

рости скольжения на испытательном стенде [8] (рис.4). Параметры испытательного стенда:  $l_1 = 0,92$  м;  $l_2 = 1,52$  м;  $r = 0,11$  м;  $h = 0,39$  м;  $\varphi = 3,14$  рад.

Таким образом, данные экспериментальной проверки, обоснованного нами прямого метода, приводят к сопоставлению коэффициентов трения, полученных прямым методом на плоской и цилиндрической поверхностях, что исчерпало существовавшее до этого противоречие между их количественными оценками [1, 2].

Использование обоснованного прямого метода определения коэффициента трения позволит получать достоверную оценку коэффициента трения между конвейерной лентой и барабаном, которой не присуща методическая ошибка, что будет способствовать правильному научному пониманию механизма передачи тягового усилия гибкому тяговому органу, совершенствованию теории трения гибких тел, теории и практики транспортирования грузов транспортными машинами с гибким тяговым органом.

#### Список литературы

1. Андреев А.В. Передача трением. – М.: Машгиз, 1963. – 112 с.
2. Рошин А.С. Исследование коэффициента сцепления ленты с приводным барабаном конвейера. В условиях горнорудных предприятий. Автореф. дис. на соиск. учен. степени канд. техн. наук. – Днепропетровск, 1977, 23 с. (ДГИ)
3. Лубенец Н.А. Учет влияния поперечного размера гибкого тягового органа в реализации силы тяги трением // Науковий вісник НГУ. – 2008. – №10 С. 64–66
4. Лубенец Н.А. Развитие представлений о механизме передачи тягового усилия гибкому тяговому органу трением. // Тези доп. міжнар. наук.-практич. конф. „Сучасні проблеми та перспективи розвитку транспорту гірничих підприємств“. – Д., 22–24 листопада 2007 р. – С. 44–46

5. Лубенец Н.А. Альтернативный формуле Эйлера закон реализации тягового усилия трением // Науковий вісник НГУ. – 2008. – №11. – С. 67–70

6. Тарг С.М. Краткий курс теоретической механики: Учеб. Для вузов. – 12-е изд. – М.: Высш. шк., 1998. – 416 с., ил.

7. Лубенец Н.А. Зависимость натяжения идеальной нити вдоль линии контакта с неподвижным блоком при скольжении // Науковий вісник НГУ. – 2010. – №9–10 С. 30–35

8. Биличенко Н.Я. Экспериментальное определение коэффициента трения ленты о барабан. // Вопросы рудничного транспорта. – М.: Углетехиздат, 1954. – С. 54–60.

Обґрунтовано прямий метод визначення коефіцієнта тертя конвеєрної стрічки по барабану, якому не притаманна похибка метода. Метод буде сприяти науковому розумінню механізму передачі тягового зусилля гнучкому тяговому органу, удосконаленню теорії тертя гнучких тіл, теорії і практиці транспортування вантажів із гнучким тяговим органом.

**Ключові слова:** *прямий метод, коефіцієнт тертя, конвеєрна стрічка, барабан, закон тертя гнучких тіл*

Direct method of determination of coefficient of friction of a conveyor belt against a barrel is substantiated. The method does not have methodic errors. The method will contribute to scientific understanding of mechanism of pulling pressure transmission to flexible hauling organ, flexible bodies friction theory improvement, theory and practice of freight hauling by means of flexible hauling organ.

**Keywords:** *direct method, coefficient of friction, conveyor belt, barrel, law of friction of flexible bodies*

*Рекомендовано до публікації д.т.н. В.П. Франчуком. Дата надходження рукопису 15.09.10*

УДК 622.831.3

© Мещанинов С.К., Кипко А.Э., 2010

С.К. Мещанинов, А.Э. Кипко

## ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ПРИКОНТУРНОЙ ОБЛАСТИ МАССИВА В ЗОНАХ ОБВОДНЕННЫХ ТЕКТОНИЧЕСКИХ НАРУШЕНИЙ

S.K. Meshchaninov, A.E. Kipko

## RESEARCH OF MARGINAL ROCK MASSIF STABILITY IN REGIONS WITH WATERED TECTONIC VIOLATIONS

На основе теоретических исследований получено аналитическое выражение, устанавливающее взаимосвязь предела прочности породного массива на одноосное сжатие от времени, прошедшего после момента прорыва воды в выработку. Показано, что объем вывалообразования линейно возрастает с увеличением водопритока в обводненную горную выработку. Сделан вывод о том, что предел прочности на одноосное сжатие горных пород линейно уменьшается при увеличении их влажности.

