

УДК 622.831.24: 622.268.12

## УПРАВЛЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТЬЮ ПОРОД В ЗОНАХ ДИЗЪЮНКТИВНЫХ НАРУШЕНИЙ

к.т.н. Кольчик Е.И., к.т.н. Кольчик И.Е. (ИФГП НАНУ),  
инж. Болбат В.А. (ЗАО «Донецксталь – металлургический завод»)

*Наведено результати аналітичних досліджень та спосіб підвищення стійкості зруйнованих порід у зонах диз'юнктивних порушень.*

## MANAGEMENT BY STABILITY OF ROCKS IN ZONE OF DISJUNCTIVE DISLOCATIONS

Kolchik E.I., Kolchik I.E., Bolbat V.A.

*The results of analytical researches and method of decision of stability of the rocks in the zone of disjunctive dislocations are resulted.*

Для обеспечения эффективной работы угольных шахт необходимо проведение и поддержание большого объема подготовительных выработок. Наличие дизъюнктивных нарушений значительно усложняет ведение горных работ. При вскрытии выработкой геологического нарушения возможно возникновение газодинамических явлений. В процессе поддержания выработок происходят высыпания и вывалы разрушенных в нарушении пород. Все это значительно снижает безопасность работ и ухудшает технико-экономические показатели угольных шахт.

При проведении горных выработок на некоторых шахтопластах встречается большое количество мелкоамплитудных дизъюнктивных нарушений. На ряде шахт одной выработкой может быть встречено до 50 нарушений (до 2,5 нарушений на 100 м протяженности выработки) [1]. У некоторых нарушений породы разрушены и поэтому происходит их интенсивное выдавливание и высыпание в выработку. Это приводит к увеличению затрат на поддержание горных выработок в 1,01 – 2,2 раза [2]. Поэтому вопрос обеспечения устойчивости горных выработок в зоне влияния геологических нарушений является важным и актуальным.

Проблема поддержания горных выработок в местах их контакта с геологическими нарушениями исследовалась большим количеством ученых. Установлены параметры зоны влияния нарушения. Причем, основным фактором, характеризующим нарушение, является показатель интенсивности нарушения горного массива вблизи геологического нарушения [3, 4], который определяется по формуле (1)

$$P_n^{max} = 0,026A_c + 0,11K_1^2 - 0,009; \quad (1)$$

где  $P_n^{max}$  – величина показателя интенсивности нарушения горного массива;  $A_c$  – амплитуда смещения, м;  $K_1$  – коэффициент, равный отношению величины геостатических напряжений к прочности пород на одноосное сжатие,

$$K_1 = \frac{\gamma H}{\sigma_{сж}};$$

$\gamma H$  – величина напряжений в нетронутом массиве на данной глубине, МПа;  
 $\sigma_{сж}$  – предел прочности пород на одноосное сжатие, МПа.

Для снижения величины смещений в зоне влияния нарушений рекомендуется производить упрочнение пород [5, 6]. Однако это лишь несколько снижает величину смещений пород и полностью не обеспечивает безремонтное поддержание выработок.

Установлен эффект самозаклинивания пород при образовании вокруг выработки разгруженной зоны [7]. Это способствует снижению смещений пород. Однако полностью процесс смещений не прекращается из-за разрушения и перемещения зон саморасклинивания.

Повысить устойчивость не нарушенных пород можно так же путем разделения массива на клинья [8]. В этом случае разрушение пород и их смещения в выработку приостанавливаются.

В области влияния дизъюнктивного нарушения породы разрушены и могут представлять сыпучую среду. В связи с этим при выборе способа охраны и поддержания горных выработок необходимо знать предельное равновесие сыпучей среды.

