

*Г.И. Соловьев, Ю.Н. Панфилов, С.Г. Негрей,  
Д.А. Рубель*

**О МЕХАНИЗМЕ ПРОЯВЛЕНИЙ ГОРНОГО  
ДАВЛЕНИЯ НА КОНТУРЕ ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ  
ВЫРАБОТОК ГЛУБОКИХ ШАХТ**

Семинар № 15

**О**дной из основных задач дальнейшего развития подземной угледобычи является создание эффективных способов и средств обеспечения устойчивости подготовительных выработок в зоне влияния очистных работ.

Вокруг подготовительных выработок образуется зона разрушенных пород, представляющая собой дискретную распорную среду. Давление горного массива на крепь выработки передается через зону разрушенных пород и, поэтому, величины смещений крепи будут определяться свойствами распорной среды, а также размерами зоны разрушенных пород [1, 2].

Повышенное горное давление способствует разуплотнению вмещающих пород и снижает трение между породными отдельностями, что уменьшает способность породного контура противостоять выдавливающим усилиям.

Для увеличения несущей способности рассматриваемой части горного массива может оказаться достаточным создание небольшого локального противодействия перемещениям породных отдельностей в полость выработки посредством увеличения сцепления между ними за счет повышения силы прижатия отдельностей друг к другу и создания предпосылок для самозаклинивания по-

род на отдельных участках контура выработки.

С увеличением расстояния от контура выработки вглубь массива степень разрыхления пород снижается, а угол внутреннего трения и плотность пород увеличиваются.

Для определения количественных параметров механических процессов, происходящих в породном контуре выемочной выработки, представляющем собой дискретную распорную среду, можно применить аппарат механики дискретной среды.

Основным параметром, характеризующим подвижность частиц дискретного тела, является коэффициент бокового давления. Этот коэффициент зависит от внутреннего трения и сцепления между отдельными частицами [3]:

$$\beta = 1 - 0,74 \cdot \operatorname{tg} \varphi - \frac{1,52 \cdot c}{P}, \quad (1)$$

где  $\varphi$  - угол внутреннего трения;  $c$  - величина сцепления частиц в дискретном теле;  $P$  - давление.

Коэффициента бокового давления  $\beta$  можно определить также из выражения [4]:

$$\beta = \operatorname{tg}^2 \left( \frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2} \right), \quad (2)$$

где  $\varphi$  - угол внутреннего трения.



*Рис. 1. Общий вид структурной модели*

нок ящика последние были футерованы листами стекла 12.

В свободную полость модели объемом  $0,027 \text{ м}^3$  равномерно укладывался исследуемый материал 13, на который сверху горизонтально укладывался металлический лист 14 размерами  $295 \times 295 \times 10 \text{ мм}$ . На этом листе располагались два пневмобаллона 15, патрубки (16) от которых выводились наружу модели и были включены в единую пневмосистему с манометром (17) и насосом.

После установки баллонов ящик закрывался крышкой, в которой находилось два отверстия 18 диаметром 8 мм, через которые с помощью штангенциркуля определялось изменение высоты породы в момент отработки модели. Протяжка полотен датчиков осуществлялась динамометром ДОСМ 3-02 (19).

Для моделирования использовались породы почвы пласта  $c_{11}$  шахты «Южнодонбасская» №3, взятые в месте проведения подрывки. В соответствии с принятым масштабом моделирования (1:5), исследовался объем пород в натуре  $1500 \times 1500 \times 1500 \text{ мм}$ . Размеры отдельных вмещающих рабочую область модели, в соответствии масштабом моделирования и ранее проведенными исследованиями [5], были приняты от 0 до 31 мм. Перед засыпкой производилось взвешивание породы.

Таким образом, зная объем и вес засыпанной породы, рассчитывался ее объемный вес в разрыхленном состоянии.

Таким образом, с увеличением плотности среды коэффициент бокового давления уменьшается.

Для определения особенностей передачи усилий между отдельностями дискретной распорной среды на контуре выемочной выработки в зависимости от плотности среды были проведены лабораторные исследования.

Экспериментальная модель (рис. 1, 2) представляет собой цельносварной ящик 1 (размерами  $340 \times 340 \times 320 \text{ мм}$ ) с крышкой 4 изготовленные из металлического листа толщиной 10 мм.

Внутри ящика к одной из стенок вертикально устанавливался металлический лист 5 с размерами  $295 \times 295 \times 10$ . Между листом и стенкой горизонтально устанавливался датчик трения 6.

