

- разработка научных основ создания нормативно-методического обеспечения, которое должно в полной мере определять порядок и методы обследований оборудования шахтного ствола, как объекта повышенной опасности;

- усовершенствование технической и аппаратурной базы в связи с усложнением горно-геологических и горнотехнических условий добычи в сочетании с факторами износа и старения обследуемого стволового оборудования.

Основными направлениями внедрения Технологии диагностики ШПК являются разработка организационно-технических мероприятий по ее последующей интеграции в отраслевой системе мониторинга безопасной эксплуатации глубоких стволов шахт и рудников, а также расширение базы внедрения Технологии на другие отрасли горнодобывающей промышленности Украины, страны СНГ и дальнего зарубежья.

УДК 622.831.27

Д-р техн. наук И.В. Антипов
канд. техн. наук Н.И. Лобков
(ИФГП НАН Украины)

ГЕОМЕХАНИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ХАРАКТЕРА ОБРУШЕНИЯ КРОВЛИ В ОЧИСТНЫХ ЗАБОЯХ

Наведено результати досліджень зсувів покрівлі та характеру руйнування порід у очистних вибоях.

GEOMECHANICAL SUBSTANTIATION OF ROOF CAVING CHARACTER IN LONGWALLS

Results of roof strata movement researches and character of rock failure in longwalls are given.

Устойчивость непосредственной и обрушаемость основной кровли в значительной степени определяет уровень нагрузки на очистные забои шахт ГП "Торезантрацит". Вывалы непосредственной кровли в виде мелких фракций в призабойное пространство с обыгрыванием крепи приводят к остановкам лав для закладки полостей вывалов и обеспечения распора секций крепи. При разрушении непосредственной кровли крупными блоками, очень часто наблюдается ее интенсивное смещение над призабойным пространством, зажатие секций, посадка крепи на жесткую базу, длительные простои лав. Особенно интенсивные смещения и обрушения пород происходят в период первичной посадки основной кровли, а иногда и в периоды вторичных посадок при залегании над пластом мощных породных. Подобные смещения вызывают поломки забойного оборудования, потери добычи угля. В таблице 1 приведены величины потерь рабочего времени и добычи за 2010 год.

Как видно из таблицы, значительная часть потерянного времени приходится на горный фактор, под которым понимается обрушение кровли и, как следствие, выход из строя забойного оборудования. Поэтому актуальным является исследование параметров обрушаемости основной и снижения устойчивости непосредственной кровли.

Таблица 1 – Потери рабочего времени и добычи на шахтах ГП "Торезантрацит" в 2010 году

Наименование предприятия	Потери рабочего времени, час.				Потери добычи, т
	Горный фактор	Забойное оборудование	Транспорт	Прочие потери	
Шахта "Прогресс"	282	1025	83	640	79701
Шахта имени Л.И. Лутугина	990	2225	2668	1395	393346
Шахта имени К.И. Киселева	438	633	1446	1527	31761
Шахта Яблоневская	144	40	517	22	6110

Цель статьи – установление закономерностей обрушения кровли и проявления горного давления в очистных забоях, для чего решаются следующие задачи:

- анализ особенностей разрушения непосредственной и обрушения основной кровли;
- изучение строения породного массива в кровле пласта;
- изучение характера формирования опорного давления;
- определение шага посадки кровли.

В результате инструментальных и визуальных наблюдений за поведением кровли в очистных забоях было установлено, что при залегании непосредственно над пластом мощного и прочного слоя сланца или песчаника происходят наиболее интенсивные смещения пород в периоды первичной и вторичных посадок. Шаг первичной посадки кровли, характер разрушения и обрушения в призабойном пространстве зависит от мощности слоя и прочностных характеристик породы. Так в 12-й восточной лаве шахты "Прогресс" непосредственно над пластом залегал слой песчано-глинистого сланца мощностью 18 м, предел прочности на одноосное сжатие составлял 80 МПа. Первичная посадка кровли произошла при отходе лавы от разрезной печи на 130 м и разрушение породного слоя происходило в виде блоков длиной 1...3 м. Максимальные смещения боковых пород у заднего ряда механизированной крепи достигало 400мм, что привело к посадке крепи на жесткую базу (рис. 1а).

Уменьшение прочности непосредственной кровли ведет к уменьшению шага первичной посадки и разрушению пород впереди лавы в зоне опорного давления на мелкие фракции, просыпающиеся в призабойное пространство вслед за проходом комбайна.

