

самообрушение рудного массива при периодическом увеличении его размеров в плане (рис. 1-3);

естественное самообрушение рудного массива при постоянном размере самообрушающейся части его в плане (рис.4).

При первом режиме самообрушения рудного массива наблюдается три стадии очистной выемки:

I стадия - подсечка рудного массива, параметры которой в процессе ее образования устойчивы;

II стадия - постепенное увеличение геометрических параметров подсеченного рудного массива до размеров, обеспечивающих создание рудной подушки на выпускных выработках;

III стадия - увеличение размеров подсеченного рудного массива до параметров, обеспечивающих его массовое самообрушение.

При втором режиме самообрушения рудного массива на

I стадии - проводится подсечка рудного массива по всей подлежащей самообрушению его площади;

II стадии - естественное самообрушение рудного массива по всей площади вплоть до его массового самообрушения за счет снижения его устойчивости во времени.

Выводы и направление последующих исследований. Зависимости приведенные в данной работе представляют геомеханические основы определения геометрических параметров обнажений, обеспечивающих регулируемое самообрушение рудного массива в различных горно-геологических и горнотехнических условиях отработки запасов богатых железных руд. Таким образом, решена актуальная задача, позволяющая повысить эффективность подземной добычи руд и конкурентоспособность горнодобывающих предприятий.

Список литературы

1. Настанова Міністерства промислової політики України «Визначення та контроль допустимих розмірів конструктивних елементів систем розробки залізних руд. Інструкція по застосуванню»/ **Є.Бабець, В.Сакович, С.Сиротюк, В.Цариковський, Вал.Цариковський, Є.Яценко**/ - Кривий Ріг: ДП «НДГРІ», 2010 -121 с.

Рукопись поступила в редакцию 29.03.12

УДК 622.831

Н.Н. КАСЬЯН, д-р техн. наук, проф., И.Г. САХНО канд. техн. наук, доц.,
О.К. МОРОЗ канд. техн. наук, проф.

УПРАВЛЕНИЕ КИНЕТИКОЙ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ПОРОД В ПРЕДЕЛАХ ЗОНЫ РАЗРУШЕНИЯ ВОКРУГ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

В лабораторных условиях выявлены закономерности перемещения элементов деструктурированного массива в пределах зоны разрушенных пород, предложен способ управления направлением их перемещений, путем создания в массиве искусственных плоскостей скольжения.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Одним из условий эффективной и безопасной работы шахт Украины является обеспечение устойчивого состояния горных выработок на протяжении всего периода их эксплуатации при минимальном расходе материалов. Традиционный подход, основанный на увеличении сопротивления крепи выработки смещениям вмещающих пород, реализуемый за счет повышения металлоемкости каждого погонного метра выработки в условиях современных горно-геологических условий, существенно повышает затраты на сооружение и поддержание горных выработок, однако уже не обеспечивает существенного улучшения их состояния. Об этом свидетельствует опыт внедрения в последние годы на передовых угледобывающих предприятиях Украины средств и технологий поддержания горных выработок, отвечающих современному мировому уровню. Даже на этих предприятиях вопрос восстановления эксплуатационного состояния выработок, подверженных влиянию очистных работ и поддерживаемых за лавой, стоит достаточно остро.

Анализ исследований и публикаций. Фундаментальные исследования геомеханической системы «массив-горная выработка», проведенные в последние 70 лет, позволяют однозначно утверждать, что с современных позиций смещения контура горной выработки и нагрузка на ее крепь определяются образованием и последовательным развитием вокруг нее зон упругих, не-

упругих деформаций (ЗНД) и зоны разрушенных пород (ЗРП). При этом история изменения напряженно-деформированного состояния горного массива после проведения выработки оказывает существенное влияние на дальнейшее поведение пород и механизм их деформирования. Перераспределение напряжений вокруг выработки приводит к повышению трещиноватости пород, что сопровождается снижением их несущей способности и увеличением объема, это вызывает рост давления на крепь подготовительных выработок.

