

С.Ф. Власов, В.С. Власов

## ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА ОБРУШЕНИЯ ПОРОД КРОВЛИ НА ОБЪЕМНОЙ МОДЕЛИ СЛОИСТОГО ТРАНСВЕРСАЛЬНО-ИЗОТРОПНОГО МАССИВА ПРИ ПОДВИГАНИИ ОЧИСТНОГО ЗАБОЯ

*Представлены результаты исследования механизма обрушения пород кровли в выработанное пространство лавы на основании результатов пошагового моделирования перемещения очистного забоя в объемной компьютерной модели слоистого трансверсально-изотропного массива горных пород.*

---

### ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАНІЗМУ ОБВАЛЕННЯ ПОРІД ПОКРІВЛІ НА ОБ'ЄМНІЙ МОДЕЛІ ШАРУВАТОГО ТРАНСВЕРСАЛЬНО-ІЗОТРОПНОГО МАСИВУ ПРИ ПОСУВАННІ ОЧИСНОГО ВИБОЮ

*Наведено результати дослідження механізму обвалення порід покрівлі у вироблений простір лави з використанням покровокового комп'ютерного моделювання посування очистного вибою в об'ємній комп'ютерній моделі шаруватого трансверсально-ізоотропного масиву гірських порід.*

---

### RESEARCH OF ROOF ROCKS FALLING MECHANISM ON A VOLUMETRIC MODEL OF A LAYERED TRANSVERSAL-ISOTROPIC MASSIF DURING STOPE MOVEMENT

*The results of study the rocks of roof collapse mechanism in goaf using step-by-step computer modeling of wallface advance in bulk computer model of layered transversal-isotropic rock massif are presented.*

---

#### ВВЕДЕНИЕ

В сложившихся экономических условиях на действующих горнодобывающих предприятиях Украины предполагается увеличение объемов добычи угля за счет внедрения высокоэффективных технологий ведения горных работ и использования современной высокопродуктивной горной техники. Однако интенсификация технологии добычи угля определила широкий круг горнотехнических задач, связанных с негативными проявлениями горного давления

в подготовительных и очистных выработках, что, в свою очередь, приводит к снижению добычи, увеличению себестоимости угля и значительному повышению уровня аварийности на производстве. Применение высокоэффективных технологий и способов управления горным давлением в очистных выработках требует знания закономерностей распределения зон предельного состояния массива горных пород как по длине лавы, так и по длине выемочного столба.

В результате движения очистного забоя и увеличения размера выработанного про-

странства в массиве горных пород происходят качественные и количественные изменения. Одним из основных показателей, характеризующих такие изменения, является переход вмещающих угольный пласт горных пород в предельное состояние. Как правило, переход в предельное состояние сопровождается потерей устойчивости обнажений и обрушением пород в выработанное пространство. Геометрические размеры и момент появления зон, в которых горная порода находится в предельном состоянии, позволяют определить шаг обрушения непосредственной и основной кровли, что является важным технологическим параметром, который существенно влияет на процесс выемки угля.

*Цель статьи* – исследовать механизм

обрушения пород кровли в выработанное пространство лавы на основании результатов пошагового моделирования перемещения очистного забоя в объёмной компьютерной модели слоистого трансверсально-изотропного массива горных пород.

## ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА ОБРУШЕНИЯ

*Методика моделирования.* При помощи программного пакета SolidWorks 2009 была построена компьютерная модель для условий разработки пласта  $C_8^H$  на шахте «Западно-Донбасская» ПАО «ДТЭК Павлоградуголь». Исходные технологические и горно-геологические данные представлены в таблице.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛИ

Таблица

Технологический параметр	Значение
Длина лавы, м	190
Механизованная крепь	КД-80
Угол залегания пласта, град	0 – 2
Вынимаемая мощность, м	0,95 – 1,05
Крепь подготовительного штрека	КШПУ-13,2
Наименование пласта	$C_8^H$
Глубина ведения очистных работ, м	460

Геометрические размеры модели и физико-механические свойства горных пород определялись в соответствии с [1]. Расположение всех литологических разностей в модели соответствовало стратиграфической колонке, характерной для моделируемого выемочного участка.

