

УДК 622.834.1

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ СДВИЖЕНИЯ НАД КОРОТКИМИ ЛАВАМИ С МЕЖЛАВНЫМ ЦЕЛИКОМ

Гавриленко Ю.Н., Маланчук Е.О., Мотылев И.В.
(ДонНТУ, г. Донецк, Украина)

Наведено результати моделюванню процесів зрушення земної поверхні методом скінченних елементів над короткими очисними виробками, які розділені міжлавним целіком. Встановлено, що при зменшенні ширини целіка мульди зрушення починають більш інтенсивно перекриватися і на земній поверхні утворюється плоске дно. Максимальні осідання над целіком в першу чергу залежать від співвідношення ширини целіка до глибини розробки.

The results of modeling of the ground surface displacement processes with the finite element method over the short stope separated by the interfacial pillar are presented. Subsidence profiles begin to overlap more intensive by pillar width shrinkage and the flat bottom over the ground surface appears. Peak subsidences over the pillar depend at first on the correlation of the pillar width and the mining depth.

Уменьшение вредного влияния горных работ на объекты, расположенные на земной поверхности достигается проведением специальных мероприятий, которые именуют **мерами защиты**. В отечественной и зарубежной практике применялись различные меры защиты, в том числе и горные. Под горными мерами охраны подрабатываемых сооружений и природных объектов понимают специальные способы и последовательность ведения горных работ и управление горным давлением в одиночных пластах

и свите пластов, обеспечивающие уменьшение деформаций земной поверхности в основании подрабатываемых объектов [1].

Горные меры защиты можно разделить, по нашему мнению, на следующие группы по характеру уменьшения воздействия:

- **уменьшение влияющей мощности:**
 - целики (вынимаемая мощность равна нулю);
 - закладка выработанного пространства;
 - частичная выемка по мощности.
- **соответствующее расположение выработок относительно охраняемого объекта:**
 - отработка широким фронтом;
 - гармоническая отработка;
 - в обе стороны от разрезной печи;
 - выемка угля в несколько этапов.
- **оставление целиков между очистными выработками:**
 - камерная система разработки;
 - бурошнековая выемка;
 - система отработки короткими лавами с межлавыми целиками;
- **варьирование скоростью подвигания очистного забоя и временем отработки отдельных выработок.**

С геомеханической точки зрения наиболее сложной и относительно малоизученной является система отработки короткими лавами с межлавыми целиками или частичная отработка по площади. М.А. Иофис [2, 3] отмечает, что параметры выработок и целиков подбираются методом последовательных приближений на основе расчета сдвижений и деформаций по существующим методикам. Однако принятые в настоящее время методики являются эмпирическими и базируются на данных наблюдений над выработками, как правило, стандартных размеров (150–200 м).

В работе [4] приводятся примеры частичной выемки целиков в Кузбассе. Но при этом размеры межлавных целиков принимались величиной 10-12% от глубины разработки, исходя из опыта определения междушахтных барьерных целиков.

Учитывая малую изученность данного вопроса было выполнено моделирование процессов сдвижения толщи и земной поверхности над короткими лавами с разделяющими их целиком

методом конечных элементов (МКЭ).

При частичной выемке по площади основная задача сводится к определению оптимальных размеров очистной выработки D и ширины целика d (рис. 1). Данные параметры должны обеспечивать получение на земной поверхности деформаций, не превышающих заданных величин.

