

*д.т.н. Антощенко Н.И.,
Чепурная Л.А.,
Филатьев М.В.
(ДонГТУ, г. Алчевск, Украина)*

КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ СДВИЖЕНИЯ ПОДРАБОТАННЫХ ПОРОД И ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ВЫЕМКЕ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ

Наведено спосіб оцінки параметрів зрушення підроблених порід і земної поверхні при виїмці вугільних пластів, який полягає в розгляді зміни максимального осідання земної поверхні спільно зі ступенем розвитку очисних робіт. На підставі експериментальних даних побудовано графік залежності відносного максимального осідання земної поверхні від ступеня її підробки, поєднаний зі схемою відпрацювання виїмкової ділянки, що дозволяє виділити чотири стадії зсування підроблених порід і земної поверхні.

Ключові слова: *зрушення, породний шар, очисний вибій, крива, ущільнення, швидкість.*

Представлен способ оценки параметров сдвижения подработанных пород и земной поверхности при выемке угольных пластов, который заключается в рассмотрении изменения максимального оседания земной поверхности совместно со степенью развития очистных работ. На основании экспериментальных данных построен график зависимости относительного максимального оседания земной поверхности от степени ее подработанности, совмещенный со схемой отработки выемочного участка, позволяющий выделить четыре стадии сдвижения подработанных пород и земной поверхности.

Ключевые слова: *сдвижение, породный слой, очистной забой, кривая, уплотнение, скорость.*

Известно [1], что степень развития очистных работ при выемке угольных пластов в значительной мере определяет параметры сдвижения подработанных пород и земной поверхности. От достоверного определения этих параметров зависит эффективность принятых инженерных решений, связанных с ликвидацией или уменьшением негативного влияния последствий выемки угольных пластов. До настоящего времени параметры сдвижения подрабатываемых пород изучены недостаточ-

но вследствие ограниченной доступности к изучаемому объекту. По этой причине достоверное определение параметров сдвижения пород и земной поверхности при развитии очистных работ остается актуальной задачей.

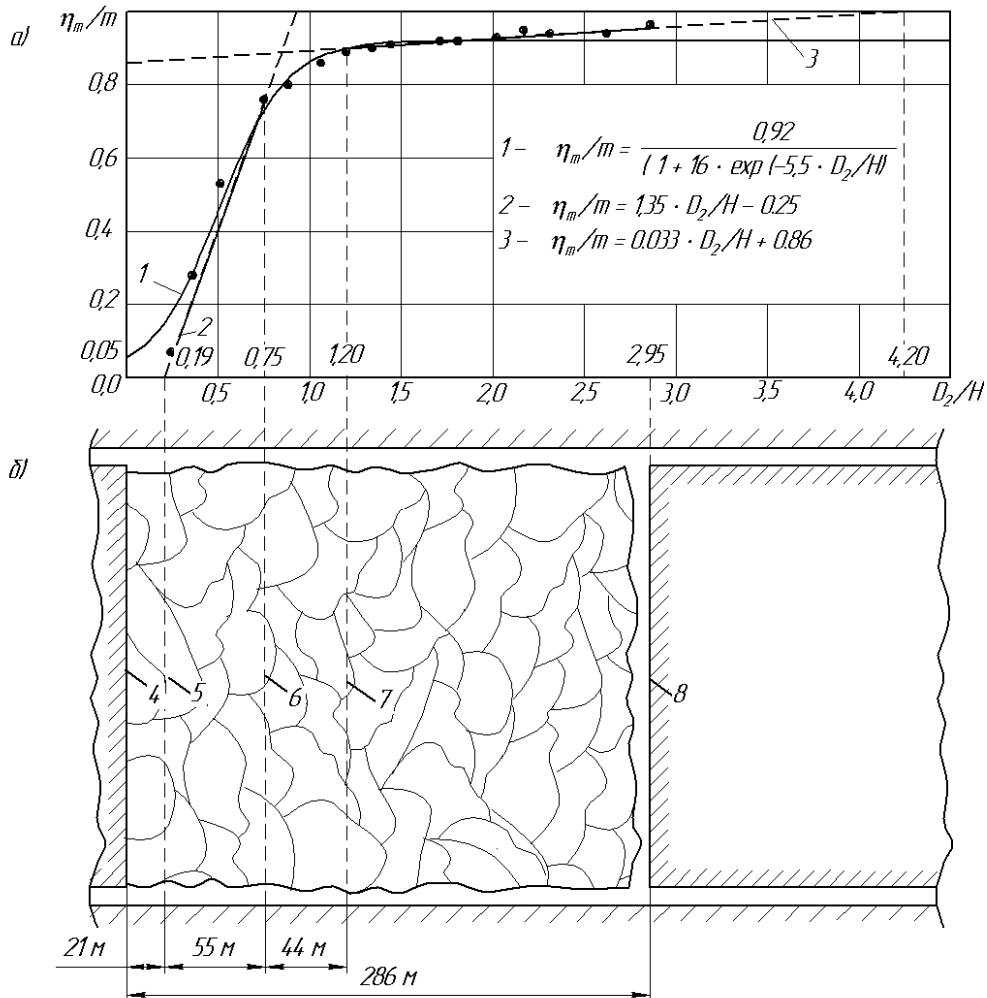
Учитывая современный уровень развития науки и техники о происходящих процессах сдвижения подработанных пород, в большинстве случаев, можно судить только по параметрам развития очистных работ и оседания земной поверхности.