Конечно-элементная сетка строилась в виде 8-узловых тетраэдров по схеме Делано-Воронова. Максимальный линейный размер конечного элемента не превышал 10 м. Учитывая, что модель имела одну плоскость симметрии, которая проходила нормально к середине очистного забоя, математический расчет производился только для одной симметричной части. При этом соблюдались необходимые граничные условия на краевых частях модели и на плос-

кости симметрии.

Подготовительная выработка в модели имела прямоугольную форму, при этом геометрические параметры (высота и ширина) соответствовали крепи КШПУ сечением  $13,2 \text{ м}^2$ , которая применяется на шахте «Западно-Донбасская» в качестве крепи подготовительных выработок. Распределенная нагрузка на кровлю составила около 100 кПа, нагрузка на почву задавалась по линии постановки ножек крепи и составляла 200 кН на один погонный метр выработки.

Влияние крепи очистной выработки моделировалось распределенной нагрузкой на кровлю и почву пласта, которая задавалась в месте постановки механизированной крепи. Геометрические параметры области

приложения нагрузки соответствовали геометрическим параметрам плиты перекрытия и основания механизированной крепи КД-80. Область приложения давления находилась на расстоянии 2,5 м от плоскости забоя и имела прямоугольную форму с размерами 1,5×190 м. Давление на кровлю задавалось 2,5 МПа, на почву – 3,0 МПа.

Моделирование производилось от момента отхода лавы от разрезной печи до отметки положения забоя 235 м с шагом через каждые 10 м. При моделировании каждого последующего положения очистного забоя вдоль выемочного столба в качестве исходных данных принимались результаты моделирования предыдущего положения. Такой подход к моделированию позволил пошагово рассматривать происходящие в массиве процессы перераспределения напряженно-деформированного состояния, что существенно увеличивает значимость и практическую ценность полученных результатов.

В качестве теории прочности принималась теория предельных напряженных состояний Мора-Кулона. Условие прочности горной породы имеет вид [2]

$$1 \geq \frac{\sigma_1}{k_1 \sigma_{p\parallel}} - \frac{\sigma_3}{k_2 \sigma_{сж\perp}},$$

где  $\sigma_1$ ,  $\sigma_3$  – главные напряжения, МПа,  $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$ ;

$\sigma_p$  – предел прочности горной породы на растяжение параллельно напластованию, МПа;

$k_1$  – коэффициент структурного ослабления, учитывающий снижение предела прочности на растяжение в массиве по сравнению с образцом,  $k_1 = 0,6$ ;

$k_2$  – коэффициент структурного ослабления, учитывающий снижение предела прочности на растяжение в массиве по сравнению с образцом,  $k_2 = 0,8$ ;

$\sigma_{сж\perp}$  – предел прочности горной породы на сжатие перпендикулярно напластованию, МПа.

## АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ

Анализ результатов моделирования позволяет установить закономерность и периодичность образования зон предельного состояния горных пород в зависимости от размеров выработанного пространства. При отходе лавы до 25 м в кровле наблюдается зона по высоте, не превышающая двух мощностей вынимаемого пласта угля, в которой горная порода достигла предельного состояния (рис. 1).

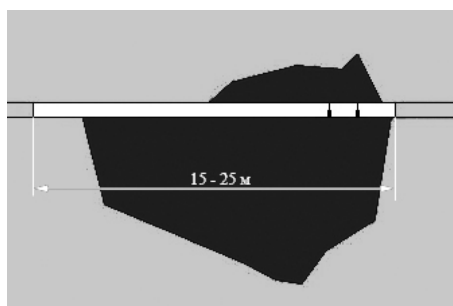


Рис. 1. Распределение зон предельного состояния горных пород при отходе лавы до 25 м: ■ область действия допустимых напряжений; ■ область предельного состояния

В промежутке 35 – 45 м в зоне предельного состояния оказывается нижняя часть слоя алевролита мощностью 8 м, который залегает непосредственно над вынимаемым пластом, на высоту 3 – 4-кратной вынимаемой мощности, что соответствует первому моменту потери устойчивости непосредственной кровли пласта (рис. 2).