Примером может служить поведение пород кровли лавы № 2 пласта h_8 шахты "Заря" (рис. 1б), где непосредственно над пластом залегал глинистый сланец мощностью 16...18 м с крепостью пород по шкале М.М. Протоdjяконова $f = 5$. Шаг первичной посадки кровли составил 60м. Расположение полости, образованной обрушенной породой дает основание утверждать, что кровля разрушилась на мелкие фракции впереди забоя в зоне опорного давления.

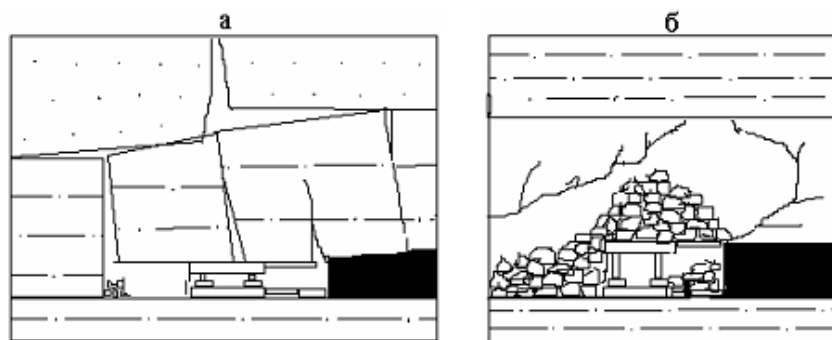


Рис. 1 – Обрушение пород кровли блоками а) и мелкими фракциями б)

Аналогично вели себя породы кровли и в 5-й, 6-й восточных лавах шахты "Прогресс". Максимальное смещение боковых пород в призабойном пространстве лав до первичной посадки не превышало 100...150 мм, несмотря на зависание кровли в выработанном пространстве до 60...130 метров.

При залегании мощного и прочного слоя пород на удалении от пласта в 15...20 метрах шаг первичной посадки определяется мощностью и прочностью этого слоя (основной кровли), а характер разрушения и обрушения пород в призабойное пространство мощностью и прочностью непосредственной кровли, причем прочность породы играет решающую роль.

Интенсивные вторичные посадки кровли наблюдались в 12-й и 13-й восточных лавах пласта h_8 шахты "Лесная". В пределах выемочных полей этих лав непосредственно над пластом залегал слой песчаного сланца мощностью 6..8 м, крепостью $f = 6$, а выше него слой песчаника мощностью 20...25 м, крепостью $f = 9...10$. Шаг вторичных посадок составлял 20...25 м, во время которых происходило обрушение кровли в призабойном пространстве лав в виде блоков. Это приводило к смятию кромки пласта, вдавливанию стоек индивидуальной призабойной и посадочной крепи в 12-й восточной лаве в почву, а также к посадке секций механизированной крепи в 13-й восточной лаве на жесткую базу. Смещение боковых пород в лавах во время вторичных посадок кровли достигало 600 мм.

По мере отработки 12-й восточной и 12-й западной лав шахты "Прогресс" после первичной посадки кровли наблюдались интенсивные смещения боковых пород в лавах и подготовительных выработках без периодического повторения. Эти явления выходили за рамки традиционных представлений о вторичных посадках кровли.

При увеличении ширины выработанного пространства, т.е. при последовательной отработке трех и более лав и общей ширине выработанного пространства ≥ 600 м первичная посадка кровли проходила более интенсивно. Величина смещений боковых пород достигала 400...500 мм, наблюдался капеж воды из разломов кровли. Подобные явления происходили также в 5-й, 6-й, 23-й, 24-й восточных лавах шахты "Прогресс".

Приведенные выше примеры проявлений горного давления позволяют предположить, что помимо первичных посадок мощных и прочных породных

слоев, залегающих непосредственно над пластом или на незначительном удалении от пласта, на призабойную крепь оказывают влияние и посадки мощных слоев, залегающих значительно выше. Анализ геологических разрезов, построенных по данным геологоразведочных скважин в пределах поля шахты "Прогресс" показал, что породный массив в кровле пласта h_8 сложен чередующимися слоями сланцев и песчаников, мощность некоторых из них составляет 15...30 м, а иногда и более. Как правило, выше мощных слоев залегают слои с меньшей мощностью 1...10 м, а также угольные пропластки, пропластки углестого сланца и слабых пород, обеспечивающие четкий межслоевой контакт.