Большинство современных ученых сходятся во мнении, что полностью предотвратить развитие вокруг выработки ЗРП в современных условиях не представляется возможным. Анализ комплексных шахтных инструментальных наблюдений, проведенных под руководством проф. Черняка И.Л. [1] показывает, что размеры ЗРП вокруг выработок не подверженных влиянию очистных работ, в зависимости от соотношения действующих напряжений и предела прочности пород, достигают 2 м при смещениях контура – 200 мм, 5 м при смещениях – 500 мм. А размер зоны разрушения вокруг выработки в зоне влияния очистных работ достигает 7-8м при смещениях контура выработки более 500мм. Доля смещений на этом участке может достигать 80 % от смещений на сопряжении с лавой. Вокруг выработки поддерживаемой в зоне интенсивных смещений после прохода лавы размер зоны разрушенных пород достигает 10 и более метров. Таким образом, дальнейшая перспектива эксплуатации горных выработок связана с их поддержанием в условиях развития во вмещающем массиве зоны разрушенных пород, что необходимо учитывать при разработке новых эффективных способов обеспечения устойчивости горных выработок. Нагружение крепи выработки в такой ситуации происходит за счет увеличения пород в объеме при их разрушении на границе ЗРП и в ее пределах при нарушении сложившегося равновесного состояния, например, при попадании выработки в зону опорного давления, ее подработке, наработке и др.

Постановка задачи. На наш взгляд наиболее перспективным направлением обеспечения устойчивости выработок представляется направленное изменение кинетики сдвижений горных пород вокруг выработок, которое может быть реализовано в рамках идеи использования особенностей и закономерностей поведения горных пород в процессе их разрушения и формирования нагрузки на крепь для обоснования способов обеспечения устойчивости выработок, предложенной в работе [2]. Согласно предлагаемой концепции с известной долей идеализации породный массив, вмещающий горную выработку в пределах ЗРП, может быть представлен дискретной средой.

Предлагается рабочая схема-гипотеза основанная на том, что перемещения пород в пределах зоны разрушенных пород происходят не хаотично, а по примерно одинаково ориентированным плоскостям скольжения, угол наклона которых определяется литотипом пород, их свойствами. Как правило, эти плоскости скольжения связывают с линиями сдвига и углом внутреннего трения.

Известно, что состояние предельного равновесия в точке сыпучего тела наступает в двух площадках, которые соответствуют наибольшему углу отклонения $\delta_{\max} = \varphi$. Эти площадки расположены симметрично по отношению к направлению действия главных напряжений (с учетом давления связности) в данной точке и составляют друг с другом углы $90^\circ \pm \varphi$. Эти площадки являются площадками скольжения. В каждой точке любого напряженного тела, в том числе и сыпучего, касательные напряжения достигают своего наибольшего значения по площадкам, составляющим с главными площадками углы, равные 45° . В сыпучих телах, у которых сопротивление сдвигу определяется не только величиной сцепления, но и величиной действующего по данной площадке нормального сжимающего напряжения, опасными в отношении сдвига будут площадки для которых отношение $|\tau| / \sigma'$, являющееся тангенсом угла отклонения приведенного напряжения от нормали, окажется наибольшим. Сдвиг произойдет в том случае, когда указанный угол достигнет величины угла внутреннего трения [3]. Таким образом, из вышесказанного ясно, что повысить устойчивость дискретного массива можно путем уменьшения касательных напряжений на площадке сдвига, что приведет к уменьшению угла отклонения приведенного напряжения и недопущения возникновения сдвига по площадке.

На основе приведенных рассуждений предлагается способ управления напряженно-деформированным состоянием дискретизированного массива основанный на искусственном создании дополнительных плоскостей скольжения в массиве и локальном упрочнении пород, позволяющий уменьшить касательные напряжения по площадкам сдвига в заданной области пород.

В статье ставилась задача изучения механизма передачи давления от фронта развития ЗРП через условно дискретный массив на контур выработки, и разработка способа уменьшения нагрузки на крепь выработки за счет управления кинетикой сдвижений в массиве. Решение поставленной задачи в лабораторных условиях проводилось методом физического моделирования на структурных моделях. Моделировался участок массива пород, вмещающий горную выработку. Задача решалась в плоской постановке. При моделировании соблюдалось геометрическое подобие.