Далее до отметки 55 м непосредственная кровля обрушается вслед за передвижкой секций механизированной крепи. На момент отхода очистного забоя на расстояние 55 – 65 м, за линией посадочных стоек механизированной крепи и в месте проведения разрезной печи, на всю мощность слоя алевролита, расположенного над разрабатываемым пластом, развивается зона предельного состояния, что приво-

дит к обрушению этого слоя в выработанное пространство, т.е. происходит так называемая посадка основной кровли пласта (рис. 3).

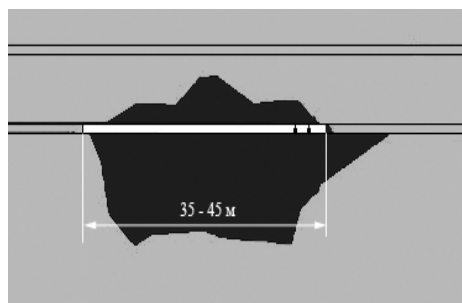


Рис. 2. Распределение зон предельного состояния горных пород при отходе лавы до 35 – 45 м:  
 ■ область действия допустимых напряжений;  
 ■ область предельного состояния

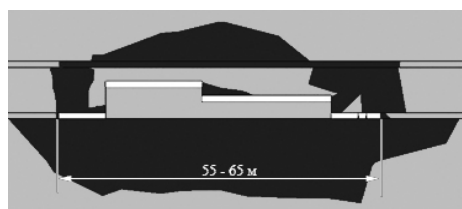


Рис. 3. Распределение зон предельного состояния горных пород при отходе лавы до 55 – 65 м:  
 ■ область действия допустимых напряжений;  
 ■ область предельного состояния

На отметке 65 – 75 м зона предельного состояния горных пород развивается по вертикали на высоту 40 м и включает в себя первые четыре слоя горных пород расположенных над вынимаемым пластом. Причем обрушение всех этих слоев происходит приблизительно по линии постановки посадочного ряда стоек механизированной крепи, то есть отсутствует консольное зависание пород, что и объясняет значительное уменьшение давления на крепь (рис. 4).

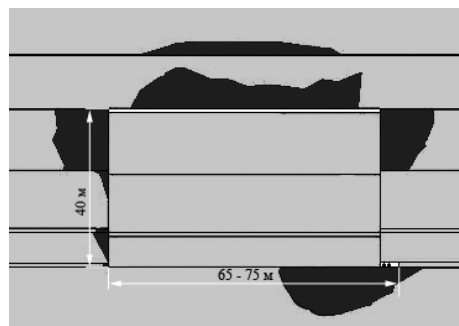


Рис. 4. Распределение зон предельного состояния горных пород при отходе лавы до 65 – 75 м:  
 ■ область действия допустимых напряжений;  
 ■ область предельного состояния

С отметки отхода 75 м наблюдается явно выраженная периодичность в формировании зон предельного состояния горных пород, при этом длина периода составляет около 50 м. При дальнейшем подвигании линии очистного забоя до положения 95 м имеет место консольное зависание пород кровли на всей протяженности 20-метрового отхода, за исключением нижней части первого от обрабатываемого пласта слоя алевролита мощностью 8 м. В этом слое происходит формирование зоны предельного состояния на высоту до 3-х вынимаемых мощностей на протяжении всего указанного отхода, т.е. имеет место обрушение непосредственной кровли вслед за передвижкой секций механизированной крепи. В промежутке между 95 – 105 м происходит отрыв зависшей консоли 8-метрового слоя алевролита. В этом же промежутке прекращается развитие зоны предельного состояния по вертикали. На этот момент максимальная высота этой зоны составляет 63 – 65 м, выше – происходит плавное опускание без нарушения сплошности, т.е. горные породы не достигают предельного состояния (рис. 5).

На отметке 105 – 115 м имеет место обрушение первых от разрабатываемого пласта четырех слоев общей мощностью 40 м (рис. 6).