У противоположной стенки параллельно стенке друг над другом устанавливались четыре деревянные бруска 7 размерами  $295 \times 70 \times 10$ . По одному на каждый из брусков крепились датчики трения 8. К концам полотен 9 датчиков крепились отрезки нитей 10 и выводились наружу через отверстия 11 диаметром 8 мм. Для уменьшения влияния сте-

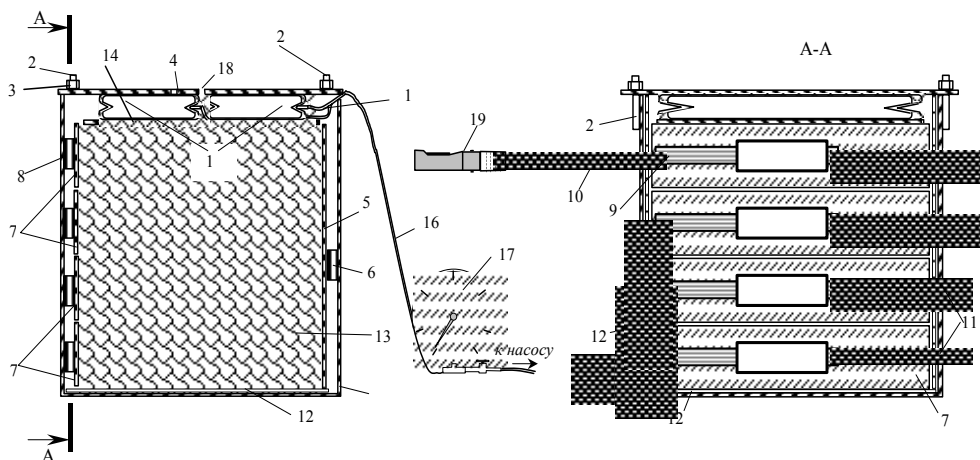


Рис. 2 Схема модели для определения передачи усилий в дискретной среде

Обработка модели заключалась в приложении вертикальной нагрузки на объем породы пневмобаллонами, регистрации давления в пневмобаллонах с помощью манометра, измерении изменения текущей высоты исследуемого объема, съеме показаний динамометра при протяжке полотен датчиков трения.

Объемный вес породы в массиве определялся на образцах. Плотность породы в массиве составила  $2,44 \text{ т/м}^3$ .

**Обработка результатов моделирования позволила установить зависимость коэффициента бокового давления от плотности дискретной породной среды, которая имеет вид:**

$$\beta = 0,5629 \cdot e^{-0,4292 \cdot \rho}; R^2 = 0,76 \quad (2)$$

где  $\rho$  - плотность породы,  $\text{т/м}^3$ ;  $R^2$  - коэффициент аппроксимации уравнения регрессии.

В реальных условиях зона разрушенных пород распространяется вглубь массива, причем коэффициент разрыхления пород в пределах зоны имеет свое максимальное значение у контура выработки и убывает по мере удаления от выработки в массив [6, 7, 8]. Значения этого коэффициента для

песчаных и глинистых пород у контура выработки составляют  $k_{p,max} = 1,15 \div 1,25$  и снижается до  $k_{p,min} = 1,0$  по мере удаления от выработки. Для упрощения расчетов изменение коэффициента разрыхления было принято линейным и имело вид:

$$k_p = k_{p,max} - \frac{(k_{p,max} - 1)}{R} \cdot x, \quad (3)$$

где  $k_p$  и  $k_{p,max}$  - коэффициенты разрыхления соответственно в толще пород и на контуре почвы выработки;  $x$  - удаление от почвы выработки, м;  $R$  - размер зоны разрушенных пород, м.

Известно, что:  $k_p = \frac{V_p}{V_m}$ ,

$$\rho_p = \frac{m}{V_p}, \quad \rho_m = \frac{m}{V_m} \quad (\text{где } V_m, V_p -$$

объемы твердой фазы горной породы соответственно до и после ее разрушения,  $\text{м}^3$ ;  $\rho_p$  - объемная масса единицы объема горной породы,  $\text{т/м}^3$ ;  $\rho_m$  - удельная масса единицы объема горной породы,  $\text{т/м}^3$ ;  $m$  - масса единицы объема, т).

$$\text{Тогда получим } \rho_p = \frac{\rho_m}{k_p} \quad (4)$$

Из выражений (2)-(4) следует:

