

Раздел 2. Прогнозирование и управление состоянием горного массива

УДК 622.834

Н.И. Антощенко, Л.А. Чепурная

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРАЕКТОРИИ МАКСИМАЛЬНОГО ОСЕДАНИЯ ТОЧЕК ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ОТРАБОТКЕ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ

Донбасский государственный технический университет

Методами математического моделирования на основе анализа экспериментальных данных разработана обобщенная схема сдвижения земной поверхности при подработке ее пологими угольными пластами, учитывающая изменение параметров мульды сдвижения, как на стадии развития очистных работ, так и после достижения полной подработки земной поверхности.

Ключевые слова: математическое моделирование, математические зависимости, угольный пласт, мульда сдвижения, оседание земной поверхности, горные работы

В настоящее время перспективным направлением прогноза параметров сдвижения земной поверхности считается математическое моделирование [1]. Наиболее проработанными являются вопросы определения параметров оседания точек земной поверхности над движущимся очистным забоем. Известные математические модели [1, 2] описывают только частный случай сдвижения земной поверхности после полной ее подработки. Начальная стадия ее оседания и последующие изменения параметров мульды сдвижения при развитии очистных работ до полной подработки известными математическими моделями не рассматриваются. Практически неизученным до настоящего времени остается вопрос математического описания траектории максимального оседания точек земной поверхности при развитии очистных работ.

Цель работы:

– разработать обобщенную схему сдвижения земной поверхности при подработке ее пологими угольными пластами, учитывающую изменение параметров мульды сдвижения как на стадии развития очистных работ, так и после достижения полной подработки земной поверхности;

– на основании обработки экспериментальных данных установить математические зависимости, удовлетворительно описывающие траекторию максимального оседания точек земной поверхности при развитии очистных работ.

В обобщенной схеме формирования параметров мульды сдвижения исходили из положения, что основными характеристиками являются максималь-

ные сдвигения и деформации земной поверхности на некотором расстоянии от проекции границы очистной выработки. Эти расстояния принимаются в качестве исходных параметров во многих методиках [3].

При разработке обобщенной схемы использовали современные представления о геомеханических процессах, происходящих в подработанных породах при развитии очистных работ (рис. 1). Они заключаются в следующем:

– начало сдвигения земной поверхности происходит над серединой выработанного пространства в точке A при удалении очистного забоя от разрезной печи на расстояние L_H , которое определяется мощностью разрабатываемого пласта m , прочностными свойствами пород f и глубиной ведения работ H ;