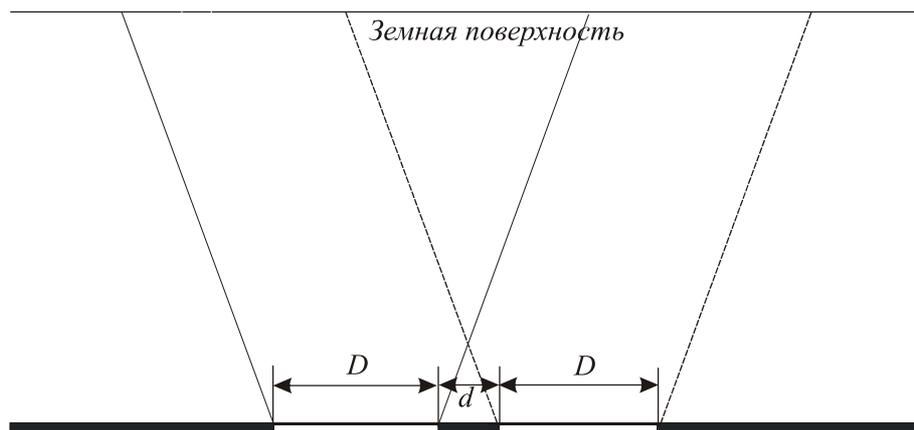


Рис. 1. Короткие лавы с межлавым целиком

Для моделирования была создана расчетная схема, приведенная на рис. 2. Схема включает 3 горизонтальных угольных пласта мощностью 1 м каждый, расположенные на глубинах 200 м (пласт 1), 300 м (пласт 2) и 400 м (пласт 3). Элементы ориентировались параллельно напластованию. Размеры элементов по вертикали составляли, в основном, 20 м. Горизонтальные размеры элементов изменялись от 50 м на границах расчетной области до 10 м в зоне расположения целиков.

Угольные пласты и углевмещающий породный массив представлялись трансверсально изотропной средой со следующими характеристиками:

- модули упругости $E_x = E_y = 1 \cdot 10^7$ кПа;
- коэффициенты Пуассона $\nu_{xy} = \nu_{yx} = 0,20$;
- модуль сдвига $G_{xy} = 0,020 \cdot 10^7$ кПа;
- объемный вес пород 25 кН/м³.

В соответствии с общим подходом к моделированию, который был рассмотрен в работах [5, 6], по каждому пласту было

выполнено 5 вариантов расчетов. Они отличались размерами межлавногo целика и размерами выработок.