**Ключевые слова:** *устойчивость, приконтурная область, обводненность, тектоническое нарушение, предел прочности*

**Введение.** Одним из основных факторов, существенно осложняющих эксплуатацию шахтных стволов и других капитальных или подготовительных горных выработок, а также снижающих скорость их проходки, является обводненность горных пород. Влияние обводненности на устойчивость пород приконтурной области массива, как показывают многочисленные исследования, весьма существенно. В связи с этим, при осуществлении тампонажа или других мероприятий, направленных на повышение устойчивости выработок, пройденных в условиях обводненных тектонических нарушений, необходимы соответствующие геомеханические расчеты, которые не могут быть правильно сделаны без знания конкретных физико-механических параметров породного массива в таких условиях. Поэтому исследование, направленные на изучение влияния обводненности горных пород на их физико-механические свойства, весьма актуальны, так как они могут позволить более рационально выбирать технологические параметры ведения проходческих работ в этих условиях.

**Целью данной работы** является исследование устойчивости приконтурной области породного массива, вмещающего подготовительную или капитальную горную выработку в условиях повышенных водопитоков.

**Постановка задачи.** В работе [1] предложена формула для определения коэффициента устойчивости породного контура выработки  $n$

$$n = \frac{\sigma_{\tilde{n}ae} \cdot k_c \cdot k_1 \cdot k_2}{q \cdot \theta \cdot \eta_1 \cdot \eta_2},$$

где  $\sigma_{\tilde{n}ae}$  – предел прочности пород на одноосное сжатие, МПа;  $k_c$  – коэффициент структурного ослабления;  $k_1$  – коэффициент длительной прочности;  $k_2$  – коэффициент снижения прочности из-за обводненности пород;  $q$  – вертикальная составляющая начального поля напряжений, МПа;  $\theta$  – коэффициент концентрации напряжений на контуре выработки;  $\eta_1$  – коэффициент влияния смежных выработок;  $\eta_2$  – коэффициент влияния очистных работ. В [2] даны рекомендации по определению перечисленных выше параметров.

Однако предложенное соотношение содержит значительное число коэффициентов, которые имеют стохастическую природу и трудны в определении.

Критический (соответствующий вывалообразованию) радиус зоны неупругих деформаций в обводненных выработках выражается экспоненциальной функцией [3]

$$r_L^* = r_L (1 + e^{\alpha t}), \quad (1)$$

где  $r_L$  – установившийся средний радиус зоны неупругих деформаций вне зоны влияния водопитоков;  $\alpha$  – параметр, характеризующий горно-геологические условия;  $t$  – время.

Соотношение (1) не учитывает в явном виде обводненность породного массива.

Несмотря на простоту предложенного уравнения, из него все же не вытекает физический механизм процессов, происходящих в обводненном породном массиве, что затрудняет возможность его практического использования.

В [4] предложено дифференциальное уравнение, которое является физическим уравнением состояния, определяющим зависимость между радиальными перемещениями  $u$  и прочностью породного массива на расстоянии  $r$  от центра выработки

$$\frac{du}{dr} + \frac{u}{r} = \varepsilon_v^* \left( 1 - \frac{R - R_{i\tilde{n}o}}{R_c - R_{i\tilde{n}o}} \right), \quad (2)$$

где  $\varepsilon_v^*$  – максимальное относительное увеличение объема в условиях одноосного сжатия.

Основываясь на соотношениях (1) и (2), можно выразить аналитически зависимости прочности горных пород и устойчивости приконтурной области массива от их обводненности в более простом виде, используя зависимость предела прочности на одноосное сжатие от влажности.