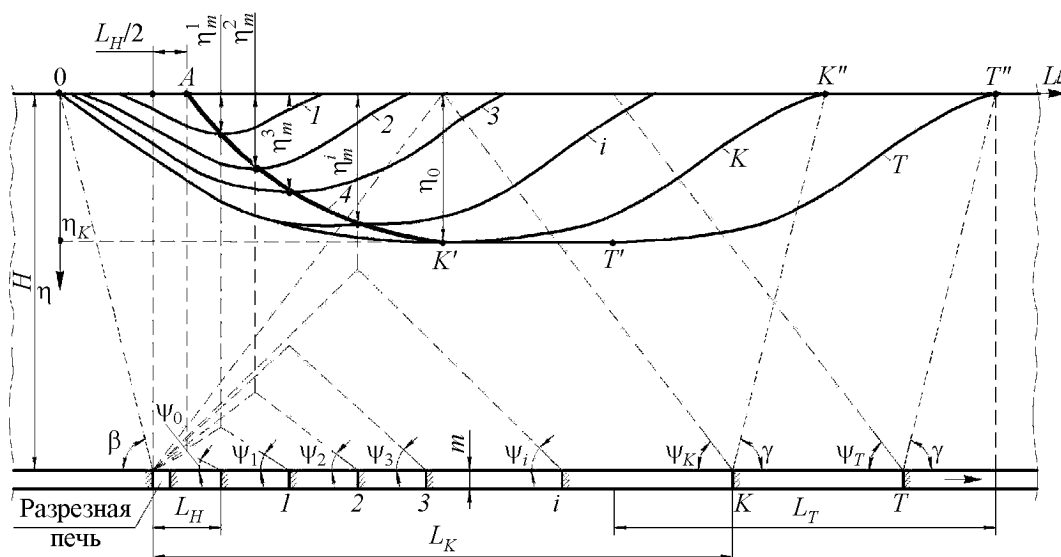


Рис. 1. Схема формирования параметров мульды сдвигения земной поверхности при удалении очистного забоя от разрезной печи: H – глубина ведения очистных работ; m – мощность разрабатываемого пласта; $1, 2, 3, \dots, i, \dots, K, \dots, T$ – положения очистного забоя при его отходе от разрезной печи и соответствующие им мульды оседания земной поверхности; β, γ – граничные углы; ψ_0 угол полных сдвижений, соответствующий началу оседания земной поверхности; $\psi_1, \psi_2, \psi_3, \dots, \psi_i$ – углы полных сдвижений, соответствующие $1, 2, 3, \dots, i$ -му положениям очистного забоя; ψ_K – конечное значение угла полных сдвижений; $\eta_m^1, \eta_m^2, \eta_m^3, \dots, \eta_m^i$ – максимальные оседания земной поверхности, соответствующие $1, 2, 3, \dots, i$ -му положениям очистного забоя; 4 – траектория перемещения точек с максимальными значениями оседания η_m^i в сторону подвигания очистного забоя; η_K – конечное оседание земной поверхности, примерно равное глубине плоского дна мульды сдвигения η_0 ; L_H – отход очистного забоя от разрезной печи, при котором начинается сдвигение земной поверхности; L_K – отход очистного забоя от разрезной печи, при котором происходит полная подработка земной поверхности; L_T – длина динамической полумульды над движущимся очистным забоем после образования плоского дна мульды сдвигения; \rightarrow – направление подвигания очистного забоя

– максимальное оседание земной поверхности ($\eta_m^1, \eta_m^2, \eta_m^3, \dots, \eta_m^i$) до полной ее подработки пластами пологого залегания происходит примерно над серединой выработанного пространства при удалении очистного забоя от разрезной печи. Зависимость траектории точек максимального оседания земной поверхности η_m от размера выработанного пространства L согласно схеме рис. 1 описывается кривой 4. Конечное оседание η_k^i для конкретного положения очистного забоя (удаления от разрезной печи L_i) характеризуется максимальным оседанием: $\eta_k^i \approx \eta_m^i$;

– полная подработка земной поверхности наблюдается при удалении очистного забоя от разрезной печи на расстояние более L_k . В этом случае конечное, максимально возможное, оседание земной поверхности η_k приблизительно равно глубине плоского дна мульды η_0 ;

– после образования плоского дна мульды сдвигание любой точки на земной поверхности уже не зависит от расстояния ее проекции до разрезной печи, а связано только с дальнейшим подвиганием очистного забоя.

При удалении очистного забоя от разрезной печи на расстояние L_k , характеризующее образование плоского дна мульды на дневной поверхности, математическое описание параметров процесса сдвижения возможно с помощью гиперболического тангенса [1], экспоненциальной [2] и (или) логистической кривых. Начало отсчета сдвижения точек в этом случае производится относительно положения проекции линии очистного забоя на земную поверхность.

До отхода очистного забоя от разрезной печи на расстояние L_k для математического описания процессов сдвижения необходимо экспериментально установить расстояние L_n , при котором начинается оседание земной поверхности. Для конкретных горно-геологических и горнотехнических условий его можно определить, статистически обработав экспериментальные данные зависимости максимального оседания точек земной поверхности η_m от расстояния L между разрезной печью и очистным забоем. Траектории, описывающей максимальное оседание точек земной поверхности зависимости $\eta_m = \varphi(L)$, соответствует кривая 4 предлагаемой схемы (рис. 1). Точка A определяет начало сдвижения земной поверхности. Место ее расположения относительно проекций на земную поверхность неподвижной стенки разрезной печи и удаляющейся от нее линии очистного забоя рассчитывается по координате пересечения оси абсцисс кривой 4. Установление вида уравнений, математически описывающих эту кривую, проводилось на основании анализа и статистической обработки известных экспериментальных данных [4–9].