Для сыпучих сред предельное равновесие будет при выполнении условия [9]

$$\tau_n \leq K' + \sigma_n \operatorname{tg} \rho', \quad (2)$$

где  $K'$  – эффективный коэффициент сцепления;  $\sigma_n$  – величина сжимающих нормальных напряжений, МПа;  $\rho'$  – угол внутреннего трения. Согласно В.Ю. Изаксона [10] для пород угольных месторождений он может быть принят равным  $\rho' = 20^\circ$ .

Эффективный коэффициент сцепления по рекомендациям Г.Н. Кузнецова [11] может быть определен:

–  $K' = (0,6 \dots 0,9) K$  – при учете микрослоистости ( $K$  – коэффициент сцепления);

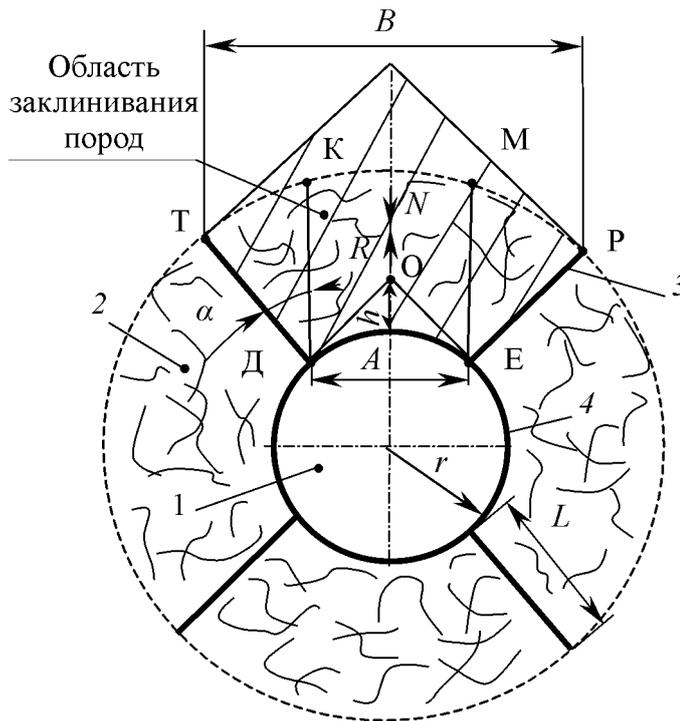
–  $K' = (0,3 \dots 0,6) K$  – при учете поверхностей отдельностей;

–  $K' = (0 \dots 0,3) K$  – при учете прочности на контактах слоев.

Вблизи горной выработки породы находятся в 4-х областях механического состояния: допредельной; запредельной; остаточной прочности и руинного разрушения [12]. При этом породы в области руинного разрушения находятся в полностью разрушенном состоянии. Они формируют нагрузку на крепь и вывалообразования в горную выработку.

Состояние руинного разрушения может быть сформировано в массиве и до ведения горных работ. Это наблюдается чаще всего в зонах влияния тектонических нарушений.

Снизить величину смещений пород и повысить устойчивость горных выработок в зоне влияния нарушения можно путем создания в разрушенных породах упрочненных зон (рис. 1). Для предотвращения высыпаний пород в выработку необходимо по ее контуру создание упрочненного кольца.



**Рис. 1.** Схема образования упрочненных зон в разрушенных породах: 1 – выработка, 2 – разрушенные породы, 3 – упрочненные полосы, 4 – упрочненное кольцо

В условиях клина происходит зажатие разрушенных пород. При этом в средней части клина (область ДКМЕ) будут действовать напряжения создаваемые весом горного массива ( $N = \gamma H$ , МПа, где  $\gamma$  – объемная плотность пород;  $H$  – глубина заложения выработки) и напряжения создаваемые реакцией отпора заклиненных пород ( $R_1$ ).

Тогда система будет находиться в равновесии при выполнении условия

$$R_1 + \tau_n \geq N, \quad (3)$$

Величина напряжений отпора пород в данном случае определяется по формуле

$$R_1 = 1,41N \cos(90 - \alpha), \quad (4)$$

где  $\alpha$  – угол отклонения плоскости упрочненной полосы от оси клина, градусов.