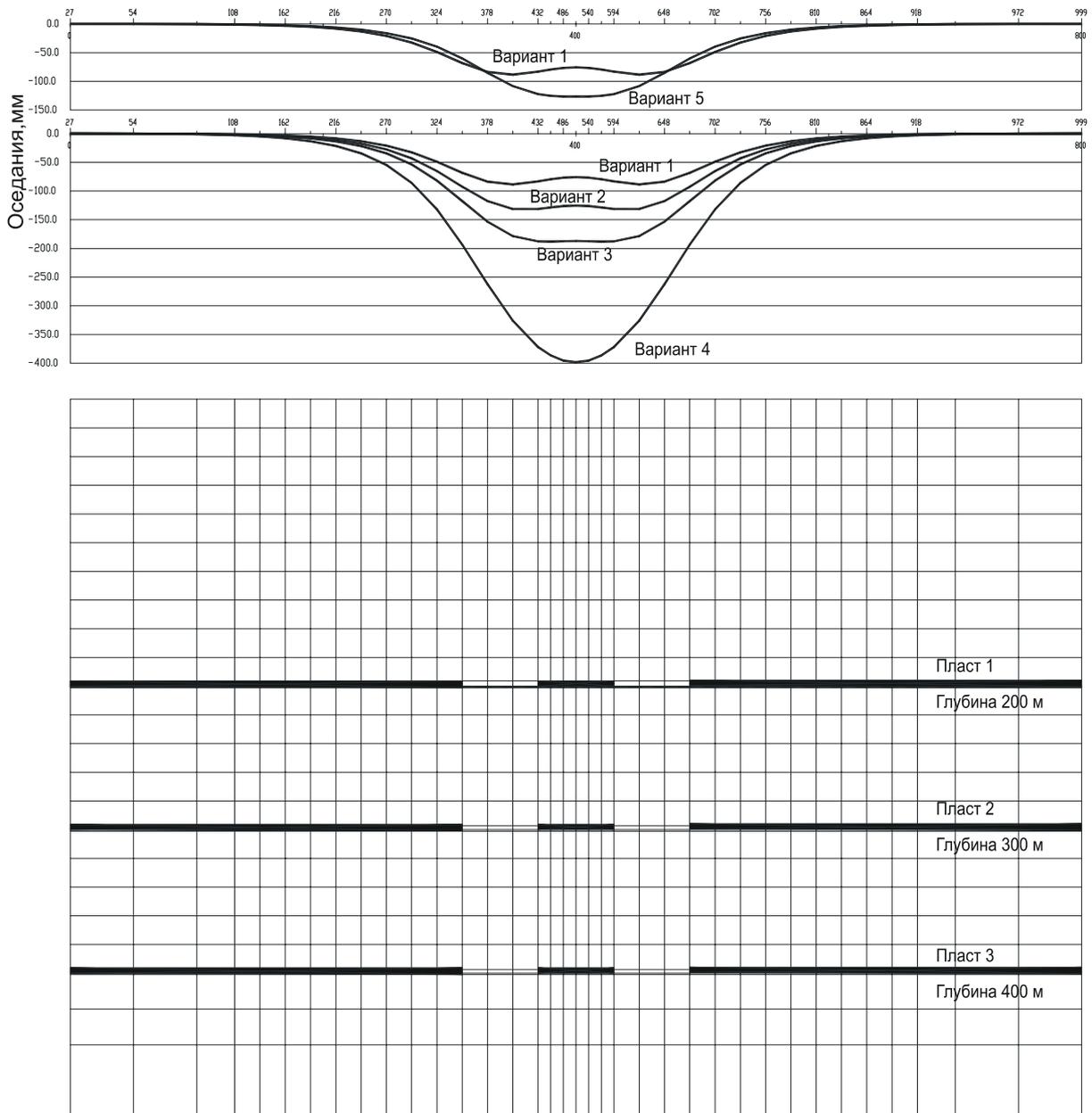


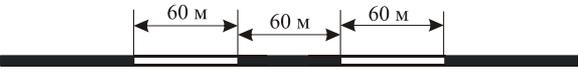
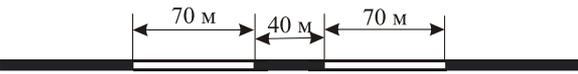
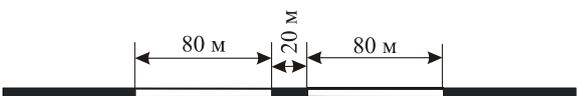
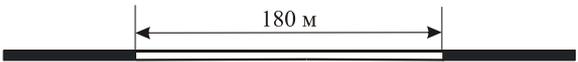
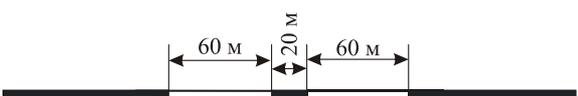
Рис. 2. Расчетная схема и графики оседаний земной поверхности при различных вариантах отработки пласта 3 (глубина 400 м)

В таблице показаны схемы этих расчетов и параметры выработок и целика. В 1-м варианте размеры выработок и целика составляли 60 м; во 2 и 3-м вариантах на 10 м увеличивались размеры каждой выработки и соответственно на 20 м уменьша-

лась ширина целика. Четвертый вариант выполнен для анализа и представляет собой очистную выработку суммарных размеров без целика. В пятом и первом вариантах размеры выработок одинаковы, но они отличаются шириной целика.

Таблица

Характеристики вариантов расчета при моделировании

Номер варианта	Размер целика, м	Размер выработки, м	Схема
1	60	60	
2	40	70	
3	20	80	
4	0	180	
5	20	60	

На рис. 2 в качестве примера приведены графики оседаний земной поверхности при различных вариантах отработки пласта 3 на глубине 400 м.

Анализ этих графиков, а также графиков отработки двух других пластов позволяет сделать следующие основные выводы:

1. Наличие целика даже небольшого размера (20 м) существенным образом уменьшают максимальное оседание на поверхности.

2. При относительно больших размерах целика на поверхности выделяются две мульды сдвижений. С уменьшением ширины

целика мульды начинают более интенсивно перекрывать друг друга и на земной поверхности образуются что-то наподобие плоского дна (варианты 3 и 5). При отсутствии целика наличие плоского дна при исследуемых параметрах выработок не наблюдается.

Для оценки степени влияния целиков для каждого варианта расчета были вычислены соотношения η_c/η_m и η_c/η_0 ,

где η_c – оседание над центром целика;

η_m – оседание над центром короткой лавы;

η_0 – оседание над центром лавы общего размера без целика.

Графическое представление данных параметров иллюстрируется рис. 3.

