

С.Ф. Власов, А.А. Сидельников

## ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ВЕЛИЧИНЫ КОНВЕРГЕНЦИИ ГОРНЫХ ПОРОД В ЛАВЕ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПОЛОЖЕНИЯ ОЧИСТНОГО ЗАБОЯ ПО ДЛИНЕ ВЫЕМОЧНОГО СТОЛБА

Наведено результати дослідження конвергенції гірських порід в очисному вибої, які були отримані з використанням покрокового комп'ютерного моделювання посування лави у шаруватому трансверсально-ізотропному масиві гірських порід. Закономірність зміни конвергенції бічних порід по довжині лави залежно від положення очисного вибою вздовж виймального стовпа дозволяє оцінити запас податливості гідростояків механізованого кріплення та прогнозувати виникнення аварійних ситуацій, пов'язаних з посадкою секцій на жорстку основу.

Представлены результаты исследования конвергенции горных пород в очистном забое, полученные при пошаговом моделировании перемещения очистного забоя в объёмной компьютерной модели слоистого трансверсально-изотропного массива горных пород. Закономерность изменения конвергенции боковых пород по длине лавы в зависимости от положения очистного забоя вдоль выемочного столба позволяет оценить запас податливости гидростоек механизированной крепи и прогнозировать возникновение аварийных ситуаций, связанных с посадкой секций на жесткое основание.

The results of the convergence researching in the longwall, that were obtained applying three-dimensional computer model of the stratified transversely isotropic rock mass, are presented in the article. The wallrocks convergence curve along a longwall depending on stope attitude along an extraction pillar allows to assess a reserve of hydrocylinder deformation capacity and to predict incidents in the longwalls caused by fitting of powered support onto rigid base. Parameters and results of the three-dimensional simulation of the rock mass are valid for Western Donbas conditions.

**Введение.** Программы развития угольной промышленности “Українське вугілля” и “Енергетична стратегія України на період до 2030 року” предусматривают значительное увеличение объёмов добычи угля в Украине за счет использования и внедрения на действующих предприятиях высокоэффективной техники и технологии добычи угля. Поэтому в сложившихся экономических условиях функционирования горнодобывающие предприятия предъявляют все более жесткие требования к точности выполняемых расчетов параметров напряженно-деформированного состояния массива горных пород. Использование эффективных способов управления состоянием массива горных пород является неотъемлемой частью применения высокоэффективных технологий ведения горных работ и 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 значительно повышению уровня аварийности на производстве. Применение высокоэффективных технологий и способов управления горным давлением в очистных выработках требует знания закономерностей распределения величины конвергенции горных пород в лаве в зависимости от положения очистного забоя по длине выемочного столба.

**Суть вопроса.** В результате движения очистного забоя и увеличения размера выработанного пространства происходит перераспределение напряжен-

но-деформированного состояния в массиве горных пород. К одним из основных проявлений горного давления в лаве относится конвергенция горных пород. Величина конвергенции на линии постановки посадочного ряда стоек механизированной крепи является важным технологическим параметром, поскольку посадочный ряд стоек – это наиболее вероятное место посадки секции на жесткое основание, что, в свою очередь, делает невозможным передвижку механизированной крепи и создает аварийную ситуацию в лаве. Сопоставление закономерности распределения конвергенции горных пород на линии постановки посадочного ряда стоек механизированной крепи с допустимой по техническим характеристикам используемых крепей податливостью позволяет сделать вывод о возможности применения данного типа или типоразмера механизированного комплекса в конкретных горно-геологических условиях и оценить запас податливости гидростоек крепи. Это дает возможность прогнозировать возникновение аварийных ситуаций в очистном забое, связанных с посадкой секций на жесткое основание.

**Цель статьи** – исследовать закономерность изменения величины конвергенции горных пород на линии постановки посадочного ряда стоек механизированной крепи в зависимости от положения лавы по длине выемочного столба на основании результатов пошагового моделирования перемещения очистного забоя в объёмной компьютерной модели слоистого трансверсально-изотропного массива горных пород.

**Методика моделирования.** Посредством программного пакета SolidWorks 2009 была построена

компьютерная модель для условий разработки пласта  $C_8^H$  шахты “Западно-Донбасская” ОАО” Павлоград-уголь. Исходные технологические и горно-геологические данные представлены в табл. 1.

Таблица 1  
Исходные данные для построения модели

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 плоскости симметрии. 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 распределенной нагрузки 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 моделирова-

нии 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 научную значимость и практическую ценность полученных результатов. Более подробно параметры моделирования изложены в [1, 2].