Величина предельного равновесия пород будет равна

$$\tau_n = K' + N \left[ 1 + \frac{C}{L} \cos(\alpha) \cos(90 - \alpha) \right] tqr^1, \quad (5)$$

где  $C$  – расстояние между точками М – Р и Т – К, м:

$$C = \frac{(B - A)}{2};$$

$A$  – расстояние между точками Д – Е, м:

$$A = \frac{2\pi r}{n};$$

$r$  – радиус выработки, м;  $n$  – количество клиньев по контуру выработки.

$$n = \frac{180}{\alpha};$$

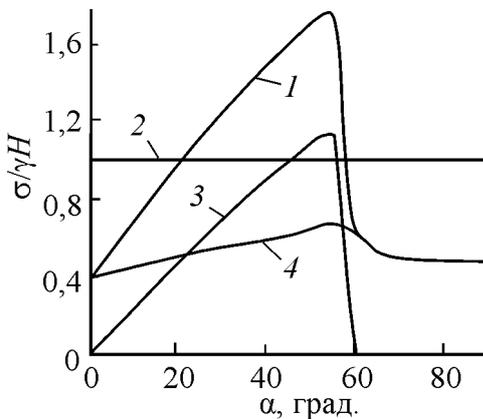
$B$  – расстояние между концами упрочненных полос (между точками Т – Р):

$$B = \frac{2\pi(r + L)}{n}.$$

По приведенным зависимостям (3), (4), (5) были построены графики для различных углов отклонения упрочненных полос (рис. 2). Расчеты выполнялись для следующих условий:

- глубина заложения выработки – 800 м;
- объемная плотность пород – 2,5 т/м<sup>3</sup>;
- радиус выработки – 2 м;
- длина упрочненной полосы – 2 м;
- предел прочности на разрыв – 5 МПа;
- эффективный коэффициент сцепления  $K^1 = 0,5K$ ;
- угол внутреннего трения – 20°.

В результате выполненных расчетов установлено, что при  $\alpha = 20\text{--}59^\circ$  разрушенные породы будут находиться в равновесии, поскольку суммарная величина отпора пород и величины предельного равновесия превышает действующие напряжения (рис. 2).



**Рис. 2.** Изменение напряжений в средней части клина от величины угла отклонения  $\alpha$  упрочненной полосы от оси клина: 1 – изменение суммарной величины предельного равновесия пород, 2 – изменение величины действующих напряжений, 3 – изменение величины отпора пород, 4 – изменение величины предельного равновесия пород

При  $\alpha < 20^\circ$  и  $\alpha > 59^\circ$  разрушенные породы будут смещаться в выработку.

При этом с увеличением угла  $\alpha$  над выработкой образуется зона ДОЕ, где породы находятся в зажатом состоянии.

На крепь выработки на этом участке действуют напряжения создаваемые лишь весом разрушенных пород заключенных в области ДОЕ (см. рис. 1). Для приведенных условий максимальная величина напряжений будет равна 0,01–0,05 МПа, что значительно меньше несущей способности крепи.

В области ЕМР величина предельного равновесия пород будет равна

$$\tau_n = K' + N \left[ 1 + \frac{C}{L} \cos(90 - \alpha) \right] tq\rho^1, \quad (6)$$

Величина напряжений отпора пород в этой области зависит от угла  $\alpha$  и равна:

– при  $\alpha \leq 27^\circ$

$$R_2 = 1,41 \frac{NC}{L} \cos(90 - \alpha), \quad (7)$$

– при  $\alpha > 27^\circ$

$$R_2 = N \cos^2(90 - \alpha), \quad (8)$$

Величина действующих напряжений в области ЕМР определяется по формуле

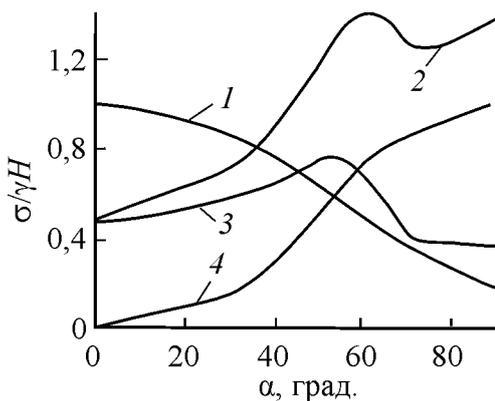
$$N_d = N(\cos \alpha + \lambda \sin \alpha), \quad (9)$$

где  $N_d$  – величина действующих на нарушение равновесия системы напряжений, МПа;  $\lambda$  – коэффициент бокового распора. Для сыпучих сред он может быть принят равным  $\lambda = 0,2$ .

Тогда в области ЕМР равновесие системы будет при выполнении условия

$$N_d \leq \tau_{п} + R_2, \quad (10)$$

Расчеты показали, что величина предельного равновесия пород с изменением угла  $\alpha$  от 0 до  $54^\circ$  возрастает с 0,43 до  $0,78\gamma H$ , а затем снижается и при достижении  $\alpha = 90^\circ$  составляет  $0,39\gamma H$  (рис. 3).



**Рис. 3.** Изменение величины напряжений в области ЕМР от угла  $\alpha$ : 1 – изменение величины действующих напряжений, 2 – изменение суммарной величины предельного равновесия, 3 – изменение величины предельного равновесия пород, 4 – изменение величины отпора пород

Величина отпора пород на контакте с плоскостью упрочненных полос с увеличением угла  $\alpha$  возрастает.

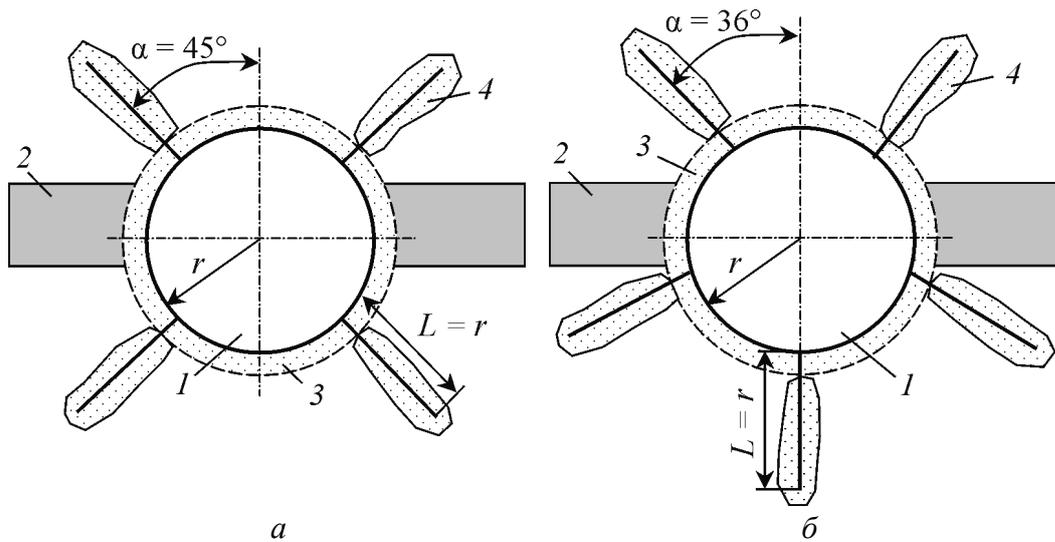
С изменением угла  $\alpha$  от 0 до  $90^\circ$  величина действующих на перемещение пород напряжений изменяется от  $\gamma H$  до  $0,2\gamma H$ .

Равновесие системы наступает при угле  $\alpha \geq 36^\circ$ .