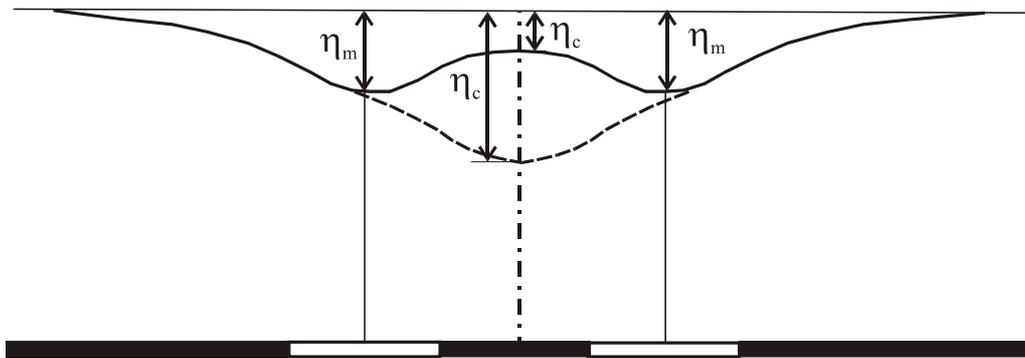


Рис. 3. Величины оседаний земной поверхности, принятые для анализа

Предварительный анализ факторов, от которых зависят эти соотношения показал, что основным является отношение ширины целика к глубине разработки – d/H .

На рис. 4 показан график зависимости отношения оседания над целиком к оседанию над короткой лавой η_c/η_m от отношения ширины целика к глубине разработки d/H . Он достаточно надежно (с коэффициент корреляции 0,92) описывается линейной функцией вида

$$\frac{\eta_c}{\eta_m} = 1 - 1,49 \frac{d}{H}. \quad (1)$$

Из данной формулы следует, что при $d/H=0,67$ оседание

над целиком будет равно нулю. Если принять граничный угол равный 70° , что характерно для большей части Донбасса, то лавы не должны взаимодействовать при ширине целика $0,72 d/H$. Такое небольшое расхождение (меньше 10%) может свидетельствовать о приемлемости формулы (1) для практических целей.

На рис. 5 показан график зависимости отношения η_c/η_0 оседания над целиком к оседанию над лавой общего размера (т.е. при отсутствии целика) от отношения ширины целика к глубине разработки d/H . Его можно описать функцией следующего вида

$$\frac{\eta_c}{\eta_0} = \exp\left(-\frac{d}{H} \frac{1}{\lambda}\right) = e^{-\frac{d/H}{\lambda}}, \quad (2)$$

где λ – некоторый эмпирический коэффициент.

На основании анализа полученных результатов моделирования данный коэффициент составил 0,07, а среднее квадратическое отклонение фактических данных от функции (2) – 0,08.

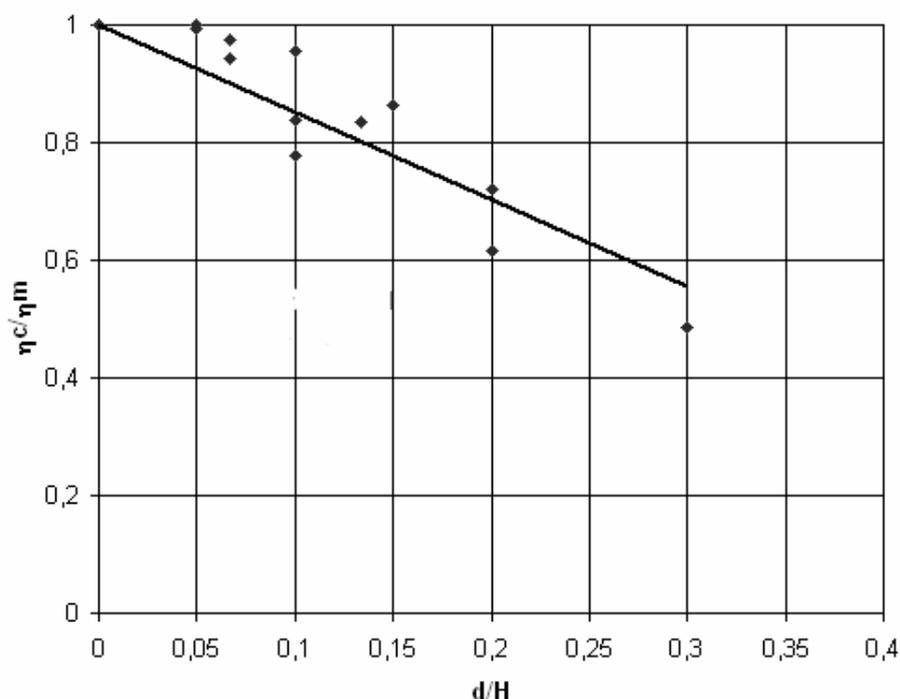


Рис. 4. Зависимость отношения оседания над целиком к оседанию над короткой лавой η_c/η_m от отношения ширины целика к глубине разработки

ВЫВОДЫ

На основании выполненных исследований можно констатировать следующее:

1. Моделирование методом конечных элементов с использованием трансверсально изотропной среды может использоваться для установления качественных и количественных закономерностей сдвижений земной поверхности при частичной выемке угля по площади короткими очистными выработками с межлавыми целиками.