Для определения предпочтительного вида уравнения, удовлетворительно описывающего процессы максимального оседания земной поверхности, предварительно рассмотрели более десяти математических зависимостей.

Методом наименьших квадратов определили эмпирические уравнения зависимости $\eta_m = \varphi(L)$ для каждого рассматриваемого объекта. Оценку возможного применения для математического моделирования каждого уравнения произвели по нескольким критериям. Одним из таких критериев является условие начального сдвижения земной поверхности ($\eta_m = 0$). Задав это условие, согласно эмпирическим уравнениям, рассчитали значения L_n^p для каждого рассматриваемого объекта. Эти значения соответствуют линейным размерам выработанных пространств, при которых процессы сдвижения подработанных пород достигают земной поверхности в каждом рассматриваемом случае. Расчетные значения L_n^p сравнивали (табл. 1) с достоверно определенными величинами этого параметра L_n . Значение L_n находили на графике по точке пересечения оси абсцисс с экспериментальной кривой.

По величине корреляционных отношений R оценивали тесноту связи между рассматриваемыми кривыми и экспериментальными данными.

Во внимание также принимали графическое расположение экспериментальных точек относительно анализируемых кривых и их соответствие физическому смыслу в рассматриваемом интервале изменения параметров. Значение η_m не должно существенно отличаться от конечного оседания земной поверхности при проведении эксперимента η_k . В свою очередь, расчетная величина η_k^p не должна превышать мощность разрабатываемого пласта m в рассматриваемом диапазоне изменения L .

Практически идеально рассмотренным критериям для всех объектов соответствовала (рис. 2) экспоненциальная зависимость

$$\eta_m = a[b - \exp(cL)], \quad (1)$$

где a, b, c – эмпирические коэффициенты.

Удовлетворительные результаты получены для отдельных объектов при обработке экспериментальных данных согласно логнормальной или гиперболической зависимостям (табл. 1). Положительные результаты в этих случаях установлены для шахт, где не образовывалось плоское дно мульды сдвижения, а кривая траектории максимальных оседаний земной поверхности носила плавный характер (рис. 3,а). При полной подработке земной поверхности происходит переход процессов оседания земной поверхности из активной стадии в затухающую, который невозможно описать логнормальной или гиперболической зависимостями (рис. 3,б). В этом случае не выполняется условие примерного равенства расчетных η_k^p и фактических η_k значений конечных оседаний земной поверхности при дальнейшем увеличении параметра L . Кроме этого, для логарифмической зависимости получены расчетные значения η_k^p , превышающие мощность разрабатываемого пласта m , что противоречит исходным научным положениям образования мульды сдвижения на земной поверхности.