**Основная часть.** По данным [5] прочностные свойства горных пород при приближении к разрывному нарушению уменьшаются в 3,5–4,3 раза, пористость и естественная влажность возрастают в 1,25–1,5 раза по сравнению с ненарушенным массивом, плотность пород практически не изменяется. В работе [6] отмечается, что водонасыщение повышает реологическую способность пород, а вязкость пород является функцией влажности. Коэффициент вязкости водонасыщенных пород уменьшается в 3–5 раз по сравнению с коэффициентом вязкости воздушно-сухих пород.

На рис. 1, 2 представлены зависимости, характеризующие изменение предела прочности породных образцов, извлеченных из массива, от их влажности и продолжительности нахождения в обводненном породном массиве.

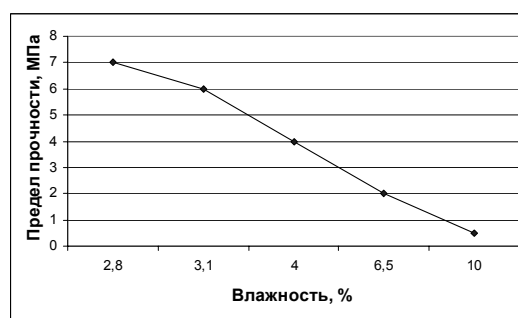


Рис. 1. Зависимость предела прочности пород на одноосное сжатие от влажности

Рис. 1. наглядно характеризует уменьшение предела прочности горных пород при росте содержания в них воды. Как видно, эта зависимость имеет практически линейный характер. Из представленной на рис. 1. зависимости видно, что повышение влажности пород в 3 раза приводит к снижению их прочности на одноосное сжатие в 5–6 раз.

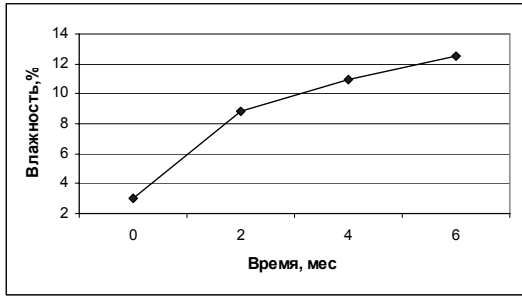


Рис. 2. Динамика изменения влажности породных образцов от времени их нахождения в обводненном углеродном массиве

Рис. 2. иллюстрирует динамику роста влажности горных пород со временем при возможном прорыве воды в ближайшие участки породного массива. Кривая, представленная на рис. 2, лучше всего аппроксимируется к логарифмической функции вида

$$W = \alpha \ln t + \beta, \quad (3)$$

где  $\alpha$  и  $\beta$  – эмпирические коэффициенты, определяемые физико-механическими свойствами горных пород, их температурой и т.п.;  $t$  – время проникновения воды по толще участка породного массива.

Полученное выражение является типичным уравнением для описания процессов насыщения. В данном случае имеет место насыщение водой пористой среды – углеродного массива.

На рис. 3. приведены данные, характеризующие изменение величины объема вывалообразования от остаточного водопритока [3].

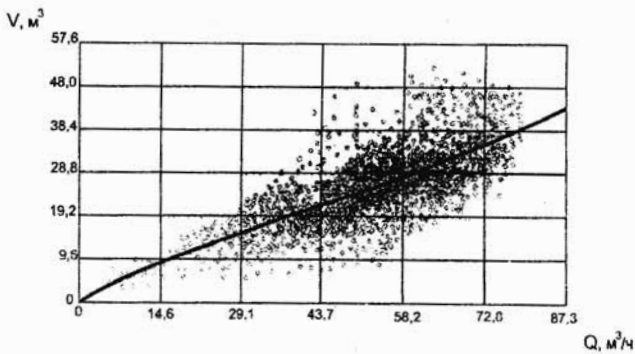


Рис. 3. Зависимость величины объема вывала от остаточного водопритока в выработке

По данным рис. 3 видно существенное увеличение объема вывалообразования при увеличении водопритока [3], которые могут быть описаны линейным уравнением. Это происходит за счет того, что вода, смачивая поверхность трещин, создает расклинивающий эффект и способствует росту протяженности трещин. С увеличением же глубины разработки в окружающих выработку породах возрастает уровень их напряженного состояния, а, следовательно, и рост трещинообразования.