Изложение материала и результаты. Для моделирования был изготовлен специальный стенд, представляющий собой деревянную раму (1) в форме прямоугольника с задней глухой и передней прозрачной стенками. С одной стороны модели по контуру располагалась камера №1 (2), которая была предназначена для контроля пригрузки модели, которая имитировала давления, возникающие на фронте зоны разрушения. По контуру модели с противоположной стороны располагалась камера №2 (3) – предназначенная для определения давлений передаваемых через дискретную среду, и позволяющая фиксировать давления на уровне выработки (на пласт). В центре модели располагалась камера №3 (4), имитирующая горную выработку и позволяющая фиксировать давления на ее контуре. В качестве дискретных элементов (5) применяли пластиковые пустотелые шарики диаметром 5 см, стеклянные шарики диаметром 2 см, горох со средним диаметром 0,6 см и керамзит со средним размером 1,6 см. Плоскости скольжения имитировали отрезками плотного картона (6). Принципиальная схема модели представлена на рис. 1.

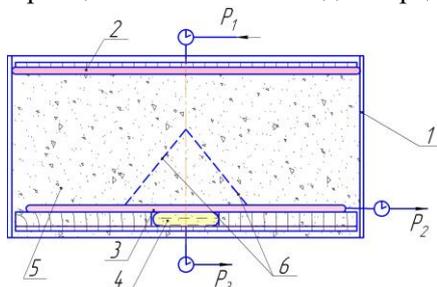


Рис. 1 Принципиальная схема модели

Перед экспериментом дискретные элементы укладывались в модель. В качестве рабочего агента в камерах использовали воду. Давление в камере №1 повышали путем механического сжатия камеры, а фиксацию давления в рабочих камерах №2 и №3 проводили по увеличению высоты водяного столба в гидросистеме соединенной с этой камерой. После достижения предельного давления в камере №1, проводилась пошаговая разгрузка модели, с контролем показаний давлений в обеих камерах. Фиксация проводилась с помощью цифровой видеосъемки модели в плане и данных обеих шкал. Было проведено несколько серий опытов, которые отличались между собой схемой расположения плоскостей скольжения, а также дискретным материалом.

Сначала производили нагружение модели с конкретным дискретным материалом без искусственных плоскостей скольжения, эти показания принимались в качестве исходных. В процессе нагружения модели без искусственных плоскостей скольжения, визуально заметна ориентация естественных плоскостей скольжения.

В экспериментах с шарами искусственные плоскости скольжения ориентировали под углом 30 град (рис. 2), что обусловлено геометрией дискретных элементов. Для остальных моделей угол изменяли и он составлял 30-45-60 град.

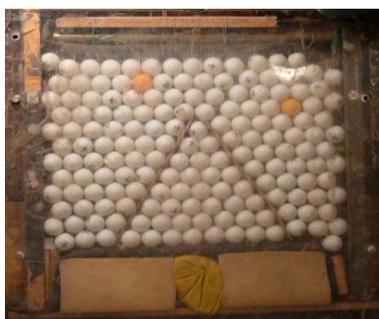


Рис. 2. Общий вид модели с искусственными плоскостями скольжения (дискретный материал-пустотелые пластиковые шары)

Динамика передачи давления через дискретный массив из пустотелых шаров представлена на рис. 3.

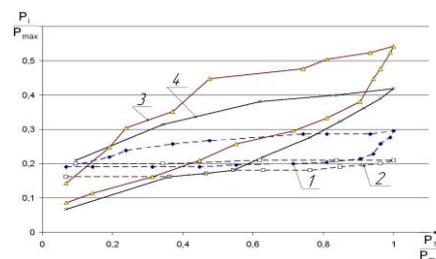


Рис. 3. Графики зависимости относительного давления P_1/P_{max} , возникающего в моделях на контуре выработки, (1,2) и на уровне почвы выработки в ее боках (1,2) в пределах ЗРП, от величины относительного давления на фронте ЗРП P_1/P_{max} : 1,3 - модели без искусственных плоскостей скольжения; 2,4 - модели

с искусственными плоскостями скольжения

Из рисунка видно, что создание плоскостей скольжения приводит к снижению относительного давления от развития фронта ЗРП на уровне почвы выработки с 55 до 42 %, а давления на контур выработки с 31 до 21 %.

Графики передачи давления через дискретный массив из керамзита приведены на рис. 4.

