

УДК 622.286.6:622.833.2

## Влияние крепких пород кровли на оседание земной поверхности

Приведены результаты моделирования ведения очистных работ в начальный период отработки угольного пласта, определяющие влияние прочных пород кровли различной мощности, расположенных в зоне разрушения, на оседание земной поверхности.

**Ключевые слова:** математическое моделирование, метод конечных элементов, максимальное оседание земной поверхности, начальный период работы очистного забоя, крепкие породные слои.

**Контактная информация:** belajachayka@gmail.com

Отработка угольных пластов сопровождается нарушениями в толще подработанных пород, что вследствие сдвижения горного массива приводит к оседанию земной поверхности. Разработка эффективных мероприятий по охране объектов, расположенных на подрабатываемой поверхности, возможна на основе прогнозов параметров ее оседания, проводимых в маркшейдерской практике в соответствии с нормативным документом [1]. Методика прогноза учитывает угол падения и мощность вынимаемого пласта, глубину разработки, литологию месторождения и другие факторы. В то же время влияние крепких породных слоев, залегающих над пластом, остается малоизученным.

**Цель исследования** – определить влияние крепких породных слоев, залегающих на различном удалении от вынимаемого угольного пласта, на оседание земной поверхности и повысить точность прогноза.

Исследования выполнялись методом численного моделирования, позволяющим осуществить полный учет исходной информации о горно-геологических и горнотехнических условиях разработки месторождения. Вычисления проводились с помощью программного вычислительного комплекса «Лира», реализующего метод конечных элементов. Процесс оседания земной толщи моделировался для начального периода работы очистного забоя, когда поведение пород максимально приближено к упругому и упругопластическому деформированию, т. е. модели не учитывали увеличение объема разрушенных и обрушенных пород. Под начальным периодом работы лавы понимаем подвигание очистного забоя на 100 м от разрезной печи. Подвигание моделировалось пошагово, шаг выемки принимался равным 5 м.

В качестве базовой расчетной модели использовали модель размерами 3000×2000 м, которую разбивали на прямоугольные элементы шириной 5 м и высотой от 0,1 до 7 м. Моделируемая подработанная толща была представлена чередующимися слоями различных типов пород, отличающимися между собой деформационными и прочностными характеристиками (табл. 1).

Расчетные модели отличались от базовой глубиной разработки  $H$ , расстоянием  $b$  от пласта до крепкого породного слоя, а также его мощностью  $M$ .



**Г. А. АВЕРИН,**  
канд. техн. наук  
(Донбасский ГТУ)



**О. Г. ДОЦЕНКО,**  
магистр  
(Донбасский ГТУ)



**Е. Г. КОРЕЦКАЯ,**  
магистр  
(Донбасский ГТУ)

Глубину разработки принимали характерную для антрацитовых шахт: 600, 1000 и 1500 м. Залегание крепкого породного слоя относительно разрабатываемого угольного пласта также моделировали для трех значений: непосредственно в кровле, на высоте  $6m$  и  $30m$  от пласта (где  $m$  – мощность угольного пласта, равная 1 м, среднему по Дон-

Таблица 1

Порода	Модуль упругости, МПа	Коэффициент Пуассона	Коэффициент сцепления, МПа	Угол внутреннего трения, ...°
Аргиллит	$5 \cdot 10^3$	0,2	5	30
Алевролит	$2 \cdot 10^4$	0,2	8	35
Песчаник	$2,5 \cdot 10^4$	0,2	8	35
Угольный пласт	$0,5 \cdot 10^3$	0,3	3,4	37