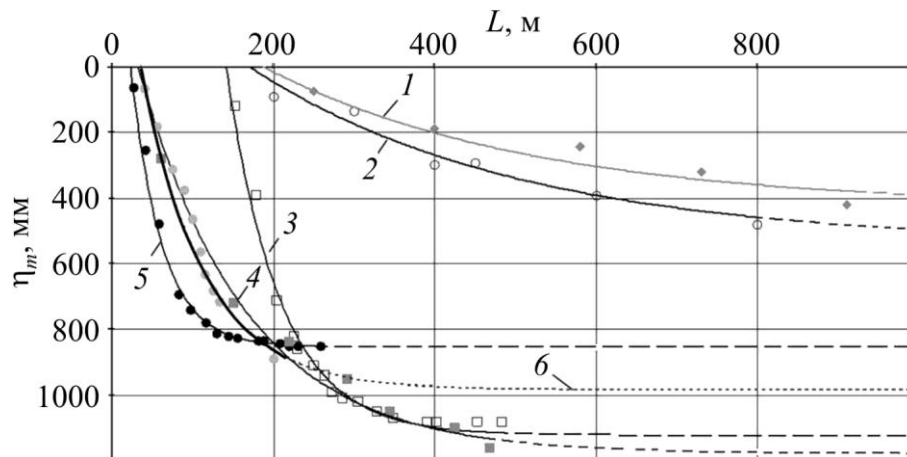


Рис. 2. Результаты обработки экспериментальных данных согласно экспоненциальной зависимости максимального оседания земной поверхности (η_m) при изменении одного из геометрических размеров выработанного пространства (L): \blacklozenge , \circ , \square , \blacksquare , \bullet , \bullet – экспериментальные данные максимального оседания земной поверхности соответственно в условиях шахт им. М.В. Фрунзе (пласт h_8) [4], им. П.Л. Войкова (пласт k_5^1) [5], одной из польских шахт [6], им. Г.Г. Капустина (пласт m_3^H) [7], «Степная» (пласт C_8) [8], «Юбилейная», пласт C_6' [9]; 1, 2, 3, 4, 5, 6 – осредняющие кривые согласно экспоненциальной зависимости соответственно в условиях шахт им. М.В. Фрунзе, им. П.Л. Войкова, одной из польских шахт, шахты им. Г.Г. Капустина, шахты «Степная» и «Юбилейная»

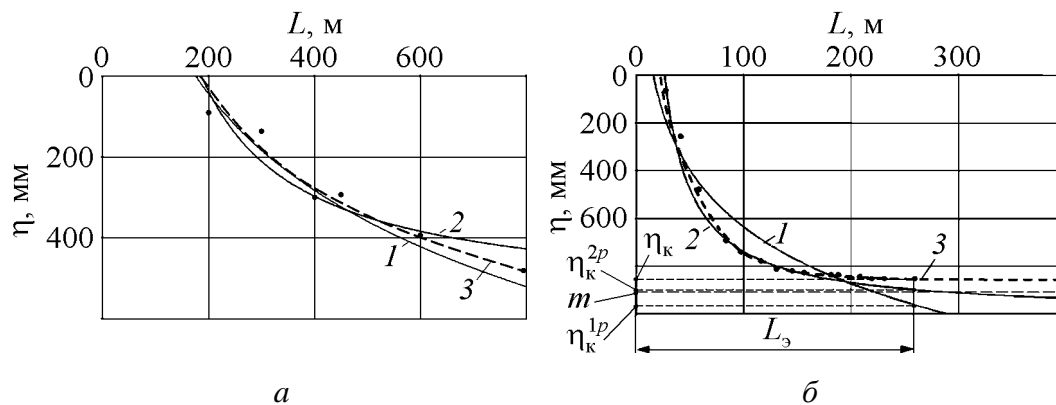


Рис. 3. Результаты обработки экспериментальных данных согласно логарифмической и гиперболической зависимостям максимального оседания земной поверхности η_m при изменении одного из геометрических размеров выработанного пространства L соответственно в условиях шахт им. П.Л. Войкова (*а*) и «Степная» (*б*): \bullet – экспериментальные данные максимального оседания точек земной поверхности; 1 – логарифмическая зависимость (для *а* – $\eta_m = 344 \ln L - 1779$, $R = 0,970$; для *б* – $\eta_m = 343 \ln L - 943$, $R = 0,940$); 2 – гиперболическая зависимость (для *а* – $\eta_m = 557 - 1,04 \cdot 10^5 / L$, $R = 0,942$; для *б* – $\eta_m = 980 - 2,6 \cdot 10^4 / L$, $R = 0,989$); 3 – экспериментальная кривая; $m = 910$ мм – мощность разрабатываемого пласта; $\eta_\kappa = 852$ мм – конечное оседание земной поверхности на стадии ведения очистных работ; $\eta_\kappa^{1p} = 964$ мм, $\eta_\kappa^{2p} = 880$ мм – конечное расчетное оседание земной поверхности соответственно согласно логнормальной и гиперболической зависимостям; $L_3 = 260$ м – максимально достигнутый размер очистной выработки (выработанного пространства) при проведении эксперимента

Выводы

Разработанная обобщенная схема сдвижения земной поверхности до и после образования плоского дна мульды позволяет производить математическое моделирование для любой стадии развития очистных работ выемочного участка.