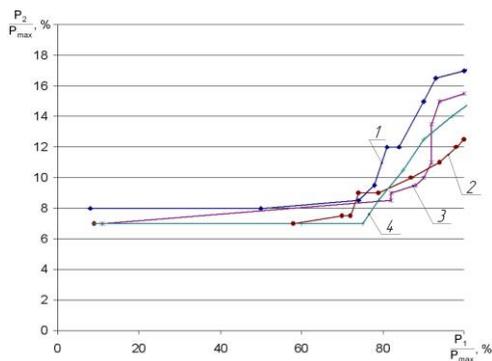


Рис. 4. Графики зависимости относительного давления P_2/P_{max} , возникающего в моделях на уровне почвы выработки в ее боках в пределах ЗРП, от величины относительного давления на фронте ЗРП P_1/P_{max} : - без искусственных плоскостей скольжения, 2-4 - с искусственными плоскостями скольжения расположенными под углом 30, 45, 60 градусов к нормали

Анализ проведенных экспериментов, показывает, что при расположении плоскостей скольжения под углом 30, 45 и 60 градусов к нормали давление передаваемое от фронта разрушения к плоскости почвы выработки составляет 12,4, 15,7, и 14,8 % соответственно, а при отсутствии искусственных плоскостей скольжения - 17%. Таким образом, давление уменьшается на 27, 7,6, и 13% соответственно. Давление на контур имитируемой выработки при указанных углах расположения плоскостей скольжения составляет 12,5, 14, 13%, а при отсутствии искусственных плоскостей скольжения - 15,5%, то есть уменьшается на 20, 9,6, 11% соответственно. Таким образом, максимальный эффект снижения давления на контур выработки наблюдается при угле 30 град. к нормали, что физически объясняется близостью этого угла к углу естественного трения исследуемых дискретных сред. В зависимости от вида дискретного материала в модели давление, передаваемое на контур, изменяется от 30 до 11%. Максимальный эффект наблюдается в моделях из пустотелых пластиковых шаров, минимальный - в наполненных горохом. Таким образом, эффективность предлагаемого способа зависит от размера дискретного элемента. Для технической реализации предложенной идеи авторами статьи предложен способ охраны горных выработок [4], включающий инструментальное определение размеров зоны разрушенных пород, бурение по контуру выработки скважин до образования вокруг нее зоны разгрузки, ограниченной пересечением создаваемых в массиве искусственных плоскостей скольжения, ориентированных под углом равным углу внутреннего трения к плоскости нормальной напластованию пород, таким образом, чтобы линия пересечения создаваемых плоскостей скольжения с нормальной напластованию плоскостью линейно аппроксимировала ортогональную проекцию продольной оси выработки на границу зоны разрушенных пород, направленную разгрузку массива при помощи взрывания кумулятивных зарядов и заполнение скважин после разгрузки массива твердеющим саморасширяющимся составом, которым заполняют скважины на глубину не менее длины патрона. Предложенный способ охраны изображен на рис. 5.

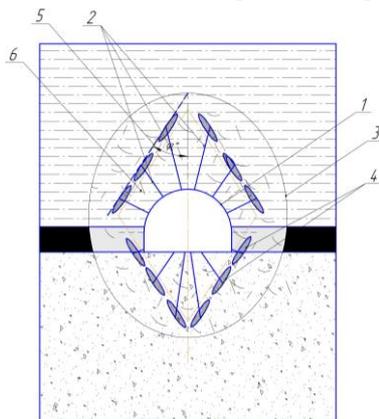


Рис. 5. Способ охраны горных выработок, основанный на создании искусственных плоскостей скольжения в массиве: 1 – охраняемая горная выработка, 2 – скважина, 3 – зона разрушенных пород, 4 – зона разгрузки, 5 - искусственные плоскости скольжения, 6 – область сжатых пород

Выводы и направления дальнейших исследований.

Реализация предлагаемого способа охраны выработок позволяет корректировать направление смещений массива и экранировать выработку от перемещений пород в ее полость при развитии зоны неупругих деформаций, что способствует повышению устойчивости охраняемой горной выработки

Таким образом, в результате проведенных лабораторных исследований были выявлены закономерности перемещения пород в пределах ЗРП, предложен способ корректирования направления перемещений, путем создания искусственных плоскостей скольжения, что позволяет снизить нагрузку на контур охраняемой выработки на 11-30 % в зависимости от размеров породных фрагментов дискретной области. Дальнейшие исследования будут направлены на получение количественных зависимостей и параметров предложенного способа охраны горных выработок методом численного моделирования.