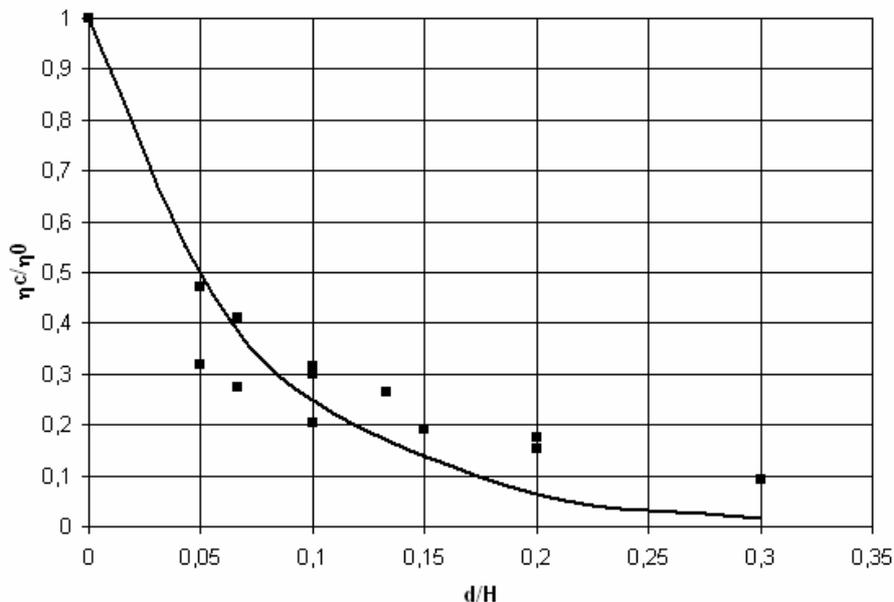


Рис. 5. Зависимость отношения η_c/η_0 оседания над целиком к оседанию над лавой общего размера от отношения ширины целика к глубине разработки

2. При относительно больших размерах целика на поверхности выделяются две мульды сдвижений. С уменьшением ширины целика (при ширине целика менее 0,1 глубины разработки) мульды начинают более интенсивно перекрывать друг друга и на земной поверхности образовываться плоское дно.

3. Оседания над целиком является функцией отношения ширины целика к глубине разработки, а также величин оседаний над короткой выработкой и выработкой суммарных размеров без це-

лика. Установленные зависимости должны быть проверены по результатам натуральных наблюдений за деформациями земной поверхности. Вместе с тем косвенное сопоставление позволяет уже сейчас рекомендовать полученные формулы для практического использования.

4. В дальнейшем целесообразно расширить моделирование и уделить внимание следующим вопросам: увеличение глубины расположение пластов; исследования систем, состоящих из нескольких целиков; изучение особенностей процессов сдвижения при частичной выемке по площади в нескольких пластах свиты.

СПИСОК ССЫЛОК

1. Гусев В.Н., Волохов Е.М. Сдвижение и деформации горных пород / Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет). СПб., 2003. – 83 с.
2. Иофис М.А., Шмелев А.И. Инженерная геомеханика при подземных разработках.- М.: Недра, 1985. – 248 с.
3. Сдвижение горных пород при подземной разработке угольных и сланцевых месторождений.- М.: Недра, 1970.– 224 с.
4. Геомеханические аспекты сдвижения горных пород при подземной разработке угольных и рудных месторождений – СПб., 2003. – 166 с.
5. Гавриленко Ю.Н. Математическое моделирование сдвижения горных пород и земной поверхности в слоистом массиве методом конечных элементов // Известия Донецкого горного института. – 1997. - №1. – С. 87 – 93.
6. Гавриленко Ю.Н., Петрушин А.Г. Основные принципы моделирования сдвижений и деформаций земной поверхности методом конечных элементов // Наукові праці Донецького національного технічного університету, Серія гірничо-геологічна, вип.62, Донецьк, ДонНТУ, 2003. – с. 100-114.