Исследования характера сдвижения породных слоев в кровле пласта над выработанным пространством в натуральных условиях [1] и на моделях из эквивалентных материалов [2] позволяют сделать вывод о поочередном прогибе слоев. Начиная от разрезной печи, по мере подвигания лавы прогибается, а при достижении предельного пролета [3] обрушается слой непосредственной кровли, за тем прогибается и соответственно обрушается лежащий над ним слой и в таком порядке все вышележащие слои. Если в кровле пласта имеется мощный и прочный слой (несущий), а над ним один или несколько слоев маломощных и менее прочных, то формируется группа слоев, обрушающаяся вместе с обрушением несущего слоя.

Предельный пролет каждого слоя можно определить по формуле Г.Л.Фисенко [3], а предельный пролет несущего слоя с учетом веса, обрушающихся вместе с ним вышележащих менее прочных слоев (пригрузки), из работы [4]. Из этой работы определяем и величину опорного давления, как сумму давлений на кромку пласта прогибающихся в период первичной посадки групп слоев, залегающих в породном массиве кровли.

Принимая во внимание, что несущий слой над выработанным пространством можно принять за тонкую плиту, жестко заделанную по четырем или трем сторонам, прогиб которой в центральной части соответствует прогибу балки, а слой у заделки находится в сложном напряженном состоянии [3] сжатия с растяжением, то процесс разрушения пород можно представить в следующем виде.

При изгибе породного слоя мощностью h над выработанным пространством в верхней его части (рис. 2), в месте заделки формируются горизонтальные растягивающие напряжения, величина которых растет с каждым подвиганием лавы, т.е с увеличением $l_{в.п.}$. В нижней части слоя (в зоне опорного давления), формируются и постоянно возрастают с подвиганием лавы горизонтальные сжимающие напряжения. В средней части слоя, над выработанным пространством, также происходит формирование сжимающих и растягивающих напряжений, соответственно в верхней и нижней его частях.

Величина максимальных горизонтальных растягивающих напряжений, вызывающих в точке А образование или развитие трещины, при подвигании лавы в указанном направлении уменьшается, при перемещении точки А в выработанное пространство. В промежутке между точками А и В растягивающие напряжения равны нулю. При приближении к точке В возрастают горизонталь-

ные сжимающие напряжения и в точке В достигают максимальной величины.

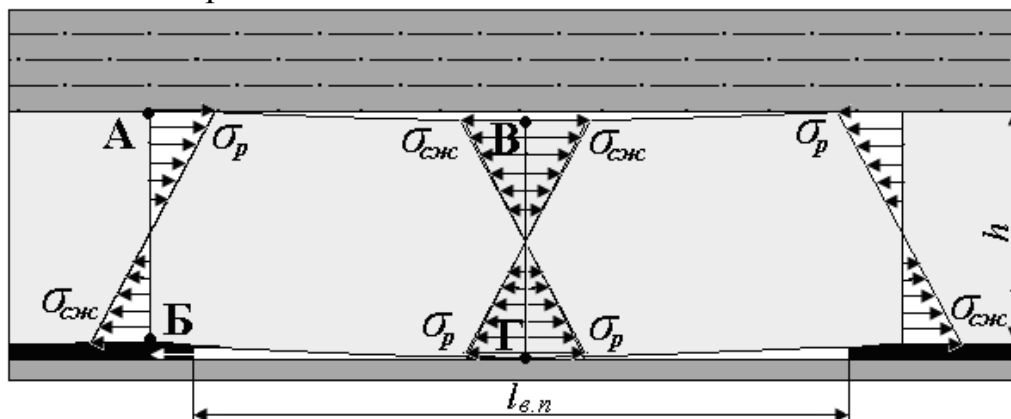


Рис. 2 – Распределения горизонтальных напряжений в изгибающемся слое
 ← – направление движения лавы

С уменьшением горизонтальных растягивающих напряжений не хватает энергии для образования или развития трещины и ее рост приостанавливается. При приближении трещины к точке В ее рост прекращается. С отходом лавы от разрезной печи на предельное расстояние, при котором породный слой максимально прогибается над выработанным пространством, в точке А формируются максимальные горизонтальные растягивающие напряжения. Под действием этих напряжений начинается развитие трещины.

Величина максимальных горизонтальных сжимающих напряжений в точке Б, при ее перемещении в выработанное пространство с каждым продвижением лавы уменьшается и равняется нулю в промежутке между точками Б и Г. С приближением к точке Г возрастают горизонтальные растягивающие напряжения и достигают максимума в точке Г.