Значение эквивалентной прочности массива на одноосное сжатие  $R_{\dot{a}}$  в процессе деформирования породной среды от величины  $R_c$  на границе раздела упругой и пластической областей изменяется до величины остаточной прочности  $R_{\dot{m}\dot{o}}$  на контуре выработки.

Далее в работе [4] введена функция снижения прочности породного массива на одноосное сжатие от контура выработки до контура  $L$ , разделяющего упругую и пластическую области  $f(r)$ , определяющая закон, по которому изменяется прочность пород на одноосное сжатие в окрестности горной выработки. В общем виде функция снижения прочности  $f(r)$  описывается следующим выражением [4, 7]

$$f(r) = \frac{A}{r^2} - B, \quad (4)$$

где  $A$  и  $B$  – коэффициенты, равные

$$A = \frac{r_L^2}{1 - r_L^2} (1 - k_{ocm}); \quad B = \frac{r_L^2 - k_{ocm}}{1 - r_L^2},$$

где  $r_L$  – безразмерный радиус области пластических деформаций (рис. 4.), [4];  $r_L = \frac{R_L}{R_0}$ ;  $k_{\dot{m}\dot{o}}$  – коэффициент

остаточной прочности, равный отношению предела прочности на одноосное сжатие пород на контуре выработки  $R_{\dot{m}\dot{o}}$  к пределу прочности на одноосное сжатие

пород в упругой области  $R_c$ ;  $k_{\dot{m}\dot{o}} = \frac{R_{\dot{m}\dot{o}}}{R_c}$ .

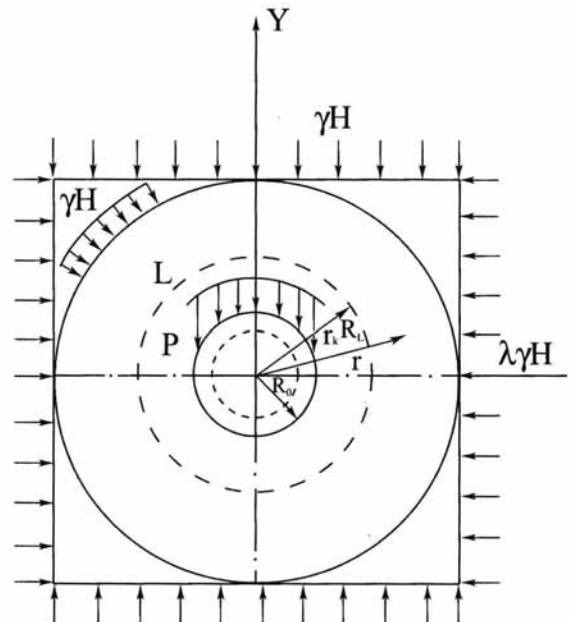


Рис. 4. Схема к определению нагрузки на податливую крепь горной выработки

Графически зависимость функции снижения прочности от расстояния до контура выработки представлена на рис. 5.

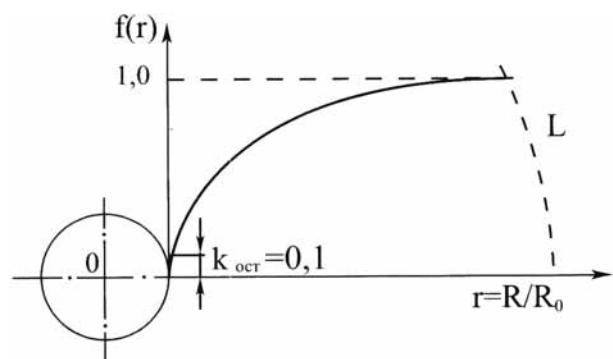


Рис. 5. Изменение прочности горных пород на одноосное сжатие в окрестности выработки

Сравнивая кривые, представленные на рис. 1, 2 и 5, можно прийти к выводу, что при увеличении влажности горных пород на конуре выработки происходит постепенная потеря ее устойчивости, уменьшение предела прочности горных пород на одноосное сжатие. Достичь устойчивого состояния горной выработки можно уменьшением величины фактического радиуса зоны неупругих деформаций и смещений на контуре, в частности, изолируя боковые породы от повышенного влагонасыщения [3].