Таблица 2

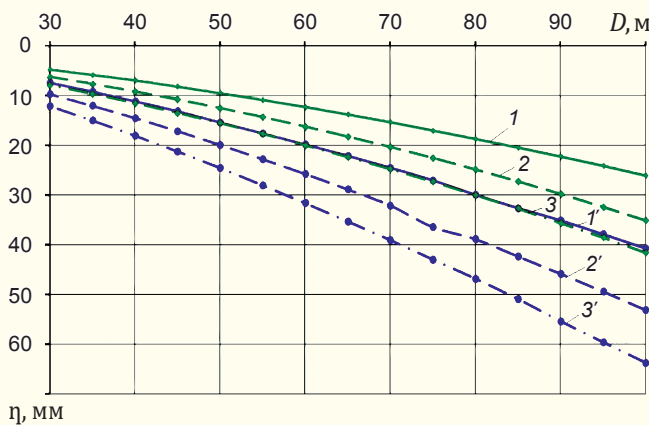
Глубина разработки $H$ , м	Оседания земной поверхности $\eta$ , мм		
	$b = 0m$	$b = 6m$	$b = 30m$
<i>Для крепкого породного слоя мощностью 1 м</i>			
600	41	41	41
1000	53	53	53
1500	64	64	64
<i>Для крепкого породного слоя мощностью 70 м</i>			
600	27	27	32
1000	35	37	43
1500	43	44	53

бассу [2]). Мощность крепкого породного слоя варьировали на семи уровнях: 1, 2, 5, 10, 20, 50 и 70 м.

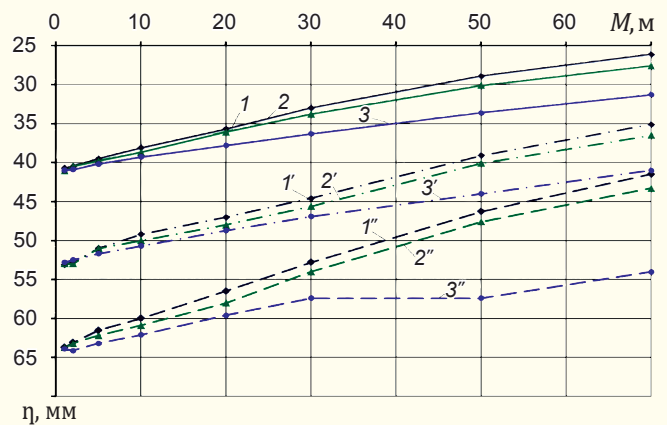
При рассмотрении перечисленных параметров ( $H$ ,  $b$ ,  $M$ ) на всех принятых уровнях требовалось разработать 63 ( $3 \cdot 3 \cdot 7$ ) модели. Из каждой расчетной модели были выбраны максимальные оседания земной поверхности, соответствующие ширине выработанного пространства от 5 до 100 м при шаге подвигания лавы 5 м. Из рис. 1 следует, что с ростом ширины выработанного пространства до 100 м смещения земной поверхности увеличиваются и абсолютное значение тем больше, чем больше глубина разработки. Замечено, что увеличение мощности крепкого породного слоя приводит к уменьшению оседания. К такому выводу приходим и при анализе кривых, представленных на рис. 2.

Чтобы определить, какое влияние на оседание земной поверхности оказывает расстояние между угольным пластом и крепким породным слоем, рассмотрим табл. 2, в которой приведены числовые значения оседаний земной поверхности  $\eta$  при разной мощности  $M$  крепкого породного слоя, расположенного на расстоянии  $b$  относительно угольного пласта при ширине выработанного пространства 100 м.

Как видно из табл. 2, размещение маломощных крепких породных слоев на различном расстоянии от пласта не влияет на оседания земной поверхности  $\eta$ . Это же утверждение верно для мощных крепких слоев, залегающих в кровле пласта и в непосредственной близости от него ( $6m$ ). С удалением крепкого мощного слоя от пласта на расстояние более  $6m$  следует ожидать увеличения оседаний земной поверхности.



**Рис. 1.** Изменение оседаний земной поверхности  $\eta$  с ростом ширины выработанного пространства  $D$  в начальный период работы лав: 1, 2 и 3 – мощность крепкого породного слоя 70 м; 1', 2' и 3' – мощность крепкого породного слоя 1 м при глубине разработки угольного пласта 600, 1000 и 1500 м.