Расположение упрочненных полос необходимо принимать такое, чтобы полоса не пересекала угольный пласт (рис. 4), поскольку это приведет к усложнению работ по выемке упрочненного пласта у сопряжения со штреком (ходком).

Из изложенного можно сделать следующие выводы:

1. Повышение устойчивости разрушенных в зоне влияния дизъюнктивного нарушения пород можно достичь путем создания по контуру выработки упрочненного кольца и разбиения горного массива на клинья с помощью упрочненных полос;



**Рис. 4.** Схема расположения упрочненных полос относительно угольного пласта: *а* – при создании 4-х полос, *б* – при создании 5-и полос, *1* – горная выработка, *2* – угольный пласт, *3* – упрочненное кольцо (оболочка), *4* – упрочненная полоса

2. На устойчивость разрушенных пород в области клина существенное влияние оказывает угол отклонения плоскости упрочненной полосы от оси клина;

3. В центральной части клина равновесие разрушенных пород наступает при  $\alpha = 20\text{--}59^\circ$ , а в области, примыкающей к плоскости упрочненной полосы при  $\alpha > 36^\circ$ . Наибольший эффект заклинивания разрушенных пород по всему клину достигается при  $\alpha = 36\text{--}54^\circ$ .

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кольчик Е.И. Влияние мелкоамплитудной дизъюнктивной нарушенности на устойчивость выработок // Физико-технические проблемы горного производства. – Донецк: ИФГП НАН Украины. - 2006. - № 9. – С. 202 – 210.
2. Кольчик Е.И., Кольчик И.Е. Исследование влияния геологических нарушений на устойчивость выработок // Физико-технические проблемы горного производства. – Донецк: ООО «Апекс». - 2002. – Вып. 5. – С. 61 – 64.
3. Ланда А.И. Исследование и оценка устойчивости горных выработок, сооружаемых в зонах геологических нарушений // Автореф. дис... канд. техн. наук: 05.15.02 / ДПИ. – Донецк, 1982. – 22 с.
4. Кошелев К.В., Петренко Ю.А., Новиков А.О. Охрана и ремонт горных выработок. – М.: Недра, 1990. – 218 с.
5. Руководство по упрочнению неустойчивых горных пород и углей нагнетанием пенополиуретанового состава. – М.: ИГД им. А.А. Скочинского. – 1988. – 28 с.
6. Гелескул М.И., Кузнецов Г.И., Танг В.А. Опыт упрочнения горных пород за рубежом. – М.: ЦНИЭИуголь, 1977. – 47 с.
7. Александров С.М. Керування стійкістю підготовчих виробок регулюванням ефекту саморозклинювання вміщуючих порід // Автореф. дис... д-ра техн. наук: 05.15.11. / ДНГУ – Дніпропетровськ, 2004. – 36 с

**Прогноз и управление состоянием горного массива**

8. Способ охраны выработок: А.С. № 1481419 СССР. МКИ<sup>2</sup> E21Д 13/02// Н.Н. Касьян, А.Ф. Морозов, О.Ю. Кузьмич, Е.И. Кольчик. – Оpubл. 23.05.89. Бюл. № 19. – 3 с.
9. Соколовский В.В. Статика сыпучей среды. – М.: ГИФМЛ, 1960. – 243 с.
10. Изаксон В.Ю. О зоне нарушений сплошности вокруг горизонтальной выработки круглого сечения в массиве с поверхностями ослабления // Современные проблемы механики горных пород. – Л.: Наука. – 1972. – С. 71 – 73.
11. Кузнецов Г.Н. Графические методы оценки предельных состояний трещиноватого массива вокруг горных выработок // Современные проблемы механики горных пород. – Л.: Наука. – С. 34 – 44.
12. Кириченко В.Я., Рубец Г.Г., Соколовский В.И. Аналитическое описание зон разрушенных пород вокруг длительно эксплуатируемых горных выработок // Геотехническая механика. – Днепропетровск: ИГТМ НАН Украины. – 2005. – Вып. 61. – С. 149 – 173.