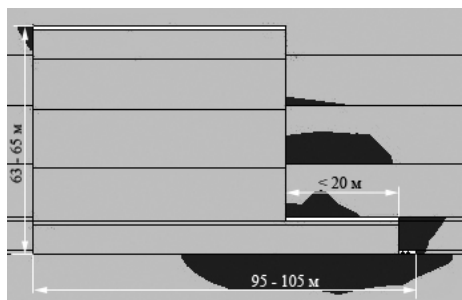


Рис. 5. Распределение зон предельного состояния горных пород при отходе лавы до 95 – 105 м:  
 ■ область действия допустимых напряжений;  
 ■ область предельного состояния

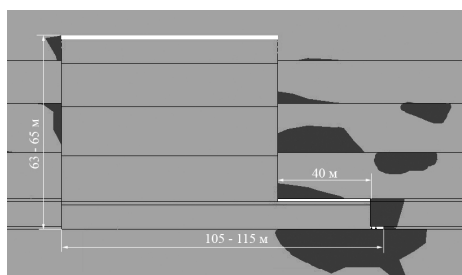


Рис. 6. Распределение зон предельного состояния горных пород при отходе лавы до 105 – 115 м:  
 ■ область действия допустимых напряжений;  
 ■ область предельного состояния

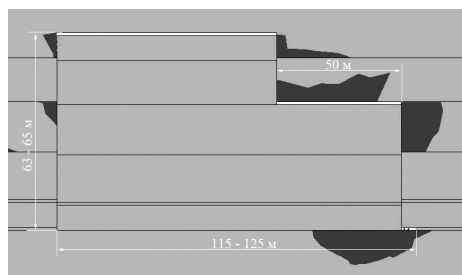


Рис. 7. Распределение зон предельного состояния горных пород при отходе лавы до 105 – 115 м:  
 ■ область действия допустимых напряжений;  
 ■ область предельного состояния

Между 115 – 125 м (рис. 7) происходит переход в предельное состояние остальной

части (23 – 25 м) горных пород, которые находятся в зоне потенциального обрушения (ниже отметки плавного прогиба).

Таким образом, результаты моделирования позволяют сделать вывод, что, начиная с отметки положения очистного забоя 75 м, обрушение консоли первого от пласта 8-метрового слоя алевролита происходит сначала с шагом 15 – 20 м и далее без зависания вслед за передвижкой секций механизированной крепи до момента разгрузки призабойной части, которая происходит в результате отрыва консоли горных пород до высоты 40 м. Обрушение пластов до высоты 40 м происходит с шагом 40 – 50 м; до высоты отметки плавного прогиба (63 – 65 м) – с шагом 50 – 60 м. В почве, которая представлена аргиллитом мощностью 28 м, зона предельного состояния развивается вглубь слоя на расстояние равное 10 – 14 вынимаемым мощностям, и охватывает призабойную зону и часть выработанного пространства. Такой механизм обрушения сохраняется вдоль всего выемочного столба.

## ВЫВОДЫ

Установлен механизм обрушения пород кровли в выработанном пространстве лавы в зависимости от положения очистного забоя вдоль выемочного столба, который позволяет определить периодичность обрушения горных пород кровли и геометрические размеры области предельного состояния горного массива. Для моделируемых горно-геологических и горнотехнических условий, начиная с отметки отхода лавы от разрезной печи 75 м, наблюдается явно выраженная периодичность обрушения горных пород кровли в выработанное пространство.

Длина периода находится в пределах 45 – 55 м. Развитие области предельного состояния горных пород как в вертикальном направлении, так и в направлении подвигания очистного забоя происходит до отметки отхода лавы 90 – 100 м. Макси-

мальная высота этой области составляет 63 – 65 м над разрабатываемым пластом. При дальнейшем увеличении выработанного пространства зона предельного состояния последовательно распространяется

только в направлении подвигания очистного забоя на высоту не более 63 – 65 м. Выше указанной границы происходит плавный прогиб слоев горных пород без нарушения сплошности.



## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Власов С.Ф. *Пространственное моделирование геомеханических процессов при подземной разработке месторождений* / С.Ф. Власов, А.А. Сидельников. – Д.: НГУ, 2009. – 222 с.

2. Феодосьев В.И. *Сопротивление материалов* / В.И. Феодосьев. – М.: Наука, 1972. – 544 с.

## ОБ АВТОРАХ

Власов Сергей Федорович – д.т.н., профессор кафедры подземной разработки месторождений Национального горного университета.

Власов Владислав Сергеевич – студент кафедры программного обеспечения компьютерных систем Национального горного университета.