

ВЛИЯНИЕ ПЛОТНОСТИ РАЗРУШЕННОГО ПОРОДНОГО МАССИВА НА УСТОЙЧИВОСТЬ ВЫРАБОТКИ

*Ю.В. Бондаренко, Г.И. Соловьев, С.Г. Негрей, Е.В. Кублицкий, ДонГТУ
Донецк, Украина*

В определенных горно-геологических и горнотехнических условиях вокруг выемочных выработок образуется зона разрушенных пород, представляющая собой дискретную распорную среду. Передача давления массива на выработки, величина и характер деформаций выработок будут определяться свойствами сыпучей среды вокруг них, а также размерами зоны сыпучих пород вокруг горной выработки [1, 2].

Вокруг выработки образуется зона, которая представляет собой объем заполненный отдельностями разных размеров и не более чем на порядок меньшими, чем поперечные размеры выработки. Отдельности под действием горного давления перемещаются в полость выработки. Во время перемещения трение между отдельностями резко снижается и увеличивается степень разрыхления пород, что снижает способность объема пород противостоять выдавливающим усилиям. Для увеличения несущей способности рассматриваемого объема может оказаться достаточным небольшое направленное противодействие перемещениям отдельностей, так как при увеличении плотности объема, вмещающие его отдельности, будут с большей силой прижаты друг к другу, из-за чего увеличится внутреннее трение пород, тем самым интенсифицируется процесс самозаклинивания пород.

С увеличением расстояния от контура выработки степень разрыхления пород убывает, а угол внутреннего трения увеличивается, тем самым увеличивается плотность среды.

Основным параметром, характеризующим подвижность частиц сыпучего тела, является коэффициент бокового давления. Этот коэффициент

зависит от внутреннего трения и сцепления между частицами сыпучего тела [3]:

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

где φ - угол внутреннего трения; c - сцепление частиц в сыпучем теле; P – давление, испытываемое сыпучим телом.

Существует иное выражение по определению коэффициента бокового давления β [4], которое имеет вид:

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

где φ - угол внутреннего трения.

Из вышесказанного следует, что с увеличением плотности среды коэффициент бокового давления уменьшается.

С целью экспериментальной проверки данного заключения в лабораторных условиях были проведены исследования по установлению характера передачи усилий в дискретной распорной среде в зависимости от плотности этой среды, представленной горными породами в окрестности выработки.

Из листа металла толщиной 10 мм была изготовлена модель в виде цельносварного ящика 1 (рис. 1) размерами 340×340×320 мм, к которому

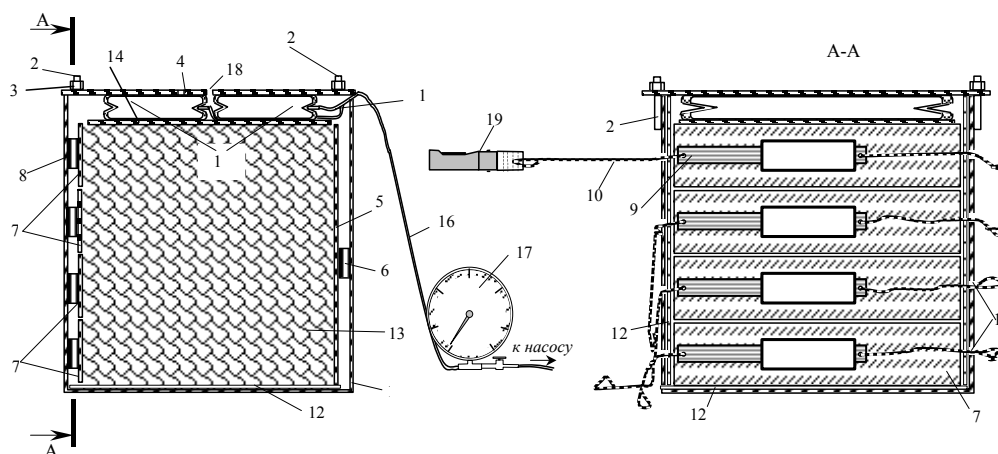


Рисунок 1 Схема модели для определения передачи усилий в дискретной среде были приварены четыре шпильки 2 для крепления с помощью гаек 3 крышки 4, изготовленной из металлического листа толщиной 10 мм. Внутри ящика к

одной из стенок вертикально устанавливался металлический лист 5 размерами 295×295×10. Между листом и стенкой горизонтально устанавливался датчик трения 6. У обратной стенки друг на друга параллельно стенке устанавливались четыре деревянные доски 7 размерами 295×70×10. По одному на каждую из досок 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 стенок ящика последние были футерованы листами стекла 12.

В свободную полость модели объемом 0,027 м³ равномерно укладывался исследуемый материал 13, сверху которого горизонтально располагался металлический лист 14 размерами 295×295×10 мм. На лист улаживались 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 определялась текущая высота породы в момент отработки модели. Протяжка полотен датчиков осуществлялась динамометром ДОСМ 3-02 (19).