Очевидно, что в случае прорыва воды из области тектонического нарушения величина безразмерного радиуса области пластических деформаций изменяется, причем это изменение происходит в соответствии с рис. 2 по логарифмическому закону. Поэтому выражение (4) может быть переписано в следующем виде

$$f(r) = \frac{A}{[r \cdot \alpha (\ln t + \beta)]^2} - B.$$

Полученное выражение устанавливает взаимосвязь между функцией снижения прочности породного массива на границе обнажения и временем поступления воды из зоны обводненного тектонического нарушения.

В работе [8] предложено выражение для определения средней прочности массива на одноосное сжатие

$$R_m = [1 - \sqrt{0,5\eta} \exp(-0,25\eta)] R_c, \quad (5)$$

где  $\eta$  – коэффициент вариации прочности породных образцов;  $R_c$  – предел прочности породных образцов на одноосное сжатие.

Выражение (5) может быть переписано в следующем виде

$$R_m = R_c \cdot k_c \cdot k_{\hat{a}}, \quad (6)$$

где  $k_{\hat{a}}$  – коэффициент, учитывающий снижение прочности горных пород от их увлажнения;  $k_c = 1 - \sqrt{0,5\eta} \exp(-0,25\eta)$ .

Данная зависимость связывает величину  $k_c$  с реальной характеристикой – вариацией значений прочности породного массива относительно своего среднего значения [8]. Для идеально однородной среды

$\eta = 0$  и  $k_c = 1$ . По мере увеличения вариации данных, т.е. с ростом неоднородности массива (его разрушением), величина  $k_c$  уменьшается [8].

Сравнивая выражения (3) и (6) можно сделать вывод, что величина коэффициента, учитывающего снижение прочности горных пород от их увлажнения  $k_{\hat{a}}$  должна находиться в той же зависимости от времени, прошедшего после момента прорыва воды в горную выработку, что и влажность пород этой области  $W$ . Так как было уже показано, что эта зависимость имеет логарифмический характер, то выражение (6) можно переписать следующим образом

$$R_m = R_c \cdot k_c \cdot \ln t + C,$$

где  $C$  – некоторая константа, учитывающая горно-геологические и технологические особенности конкретной горной выработки.

Таким образом, получено выражение, устанавливающее взаимосвязь предела прочности породного массива на одноосное сжатие от времени, прошедшего после момента прорыва воды в горную выработку.

#### Выводы:

1. Предел прочности горных пород на одноосное сжатие линейно уменьшается при увеличении их влажности.

2. Объем вывалообразования линейно возрастает с увеличением водопритока в обводненную горную выработку.

3. При прорыве воды в область, примыкающую к участку породного массива, содержащего горную выработку, влажность пород приконтурной области увеличивается по логарифмическому закону.

4. Достичь долговременной устойчивости горной выработки можно путем уменьшения величины радиуса зоны неупругих деформаций и смещений на контуре, изолируя породы приконтурной области от повышенного влагонасыщения путем применения метода комплексного тампонажа горных пород.

5. Предел прочности на одноосное сжатие породного массива находится в логарифмической зависимости от времени, прошедшего после момента прорыва воды из области обводненного тектонического нарушения.

#### Список литературы

1. Баклашов И.В., Картозия Б.А. Механика подземных сооружений и конструкции крепей. – М.: Недра, 1984. – 415 с.
2. Инструкция по проектированию крепей капитальных горных выработок для условий угольных шахт Кузбасса. – Кемерово, 1978. – 98 с.
3. Кобзарь Ю.И. Влияние обводненности горных пород на устойчивость подготовительных выработок глубокой шахты // Науковий вісник НГУ. – 2008. – №10. – С. 9–12.
4. Шашенко А.Н., Тулуб С.Б., Сдвижкова Е.А. Некоторые задачи статистической геомеханики. – К.: „Пульсары“, 2002. – 304 с.

5. Ходжаев Р.Ш. Экономическая эффективность эксплуатации сложных угольных месторождений. – М.: Недра, 1983. – 247 с.
6. Свойства пород и устойчивость горных выработок / [авт. текста Усаченко Б.М.] – К.: Наук. думка, 1979. – 136 с.
7. Шашенко А.Н., Пустовойтенко В.П. Механика горных пород: учебник для вузов. – К.: Новий друк, 2004. – 400 с.
8. Шашенко А.Н., Сдвижкова Е.А., Кужель С.В. Масштабный эффект в горных породах. – Д.: АРТ ПРЕСС, 2004. – 132 с.