Согласно современным представлениям на процессы сдвижения подработанных пород и земной поверхности оказывают влияние мощность вынимаемого пласта (m), угол его падения (α), размеры выработанного пространства (D_1 , D_2), глубина ведения очистных работ (H) и прочностные свойства вмещающих пород.

При отработке угольного пласта в условиях одной шахты практически постоянными остаются его мощность, глубина ведения работ и прочностные свойства вмещающих пород. Установлено [2], что при постоянстве указанных факторов изменение максимального оседания земной поверхности η_m описывается в зависимости от степени развития очистных работ (линейных размеров выработанного пространства D_1 , D_2) практически функциональными зависимостями.

Идея состоит в рассмотрении изменения параметров процессов максимального оседания земной поверхности совместно со степенью развития очистных работ.

Для реализации указанной идеи использовали экспериментальные данные, полученные в условиях шахты «Степная» [3]. Одинокная лава отработывалась по восстанию на глубине $97 \div 114$ м. Длина лавы (размер D_1) составляла 150 м. Отношение этого размера выработки к глубине ведения работ превышает 1,2, что свидетельствует о возможности образования плоского дна мульды сдвижения на земной поверхности при некотором удалении очистного забоя D_2 от монтажной камеры [1]. Полная подработка земной поверхности иллюстрируется графиком (рис. 1, а) зависимости относительного оседания земной поверхности (η_m/m) от степени ее подработанности (D_2/H). При значениях $D_2/H > 1.2$ кривая переходит, практически, в прямую, параллельную оси абсцисс. Это подтверждает, что экспериментальные данные получены на всех стадиях развития очистных работ от начала оседания земной поверхности до образования плоского дна мульды.



1 – логистическая кривая, описывающая зависимости на всех стадиях развития очистных работ; 2, 3 – прямые, описывающие процессы максимального оседания земной поверхности соответственно на стадии интенсивного сдвижения пород и их уплотнения; 4 – разрезная выработка; 5, 6, 7 – положение очистного забоя соответственно при достижении процессов сдвижения земной поверхности, окончания интенсивного оседания и переходе к плавному уплотнению пород; 8 – остановленный очистной забой;
 • – экспериментальные данные согласно [3].

Рисунок 1 – График зависимости относительного максимального оседания земной поверхности η_m/m от степени ее подработанности D_2/H (а), совмещенный со схемой отработки выемочного участка (б)

Из характера расположения экспериментальных точек видно, что процессы оседания земной поверхности проходили с разной интенсив-

ностью на стадиях до образования плоского дна мульды сдвижения и после его появления.