Список литературы

1. Черняк, И.Л. Управление горным давлением в подготовительных выработках глубоких шахт / И.Л. Черняк, Ю.И. Бурчаков – М. : Недра, 1984. – 304 с.
2. Касьян, Н.Н. Геомеханические основы управления зоной разрушенных пород вокруг выработок для обеспе-

чения их устойчивости на больших глубинах: Дис... д-ра техн. наук: 05.15.02. – Донецк, 2002. – 358 с.

3. Клейн, Г.К. Строительная механика сыпучих тел / Г.К. Клейн – М.: Стройиздат, 1977. – 131 с.

4. Пат. № 97006, МПК E21D 11/00 (2006.01), F42B 1/00 (2006.01), F42D 3/04 (2006.01), E21C 41/18 (2006.01) Спосіб охорони гірничих виробок і пристрій для його здійснення / М.М. Касьян, І.Г. Сахно (Україна). – а201002611; заявл. 09.03.2010, опубл. 26.12.2011, бюл. № 24. – 16с.:ил.

Рукопись поступила в редакцию 16.02.12

УДК 622.28.5

Ю.А ПЕТРЕНКО, А.О НОВИКОВ, д-р техн. наук, доц., А.В РЕЗНИК, инженер,
И.Н. ШЕСТОПАЛОВ, ассистент, ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет»

РАВНОРАДИУСНАЯ МЕТАЛЛИЧЕСКАЯ КРЕПЬ НАПРАВЛЕННОЙ ПОДАТЛИВОСТИ

Приведен анализ причин деформирования металлической арочной податливой крепи, а также результаты лабораторных и аналитических исследований изменения работоспособности крепи при различных углах залегания вмещающих выработку пород. Предложена универсальная конструкция крепи, обеспечивающая длительную устойчивость поддерживаемых выработок.

Проблема и ее связь с научными или практическими задачами. Многолетний опыт крепления выработок металлической рамной податливой крепью показывает, что оно не обеспечивает их нормальное эксплуатационное состояние в течении срока службы. Предпринятые в последние десятилетия попытки улучшить состояние выработок путем применения более мощных профилей и уплотнения крепи положительных результатов не дали, а привели лишь к росту материальных и трудовых затрат на поддержание.

Анализ основных исследований и публикаций. Ежегодно протяженность подготовительных выработок, находящихся в неудовлетворительном состоянии, увеличивается на 1-2 % (табл. 1).

Таблица 1

Состояние подготовительных выработок на шахтах Донецко-Макеевского района Донбасса

По состоянию на:	Протяженность выработок, км	Протяженность участков, не удовлетворяющих требованиям Правил Безопасности	
		км	%
2000	845,77	144,66	17,1
2002	643,38	127,41	19,8
2006	530,28	102,27	19,3
2007	480,15	92,7	19,3
2009	426,07	89,69	21,0
2010	419,92	93,27	22,2

Проведенный анализ состояния выработок, закрепленных различными видами крепи (табл. 2), показал, что преобладающим видом крепи на шахтах Донбасса остается металлическая арочная податливая крепь, которой закреплено около 90% горных выработок.

Таблица 2

Объем применения и состояние крепи горных выработок

Вид крепи	2004		2006		2008		2010	
	1*	2	1	2	1	2	1	2
Металлическая податливая	90,2	70,4	90,4	71,6	90,5	71,9	90,6	73,2
Бетонная и железобетонная	4,4	32,2	3,5	34,3	2,7	31,8	2,5	30,9
Смешанная	3,2	43,4	2,8	41,6	2,85	42,0	2,8	41,2
Комбинированная на основе анкерной	1,5	20,3	2,6	21,1	3,1	20,8	3,2	21,2
Анкерная	0,3	10,2	0,5	12,1	0,7	11,7	0,8	11,9
Другие виды	0,4	50,2	0,2	49,3	0,15	48,1	0,1	46,0
Итого	100		100		100		100	

* – объем применения крепи, %; 2 – деформировано крепи, %

Опыт эксплуатации выработок, закрепленных арочной крепью, показывает [1], что основным фактором, снижающим устойчивость выработок, является несовпадение направления по-