На основі теоретичних досліджень стійкості приконтурної області обводненого породного масиву в зонах тектонічних порушень отримано аналітичний вираз, що встановлює взаємозв'язок межі міцності породного масиву на одноосний стиск від часу, що пройшов після моменту прориву води у виробку. По-

казано, що об'єм вивалоутворення лінійно зростає зі збільшенням водопритоку в гірничу виробку.

**Ключові слова:** *стійкість, приконтурна область, обводненість, тектонічне порушення, межа міцності*

On the basis of theoretical researches of marginal region of watered rock massif stability, it is obtained the analytical expression setting intercommunication of rock massif tensile strength on monaxonic compression from time, passing after the moment of water inrush to mine working located in the area with tectonic violations. It is shown that the volume of rush formation increases in linear way as the water inflow to mine working rises.

**Keywords:** *stability, marginal region, watering, tectonic violation, tensile strength*

*Рекомендовано до публікації д.т.н., О.М. Шашенком  
Дата надходження рукопису 15.07.10*

УДК 622.272:624.191.5

© Харин С.А., 2010

С.А. Харин

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ СРЕДСТВ БУРЕНИЯ ПРИ ПРОХОДКЕ ГЛАВНОГО КВЕРШЛАГА ГОРИЗОНТА ВТОРОЙ СТУПЕНИ ВСКРЫТИЯ

S.A. Kharin

## RESEARCH OF PRODUCTIVITY OF DRILLING TOOLS WHEN DRIVING MAIN CROSSCUT OF HORIZON OF THE SECOND STAGE OF OPENING

Проведены исследования параметров, влияющих на интенсивность проходки выработок шахты и рациональную организацию строительства. Показано, что производительность средств бурения, позволяющая обеспечить данную скорость проходки выработки, возрастает по мере сокращения продолжительности строительства горизонта второй ступени вскрытия, причем зависимость производительности бурения от времени строительства горизонта может быть описана степенной функцией.

**Ключевые слова:** *производительность, бурение, шахта, горизонт, проходка, скорость, ступень вскрытия, функция, удельный коэффициент прироста производительности бурения по фактору времени*

Для строительства шахт на больших глубинах вопросы рациональной организации работ приобретают особую остроту. В этой связи выполним анализ эксплуатационной производительности средств бурения, позволяющей обеспечивать скорости проведения главного квершлага горизонта 2-й ступени вскрытия, которая отвечает директивному времени строительства этого горизонта. Производительность бурения шпуров в забое выработки в зависимости от скорости ее проходки может быть найдена по формуле

$$B = \frac{N_{ин}}{\frac{T'_ц}{l_{ц}} - \frac{\eta\mu S}{P_{нгр}} - \frac{\eta W_{кр}}{P_{кр}}},$$

причем  $T'_ц = T_ц - t_{зрж} - t_{всп} - \sum t_{пзкл}$ ,

где  $B$  – эксплуатационная производительность бурения шпуров в забое выработки, м/ч;  $N_{ин}$  – число шпуров в забое выработки;  $T'_ц$  – время проходческого цикла, приходящееся на операции бурения шпуров, погрузки породы и крепления выработки, ч;  $l_{ин}$  – глубина шпуров, м;  $\eta$  – коэффициент использования шпуров (КИШ);  $\mu$  – коэффициент излишка сечения (КИС);  $S$  – площадь сечения выработки в проходке, м<sup>2</sup>;  $P$  – производительность погрузки породы в массиве, м<sup>3</sup>/ч;  $W_{кр}$  – объем работ по креплению выработки набрызгбетоном, м<sup>2</sup>;  $K$  – производительность крепления выработки набрызгбетоном, м<sup>2</sup>/ч;  $T_ц$  – общее время проходческого цикла, ч;  $t_{зрж}$  – время зарядки шпуров, ч;  $t_{всп}$  – сумма времени на вспомогательные операции, ч;  $\sum t_{пзкл}$  – сумма времени на подготовительно-заключительные операции, ч.