**Рис. 2.** Зависимость оседаний земной поверхности  $\eta$  от мощности крепкого породного слоя  $M$  при его залегании: 1, 1' и 1'' – на глубине залегания угольного пласта 600, 1000 и 1500 м непосредственно в кровле; 2, 2' и 2'' – то же, на высоте  $6m$ ; 3, 3' и 3'' – то же, на высоте  $30m$ .

Таблица 3

Шахта	Лавы	Глубина разработки, м	Мощность крепкого породного слоя, м	Подвигание очистного забоя, м	Максимальное оседание, мм		Погрешность, %
					фактическое	теоретическое	
Им. XIX съезда КПСС	4-я восточная, пласт $l_1$	540	9	102	-41	-38	7,3
Им. М. В. Фрунзе	8-я западная, пласт $h_8$	980	19	153	-79	-68	13,9

Для прогноза ожидаемых оседаний рассмотрим линейную регрессионную модель вида

$$\eta = a_0 + a_1H + a_2M + a_3D + a_4b, \quad (1)$$

где  $a_0, a_1, a_2, a_3, a_4$  – параметры модели;

$D$  – ширина выработанного пространства в начальный период работы лавы (5–100 м).

Для определения параметров модели (1) использован метод наименьших квадратов, а их значимость установлена по  $t$ -критерию Стьюдента. Факторы  $H, M, D$  – значимы, а  $b$  – незначим.

Уравнение регрессии имеет вид

$$\eta = 20 - 0,01H + 0,12M - 0,53D. \quad (2)$$

Размеры оседаний земной поверхности имеют обратную связь с глубиной разработки и шириной выработанного пространства и прямую связь с мощностью крепкого породного слоя. Свободный коэффициент  $a_0 = 20$  приблизительно равен оседанию, принимаемому за начальное согласно Правилам [1]. Между исходным показателем  $\eta$  и влияющими факторами  $H, M, D$  существует тесная связь, о чем свидетельствует коэффициент детерминации  $R^2 = 0,97$ .

Адекватность модели подтверждена F-критерием Фишера. Относительная погрешность аппроксимации регрессионной модели (2) не превышает 21 %.

Кроме того, погрешность прогноза по зависимости (2) определялась путем сравнения прогнозного (теоретического) и фактического оседания по данным нивелировки земной поверхности при выемке 4-й восточной лавой пласта  $l_1$  шахты им. XIX съезда КПСС ГП «Луганскуголь»,

проводимой с июня 1997 г. по ноябрь 2001 г., и 8-й западной лавой пласта  $h_8$  шахты им. М. В. Фрунзе ООО «ДТЭК «Ровенькиантрацит», проводимой с декабря 2000 г. по сентябрь 2003 г. Она составила соответственно 7,3 и 13,9 % (табл. 3). Для этих условий определено максимальное оседание земной поверхности по Правилам [1], которое для каждой шахты составило 110 мм, а фактические (см. табл. 3) равны 41 и 79 мм, что соответственно в 2,7 и 1,4 раза меньше.

**Выводы.** Оседание земной поверхности уменьшается при увеличении мощности крепких породных слоев, залегающих в кровле вынимаемого пласта.

Залегание крепких пород на различном удалении от вынимаемого пласта в начальный период образования зоны разрушенных пород незначительно влияет на оседание земной поверхности.

Получено регрессионное уравнение для определения оседания земной поверхности в начальный период очистных работ, учитывающее мощность крепких породных слоев, глубину разработки угольного пласта и ширину выработанного пространства.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Правила підробки будівель, споруд і природних об'єктів при видобуванні вугілля підземним способом: ГСТУ 101.00159226.001-2003. – [Чинний від 2003-11-12]. – Вид. офіц. – К.: Мінпаливенерго України, 2004. – 128 с. – (Галузевий стандарт України).
2. Зборщик М. П. Геомеханика подземной разработки угольных пластов / М. П. Зборщик, М. А. Ильяшов. – Донецк: ДонНТУ, 2006. – Т.1. – 255 с.