В процессе ведения очистных работ, с регулярным продвижением лавы на ширину захвата исполнительного органа выемочной машины, увеличивается пролет кровли над выработанным пространством. Соответственно увеличивается и величина горизонтальных растягивающих напряжений в точке А (Рис. 2). Однако разрушение и обрушение породного слоя (первичная посадка) происходит при его пролете в 8...10 раз превышающем мощность слоя. Этому способствует снижение величины горизонтальных растягивающих напряжений и закрытие зародившейся трещины при перемещении ее в выработанное пространство и действие сжимающих напряжений на верхней кромке слоя в точке В. Модель образования трещины [4] в точке А приведена на рисунке 3.

Под действием максимальных горизонтальных растягивающих напряжений от верхней кромки слоя начинает развиваться трещина. С достижением трещиной длины a , максимум растягивающих напряжений смещается вниз на такое же расстояние. При этом увеличивается максимальная величина горизонтальных напряжений. Увеличение действующих горизонтальных напряжений ведет к увеличению скорости развития трещины и ее распространению к нижней кромке слоя. Увеличение растягивающих горизонтальных напряжений с увеличением длины трещины a , обеспечивается ее практически мгновенное распро-

странение от верхней кромки слоя к нижней.

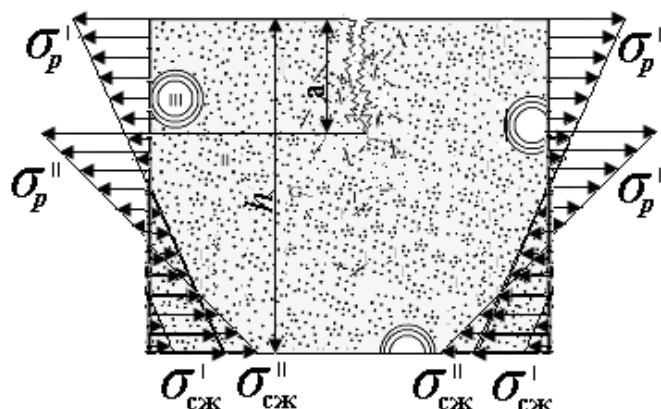


Рис. 3 – Модель образования и развития трещины в породном слое: I, II, III – нарушения в породе различных характеров и форм, a – длина трещины.

Величина горизонтальных напряжений в породном слое может быть определена, как изогнутой балки, при ее жестком защемлении с двух сторон на опорах [5]:

$$\sigma_p = \frac{q \cdot l_{np}^2}{2 \cdot h^2}, \text{ МПа.} \quad (1)$$

При изгибе консольной балки с жестким защемлением:

$$\sigma_p = \frac{3 \cdot q \cdot l_{np}^2}{h^2}, \text{ МПа,} \quad (2)$$

где q – распределенная нагрузка на породный слой, МН/м^2 ; l_{np} – предельный пролет слоя перед обрушением, м; h – мощность несущего породного слоя, м.

Величина распределенной нагрузки, образованная весом одного слоя:

$$q_i = \gamma \cdot h, \text{ МН/м}^2,$$

где γ – объемный вес породы, МН/м^3 .

Величина распределенной нагрузки, образованной весом группы слоев:

$$q = \sum_{i=1}^n \gamma_i \cdot h_i, \text{ МН/м}^2,$$

где q – суммарная нагрузка группы слоев, МН/м^2 ; n – количество слоев в группе.

Критическое состояние на верхней кромке изогнутого слоя (рис. 3) наступит при условии равенства освобожденной упругой энергии слоя при образовании трещины длиной Δl и затраченной энергии на ее образование [6, 7]:

$$-\Delta W = \Delta \Gamma$$

где ΔW – освобожденная упругая энергия при образовании трещины длиной Δl ; $\Delta \Gamma$ – энергия, которую необходимо затратить на образование трещины длиной Δl .

Условие для образования трещины по А.Гриффитсу [6]:

$$\frac{2 \cdot \pi \cdot \sigma^2 \cdot l_m}{E} \cdot \Delta l_m = 4 \cdot \omega \cdot \Delta l_m \Rightarrow \sigma = \sqrt{\frac{2 \cdot E \cdot \omega}{\pi \cdot l_m}}, \quad (3)$$

где σ – действующее напряжение, МПа; l_m – критическая длина трещины, м; E – модуль упругости, МПа; ω – поверхностная энергия тела, Дж/м².