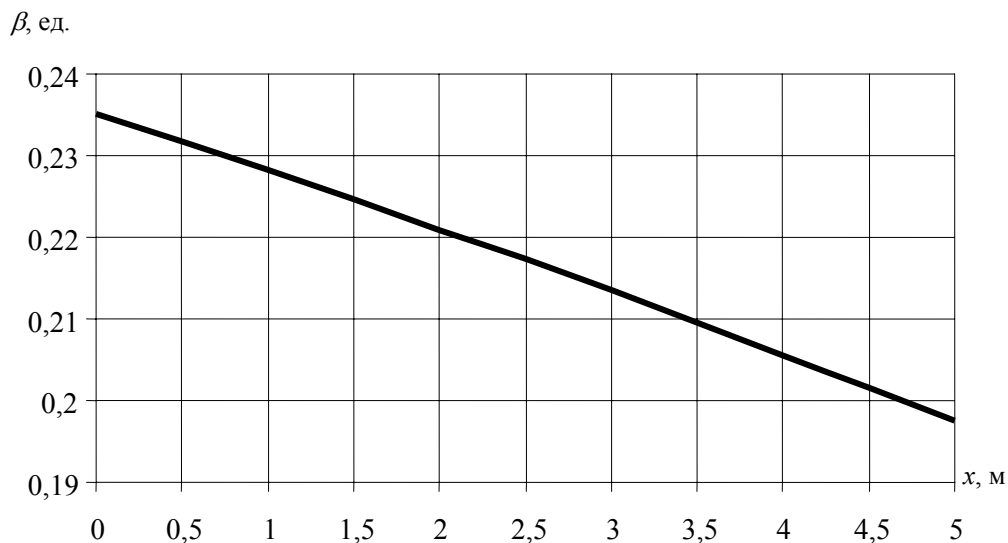


Рис. 3. Зависимость коэффициента бокового давления от расстояния до контура выработки (при размере зоны разрушенных пород  $R = 5$  м)

$$\beta = 0,5629 \cdot e^{-0,4292 \cdot \frac{\rho_m \cdot R}{k_{p, \max} \cdot (R-x) + x}}, \quad (5)$$

График зависимости коэффициента бокового давления  $\beta$  от расстояния до контура выемочной выработки  $x$  представлен на рис. 3.

В результате лабораторных исследований установлена зависимость изменения коэффициента бокового давления в разрушенных боковых породах в окрестности выемочной выработки от плотности пород и величины зоны неупругих деформаций.

Показано, что увеличение плотности дискретной распорной среды, окружающей горную выработку, обуславливает увеличение несущей способности разрушенного породного массива и может использоваться для предотвращения выдавливания пород в полость выработки.

Таким образом, для обеспечения устойчивости подготовительных выработок глубоких шахт в зоне влияния очистных работ возможно применение жесткопродольной связи между комплектами арочной крепи, которая позволяет перераспределять повышенную нагрузку между перегруженными и недогруженными арками, а рациональное расположение продольных балок по периметру верхняка обеспечивает локальное противодействие разуплотнению породных отдельностей, что в конечном итоге снижает смещение породного контура в полость выработки и обеспечивает эффективную работу арочной крепи за счет консолидации ее комплектов в продольно-поперечном направлении выработки.

1. *Бондаренко Ю.В., Соловьев Г.И., Кублицкий Е.В., Демин И.К.* О физической модели взаимодействия каркасной усиливающей крепи выемочной выработки с вмещающими породами // Горный информационно-аналитический бюллетень Московского государственного горного университета. 2002. №6. С.183-187.
2. *Соловьев Г.И., Негрей С.Г., Гирин В.С., Кублицкий Е.В.* О напряженном состоянии почвы горных выработок // Физические процессы горного производства – Донецк – ДонФТИ.– 2001. – №4. – С. 107-111.
3. *Клейн Г.К.* Строительная механика сыпучих тел. – М.: Стройиздат, 1977. – 256 с.
4. *Слесарев В.Д.* Механика горных пород и рудничное крепление. – М.: Углетехиздат, 1948. – 303 с.
5. *Бондаренко Ю.В., Соловьев Г.И., Негрей С.Г., Мороз О.К.* Моделирование механических процессов в породах почвы подготовительной выработки // Прогрессивные технологии и системы машиностроения – Донецк – ДонГТУ. – 2000. – С. 105-109.
6. *Пирогов Е.П.* Обоснование и разработка нового ресурсосберегающего способа крепления горных выработок. Автореф. дис... канд. техн. наук: 05.15.04 / Макеевка, 1996. – 19 с.
7. *Белаенко Ф.А., Глушко В.Т.* Исследование пучения горных пород в капитальных и подготовительных выработках на шахтах Донбасса // Труды Украинского научно-исследовательского института организации и механизации шахтного строительства, вып. XI, М.: Госгортехиздат, 1960. – С. 117-138.
8. *Турчанинов И.А., Иофис М.А., Каспарьян Э.В.* Основы механики горных пород. – Л.: – Недра, 1989. – 488 с. **ИДБ**

### **Коротко об авторах**

*Соловьев Г.И.* – доцент, кандидат технических наук, ДонНТУ;  
*Панфилов Ю.Н.* – директор шахты им. М.И. Калинина государственного предприятия «Донецкая угольная энергетическая компания»,  
*Негрей С.Г.* – ассистент, ДонНТУ;  
*Рубель Д.А.* – аспирант, горный мастер участка ВТБ шахты им. М.И.Калинина.

Доклад рекомендован к опубликованию семинаром № 15 симпозиума «Неделя горняка-2006».  
 Рецензент чл.-корр. РАН *Л.А. Пучков*.