**Основная часть.** Величина конвергенции в лаве в зависимости от положения очистного забоя вдоль выемочного столба является важным параметром, который позволяет определить запас податливости стоек механизированной крепи и оценить степень опасности посадки секций на жесткое основание.

В общем случае значение конвергенции можно определить по формуле

$$K = f(z) + \Pi(z), \quad (1)$$

где  $f(z)$  – функция опускания кровли для определенного положения очистного забоя;  $\Pi(z)$  – функция поднятия почвы.

По аналогии с изгибом пластин и оболочек, которые в общем случае под воздействием распределенной нагрузки изгибаются по поверхностям четвертого порядка [3], для описания кривых распределения опускания кровли по длине лавы были использованы уравнения четвертого порядка.

Таким образом, функция опускания кровли имеет вид

$$f(z) = aZ^4 + bZ^2 + C, \quad (2)$$

где  $a, b$  – коэффициенты определяющие форму функции опускания кровли;  $C$  – значение функции при  $Z = 0$ , т.е. в середине лавы.

Функция поднятия почвы  $\Pi(z)$  на линии постановки посадочного ряда стоек механизированной крепи для моделируемых горно-геологических условий с большой точностью описывается прямой линией, которая параллельна оси абсцисс, т.е. поднятие почвы по длине лавы приблизительно одинаково.

Значения коэффициентов  $a, b, C$ , а также функции  $\Pi(z)$  в зависимости от положения очистного забоя представлены в табл. 2.

Таблица 2  
Значения коэффициентов  $a, b, C$  и функции  $\Pi(z)$  в зависимости от положения очистного забоя

Положение забоя, м	$a$	$b$	$C, м$	$\Pi(z), м$	$Z, м$
5	$3 \cdot 10^{-10}$	$-2 \cdot 10^{-6}$	0,005	0,01-0,02	[-95; +95]
15	$8 \cdot 10^{-10}$	$-5 \cdot 10^{-6}$	0,050	≈0,06	
25	$4 \cdot 10^{-10}$	$-5 \cdot 10^{-6}$	0,098	≈0,07	
35	$-3 \cdot 10^{-10}$	$8 \cdot 10^{-7}$	0,127	≈0,09	
45	$1,45 \cdot 10^{-9}$	$-2 \cdot 10^{-5}$	0,206±13 %	≈0,09	
55					
65					
$S = 0$	$2 \cdot 10^{-9}$	$-10^{-5}$	0,062±10 %	0,08-0,10	
$S = 1$	$6 \cdot 10^{-10}$	$-1,2 \cdot 10^{-5}$	0,221±10 %	0,05-0,06	
$S = 2$	$6 \cdot 10^{-10}$	$-1,8 \cdot 10^{-5}$	0,311±4 %	0,04-0,05	
$S = 3$	$1,45 \cdot 10^{-9}$	$-2 \cdot 10^{-5}$	0,255±3 %	0,04-0,05	
$S = 4$	$1,45 \cdot 10^{-9}$	$-2 \cdot 10^{-5}$	0,267±3 %	0,040,05	

Как видно из табл. 2, до отметки отхода очистного забоя от разрезной печи 45 м функция опускания кровли в каждом случае имеет различные коэффициенты. Необходимо отметить, что на самом деле, в силу большого порядка малости коэффициентов  $a$  и  $b$ , конечные значения будут немногим отличаться от значения параметра  $C$  (рис. 1).

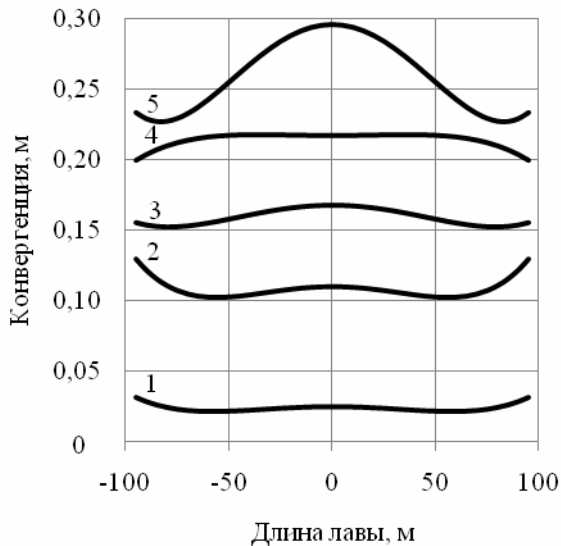


Рис. 1. Распределение конвергенции по длине лавы при отходе от разрезной печи: 1 – 5 м; 2 – 15 м; 3 – 25 м; 4 – 35 м; 5 – 45-65 м