Анализ и статистическая обработка экспериментальных данных показали, что практически во всех случаях траекторию максимального оседания точек земной поверхности с высокой достоверностью можно описать с помощью уравнения экспоненциальной зависимости. Применение экспоненциальной функции для математического описания начальной стадии оседания земной поверхности дает возможность установить расстояние L_n , соответствующее началу ее сдвижения.

В отдельных случаях для математического моделирования возможно применение логнормальной или гиперболической зависимостей. Область их применения необходимо уточнить по мере накопления экспериментальных данных.

1. Кулибаба С.Б. Характер развития процесса сдвижения земной поверхности во времени над движущимся очистным забоем / С.Б. Кулибаба, М.Д. Рожко, Б.В. Хохлов // Наукові праці УкрНДМІ НАН України – 2010. – №7. – С. 40–54.
2. Гавриленко Ю.Н. Прогнозирование сдвижений земной поверхности во времени / Ю.Н. Гавриленко // Уголь Украины. – 2011. – №6. – С. 45–49.
3. Назаренко В.А. Влияние обводненных наносов на максимальные оседания в Западном Донбассе / В.А. Назаренко, Л.Я. Парчевский, И.В. Йощенко // Вісник КТУ. – 2010. – Вип. 26. – С. 3–5.
4. Аверин Г.А. Влияние слоистости на оседание земной поверхности / Г.А. Аверин, П.Н. Кирьязов, О.Г. Доценко // Уголь Украины. – 2010. – №10. – С. 34–35.
5. Борзых А.Ф. Влияние ширины выработанного пространства на активизацию сдвижения угленосного массива / А.Ф. Борзых, Е.П. Горовой // Уголь Украины. – 1999. – №9. – С. 26–30.
6. Бабенко Е.В. Настройка модели для моделирования сейсмических событий техногенной природы / Е.В. Бабенко // Проблеми гірського тиску, ДонНТУ. – 2009. – №17. – С. 67–93.
7. Иофис М.А. Инженерная геомеханика при подземных разработках / М.А. Иофис, А.И. Шмелёв. – М.: Недра, 1985. – 248 с.
8. Ларченко В.Г. Влияние подземной разработки угольных пластов на состояние земной поверхности / В.Г. Ларченко // Вестник МАНЭБ №4(12). – СПб., 1998. – С. 39–41.
9. Назаренко В.О. Розвиток осідань земної поверхні при відході лави від розрізної печі / В.О. Назаренко, П.П. Пилипенко // Вісник ЖДТУ. – 2012. – №1(60). – С. 126–129.

Н.І. Антощенко, Л.А. Чепурна

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТРАЄКТОРІЇ МАКСИМАЛЬНОГО ОСІДАННЯ ТОЧОК ЗЕМНОЇ ПОВЕРХНІ ПРИ ВІДПРАЦЮВАННІ ВУГІЛЬНИХ ПЛАСТІВ

Методами математичного моделювання на основі аналізу експериментальних даних розроблено узагальнену схему зрушення земної поверхні при підпрацюванні її пологими вугільними пластами, що враховує зміну параметрів мульди зрушення як на стадії розвитку очисних робіт, так і після досягнення повного підпрацювання земної поверхні.

Ключові слова: математичне моделювання, математичні залежності, вугільний пласт, мульда зрушення, осідання земної поверхні, гірничі роботи

N.I. Antoshchenko, L.A. Chepurnaya

MATHEMATICAL MODELING OF THE TRAJECTORY OF MAXIMUM SUBSIDENCE POINTS OF THE EARTH'S SURFACE WHEN MINING COAL SEAMS

Methods of mathematical modeling based on the analysis of experimental data the generalized scheme of displacement of the Earth's surface at underworking its sloping coal seams, which takes into account the change in the parameters of displacement trough at the stage of development of sewage treatment works, and after reaching full undermining the Earth's surface.

Keywords: mathematical modeling, mathematical relationships, the coal seam, trough subsidence, subsidence of the earth's surface mining works