.2 можно сделать следующие выводы:

• по оси Y напряжения в приконтурной зоне выработки тем меньше, чем больше смещения, что видно из смещений пород почвы и кровли и может быть объяснено характером разрушения массива в приконтурной зоне, т.е. размерами зоны неупругих деформаций;

• по оси X напряжения в приконтурной зоне выработки по падению и восстанию пласта отличаются незначительно, причем, в отличие от напряжений по оси Y, растут пропорционально смещению пород в боках выработки;

• касательные напряжения распределяются симметрично вокруг выработки (ось симметрии проходит через центр выработки перпендикулярно напластованию пород).

Выявив характер и определив напряжения, обнаружили, что коэффициент разрыхления пород в почве выработок почти в два раза больше, чем в кровле и боках.

Анализ смещений приконтурного массива по глубинным реперам позволил определить очертание и размеры зон неупругих деформаций для рассматриваемых условий. В качестве критерия границы зоны неупругих деформаций было принято суточное смещение глубинного репера 0,5 мм. Глубинные реперы были заложены в почву и кровлю выработок на глубинах 0,5; 1; 1,5; 2; 2,5; 3 м; в бока 0,5; 1,5; 2; 2,5; 3 м по угольному пласту и 0,5; 1,5; 2,5 м по породе.

Таблица 2

Смещения и напряжения на контуре выработок

Номер замерной станции	Напряжения, возникающие по оси Y, МПа		Смещения по оси Y, мм		Напряжения, возникающие по оси X, МПа		Смещения по оси X, мм		Максимальные напряжения, возникающие по оси XY, МПа	
	кровля	почва	кровля	почва	по падению	по восстанию	по падению	по восстанию		
1	-0,47	0,07	90	390	-2	-1,5	84	68	5,04	-5,34
3	-0,33	0,09	185	209	-1,8	-1,5	78	60	5,01	-4,79
7	-0,3	0,1	92	38	-3,2	-2,85	24	18	3,99	-4,40
8	-1,5	0,01	92	125	-2,6	-2,1	39	32	3,99	-4,40
9	-0,6	0,08	50	104	-1,6	-1,2	28	22	6,2	-5,57

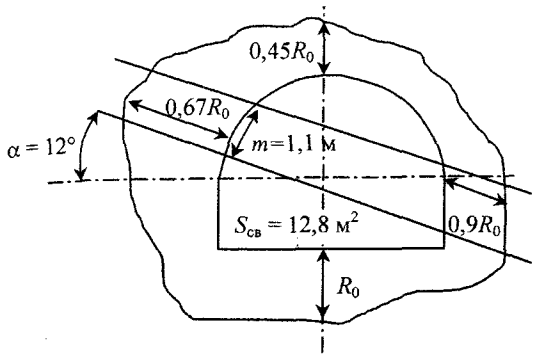


Рис.3. Формы и размеры зон неупругих деформаций для выработки, проведенной по пласту, R_0 = 2 м

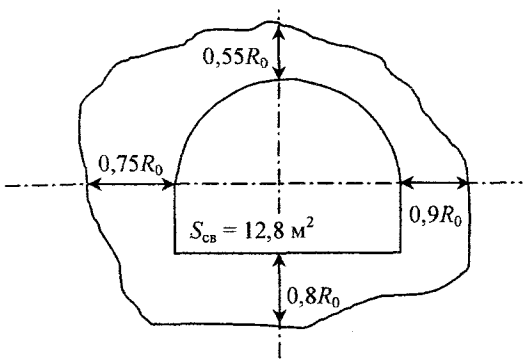


Рис.4. Формы и размеры зон неупругих деформаций для полевой выработки, R_0 = 2 м

Границы контуров зон неупругих деформаций и их размеры в долях приведенного радиуса выработок приведены на рис.3 и 4.

Размеры и форма зон неупругих деформаций не противоречат теоретическим закономерностям, изложенным в работе [4], а также практическим и теоретическим разработкам для слоистых массивов Воркутинского, Интинского и Карагандинского бассейнов [1, 2].

Определив форму и размеры зон неупругих деформаций для условий упругопластического деформирования слоистых массивов, представляется возможным рассчитать ожидаемые перемещения приконтурной зоны выработок.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Долгий И.Е.* Разработка способов управления геомеханическими процессами в массиве вокруг подготовительных выработок с целью безопасного ведения горных работ при бесцеликовой технологии / И.Е.Долгий, А.А.Силантьев // Устойчивость и крепление горных выработок: Межвуз. сб. / Санкт-Петербургский горный ин-т. СПб, 1999.

2. *Жихарев С.Я.* Научное обоснование способов охраны подготовительных выработок в слоистых неоднородных массивах пластовых месторождений: Автореф. дис. ... докт. техн. наук: Санкт-Петербургский горный ин-т. СПб, 1996. 59 с.

3. *Мирзаев Г.Г.* Крепь выработок глубоких рудников / Г.Г.Мирзаев, А.Г.Протосеня, Ю.Н.Огородников, В.И.Вихарев. М.: Недра, 1984.

4. *Ставрогин А.Н.* Механика деформирования и разрушения горных пород / А.Н.Ставрогин, А.Г.Протосеня. М.: Недра, 1992.