В модель засыпалась порода, взятая из почвы выемочной выработки проведенной по пласту с₁₁ шахты «Южнодонбасская» №3, в месте проведения подрывки. В соответствии с принятым масштабом моделирования (1:5), исследовался объем пород в натуре 1500×1500×1500 мм. Размеры отдельностей вмещающих рабочую область модели, в соответствии с масштабом моделирования и ранее проведенными исследованиями по определению гранулометрического состава пород [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.

Отработка модели заключалась в приложении вертикальной нагрузки на объем породы пневмобаллонами, регистрации давления в пневмобаллонах с

помощью манометра, измерении текущей высоты исследуемого объема, съеме показаний динамометра при протяжке полотен датчиков трения.

Объемный вес породы в массиве определялся на образцах. После взвешивания образец породы опускался в заполненный водой мерный сосуд объемом $0,003 \text{ м}^3$, в результате чего в последнем за счет водоизмещения уровень жидкости увеличивался. Объем вытесненной жидкости был равен объему помещенного в сосуд образца. Плотность породы в массиве составила $2,44 \text{ т/м}^3$.

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

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

где ρ - плотность среды, 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 песчанистых и глинистых пород у контура выработки составляют $k_{p,max} = 1,15 \div 1,25$ и убывают до $k_{p,min} = 1,0$ по мере удаления от выработки. Для упрощения в дальнейших расчетах, это убывание 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 в толще пород и на контуре почвы выработки соответственно; x - удаление от почвы выработки, м; R - размер зоны разрушенных пород, м.

Известно, что: $k_{p.} = \frac{V_p}{V_m}$, $\rho_{p.} = \frac{m}{V_p}$, $\rho_m = \frac{m}{V_m}$ (где V_m , V_p - объемы твердой фазы горной породы и после ее разрушения соответственно, м^3 ; ρ_p -

объемная масса единицы объема горной породы, т/м³; ρ_m - удельная масса единицы объема горной породы, т/м³; m - масса единицы объема, т).

Получим:

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

Из выражений (2)-(4) следует:

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

Графически зависимость β от x , полученная в соответствии с выражением (5), представлена на рисунке 2.

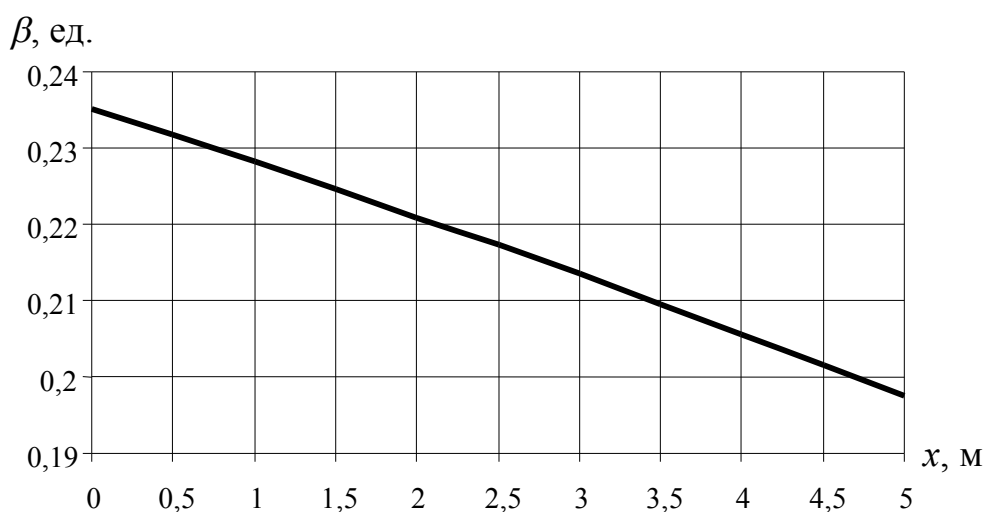


Рисунок 2 Зависимость коэффициента бокового давления β от расстояния до контура почвы выработки x при размере зоны разрушенных пород R равном 5 метров

В результате экспериментально-аналитических исследований определен коэффициент бокового давления в разрушенных породах почвы горной выработки в зависимости от плотности пород. Получено выражение, отражающее характер изменения коэффициента бокового давления с удалением от контура выработки. Доказано, что увеличение плотности среды окружающей горную выработку обуславливает увеличение несущей способности разрушенного породного массива и может послужить причиной предотвращения выдавливания пород в полость выработки

Библиографический список

1. Бондаренко Ю.В., Соловьев Г.И., Негрей С.Г. Аналитическое определение распределения коэффициента концентрации напряжений в почве горных выработок // Прогрессивные технологии и системы машиностроения – Донецк – ДонГТУ. – 2001. – находится в печати.
2. Соловьев Г.И., Негрей С.Г., Гирич В.С., Кублицкий Е.В. О напряженном состоянии почвы горных выработок // Физические процессы горного производства – Донецк – ДонФТИ. – 2001. – №4. – находится в печати.
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.: – Недрa, 1989. – 488 с.