Начиная с отметки отхода лавы от разрезной печи 75 м, как уже отмечалось в [2], наблюдается явно выраженная периодичность, поэтому для определения функции конвергенции горных пород в произвольном положении очистного забоя вдоль выемочного столба необходимо определить параметр  $S$ , который характеризует положение лавы в пределах одного периода. Исходя из выше изложенного, этот параметр должен удовлетворять следующему неравенству:

$$4 \leq S = \frac{L - 75 - 50n}{10} \leq 0, \quad (3)$$

где  $L$  – произвольное положение очистного забоя, м,  $L \in [75; +\infty)$ ;  $n$  – произвольный множитель, который подбирается с тем условием, чтобы неравенство (3) выполнялось,  $n = 0, 1, 2, 3, 4, \dots, N$ .

Полученное значение параметра  $S$  округляется до ближайшего целого числа, затем по табл. 2 выбирается соответствующая функция распределения. При необходимости получить более точные значения для промежуточных положений очистного забоя (шаг менее 10 м) нужно вычислить значения функции в крайних точках заданного интервала и после этого методом линейной интерполяции определить величину опускания кровли для интересующего промежуточного положения очистного забоя.

Зависимости распределения конвергенции горных пород по длине лавы на линии посадочного ряда стоек механизированной крепи для положений очистного забоя, в которых параметр  $S = 0 - 4$ , представлены на рис. 2.

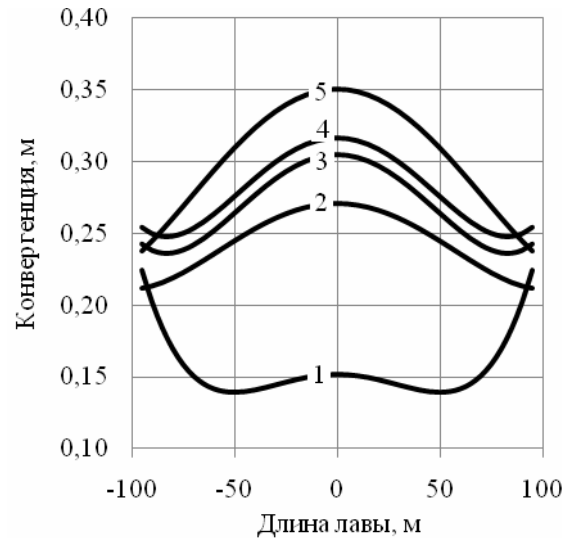


Рис. 2. Распределение конвергенции по длине лавы для положений: 1 –  $S = 0$ ; 2 –  $S = 1$ ; 3 –  $S = 3$ ; 4 –  $S = 4$ , 5 –  $S = 2$

**Выводы.** Распределение конвергенции горных пород на линии постановки посадочного ряда стоек механизированной крепи описывается уравнением четвертого порядка вида  $K = aZ^4 + bZ^2 + C + \Pi(z)$  и зависит от положения очистного забоя по длине выемочного столба, которое характеризуется переменными коэффициентами  $a, b, C$ , и функции поднятия почвы  $\Pi(z)$ . Указанная закономерность распределения конвергенции позволяет определить запас податливости гидростоек механизированной крепи по длине лавы в любом положении очистного забоя вдоль выемочного столба и оценить степень опасности посадки секций на жесткое основание.

**Список литературы**

1. Сидельников А.А. Обоснование параметров объемного моделирования массива горных пород вокруг очистной и подготовительных выработок / А.А. Сидельников // Геотехническая механика: межвед. сб. науч. тр. / ИГТМ им. М.С. Полякова НАН Украины. – Д., 2009. – Вып. 82. – С. 77-85.
2. Власов С.Ф. Исследование механизма обрушения пород кровли на объемной модели слоистого трансверсально-изотропного массива при подвигании очистного забоя / С.Ф. Власов, А.А. Сидельников // Науковий вісник НГУ. – 2010. – № 2. – С. 10-12.
3. Феодосьев В.И. Сопротивление материалов / В.И. Феодосьев. – М.: Наука, 1972. – 544 с.

Рекомендовано до публікації д.т.н. В.І. Бондаренком 20.01.10