Подставляя в формулу (3) значения максимальных растягивающих напряжений в балке изогнутой над выработанным пространством и заземленной с двух сторон на опорах (1), а также в консольной балке жестко заземленной на опоре (2), определяем предельный пролет слоя и группы слоев перед обрушением. Для одного слоя:

$$l_{nn} = \sqrt[4]{\frac{8 \cdot E \cdot \omega \cdot h \cdot \sin(\psi)}{\pi \cdot \gamma^2}}$$

$$l_{en} = \sqrt[4]{\frac{2 \cdot E \cdot \omega \cdot h \cdot \sin(\psi)}{9 \cdot \pi \cdot \gamma^2}}$$

где l_{nn} и l_{en} – предельный пролет породного слоя перед первичной посадкой и вторичной посадкой соответственно, м; ψ – угол наклона линии обрушения слоя 76°...78°.

Для группы слоев:

$$l_{nn} = \sqrt[4]{\frac{8 \cdot E \cdot \omega \cdot h^3 \cdot \sin(\psi)}{\pi \cdot \left(\sum_{i=1}^n \gamma_i \cdot h_i\right)^2}}$$

$$l_{en} = \sqrt[4]{\frac{2 \cdot E \cdot \omega \cdot h^3 \cdot \sin(\psi)}{9 \cdot \pi \cdot \left(\sum_{i=1}^n \gamma_i \cdot h_i\right)^2}}$$

где γ_i – объемный вес породы слоя в группе слоев, Мн/м³; h_i – мощность слоя в группе слоев, м.

В результате проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

– опорное давление на пласт до первичной посадки кровли может быть определено при изгибе балки, жестко заземленной с двух сторон при ее пре-

дельном пролете;

– предельный пролет балки рассчитывается с применением энергетического критерия трещинообразования в породном слое и его разрушения;

– разрушение породного слоя происходит в результате зарождения трещины на верхней его кромке и распространения ее по всей мощности до нижней кромки, в результате чего происходит обрушение слоя, что и является первичной или вторичной посадкой кровли.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хохлов И.В. Комплексное исследование массива горных пород. - М.: Наука, 1986. – 163с.
2. Лобков Н.И. Исследование сдвижения породных слоев над очистными выработками пологих пластов. В сб. Материалы международной научно технической конференции "Проблемы механики горнометаллургического комплекса" г. Днепропетровск, 2002. – с. 175-176.
3. Фисенко Г.Л. Предельные состояния горных пород вокруг выработок. –М.: Недра,1976. – 272с.
4. Одинцев В.И. Растущая трещина в горной породе как модель источника Акустической эмиссии / В.И.Одинцев, И.Ж.Бунин. ИПКОН, М., 2004.
5. Беляев М.Б. Сопrotивление материалов. – М, 1965., 856 с.
6. Griffiths A. The phenomenon of rupture and flow in solids. Trans, Roy.Phil. Soc., 1920, A. V. 220 p. 150-160.
7. Партон В.З. Механика разрушения: От теории к практике. – М.: Наука. Гл. ред. физ.–мат. лит., 1990.– 240с.

УДК 622.831.312

Канд. техн. наук В.Я.Кириченко
(ЗДНПЦ «Геомеханика»)

МЕХАНИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСЧЁТНОЙ СХЕМЫ СМЕЩЕНИЯ КОНТУРА И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДАВЛЕНИЯ НА КРЕПЬ ГОРНОЙ ВЫРАБОТКИ

Розглянуті геомеханічні передумови, обґрунтована методика і представлені результати математичного моделювання взаємодії кріплення з масивом порід для одиночної виробки глибокого закладення. За результатами розрахунків отримані залежності зсуву порід від опору кріплення.

MECHANICS AND MATHEMATICAL MODELING SETTLEMENT PATTERNS SHIFT CIRCUIT AND DETERMINATION OF PRESSURE ON THE GENERATION MINING SUPPORTS

Geomechanical background, methodology and results of mathematical modeling of support with rock massif interaction are considered for single mine working of deep bedding. Dependences of rocks dislocation on support thrust have been received based on the calculation results.

Целесообразность разработки математической модели взаимодействия системы «крепь-массив» обусловлена повышением требований к надежности прогнозирования устойчивости выработок и определения возможных пределов влияния отпора крепи на величину смещения пород.

Критерием соответствия математической модели реальным условиям и ее пригодности для прогнозирования, является удовлетворительная сходимость расчетных данных и результатов экспериментальной проверки с использованием крепей, имеющих соответствующие рабочие характеристики.