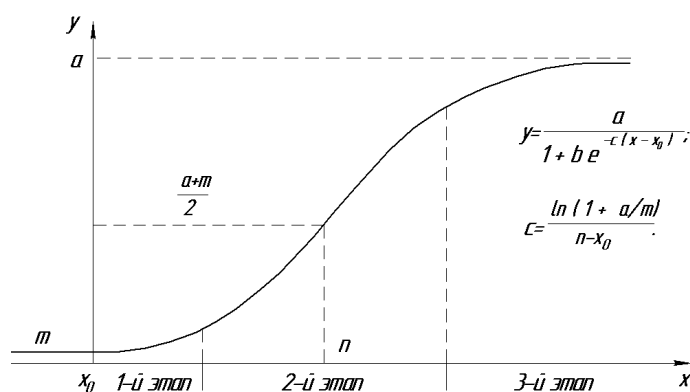
Для моделирования процессов перехода от одного стабильного состояния в другое обычно используют логистическую кривую [4, 5]

$$y(x) = \frac{a}{1 + b \cdot \exp(-c \cdot x)}. \quad (1)$$

Физическая сущность этого уравнения показана на рисунке 2. Параметр a кривой характеризует его максимальное значение. В рассматриваемом случае он соответствует глубине дна мульды сдвижения на земной поверхности. Коэффициенты b и c определяют положение кривой относительно оси абсцисс и ширину среднего участка.

Первый этап развития – это «вживание» системы в свое «окружение». Второй – быстрого роста, а третий – стабилизации процесса. Согласно этим процессам происходит соответственно рост параметра по экспоненте, а затем он становится равен практически постоянному значению.

Прямолинейная зависимость, близкая к параллельной оси абсцисс, исходя из физических представлений, соответствует образованию плоского дна мульды сдвижения на земной поверхности.



a – предел, к которому стремится прогнозируемый показатель y при $x \rightarrow \infty$; m – начальная точка логисты, при значении x_0 ;
 n – значение аргумента, с которого начинается выход на стабилизацию процесса.

Рисунок 2 – Логистическая кривая описания главного параметра при развитии системы согласно S – образному закону

Обработка экспериментальных данных показала, что логистическая кривая (1) довольно точно описывает изменение интенсивности

процессов (рис. 1, а). Корреляционное отношение равнялось 0,995. Надежность полученных результатов подтверждается критерием Фишера при уровне значимости 0,95. Относительная ошибка аппроксимации составила 3,3%. Несмотря на хорошую сходимость полученных результатов, логистическая кривая имеет недостатки. Она не отображает физическую суть процессов при значениях D_2/H примерно менее 0,3 и более 1,2. В первом случае кривая пересекает ось ординат при положительном значении $\eta_m/m = 0,05$, что свидетельствует, якобы, об оседании земной поверхности еще до начала очистных работ. Это не соответствует общим представлениям влияния отработки угольных пластов на состояние земной поверхности. Во втором – часть кривой параллельна оси абсцисс, а экспериментальные данные с увеличением D_2/H имеют тенденцию к увеличению значений η_m/m . Это объясняется уплотнением пород во времени после образования плоского дна мульды сдвижения, когда подвигание очистного забоя уже не оказывает существенное влияние на оседание земной поверхности.

В интервале интенсивного развития оседания земной поверхности более адекватно экспериментальные данные (рис. 1, а) описываются прямой (2). Коэффициент корреляции $r = 0.971$, среднеквадратическое отклонение экспериментальных данных от осредняющей прямой составило 8,8 %. Пересечение этой прямой оси абсцисс соответствует значению $D_2/H = 0,19$. Это означает, что при отходе очистного забоя от разрезной печи на расстояние, равное 21м, процессы сдвижения пород достигли земной поверхности примерно через 11 суток. В других условиях при ведении горных работ на глубине 530 – 636м, в зависимости от скорости подвигания очистного забоя, начало сдвижения земной поверхности происходило через 7 – 23 суток после осадки основной кровли [6]. Учитывая глубину ведения очистных работ ($H = 97м$) и время распространения сдвижения пород до земной поверхности (11 суток), средняя скорость этих процессов (\bar{V}_n) составляла 8,8 м/сут.

Активное оседание земной поверхности, если исходить из прямолинейности зависимости, продолжалось при увеличении D_2/H до 0,75. В диапазоне изменения $D_2/H = 0,19 \div 0,75$ значения η_m/m находились, примерно, в пределах $0,00 \div 0,75$ и прямая (2) практически совпадала с логистической кривой (1). Длительность периода интенсивного оседания земной поверхности составила 29 суток, а средняя скорость этого процесса равнялась 24 мм/сут. В интервале значений $D_2/H \approx 0,75 \div 1,20$ процессы оседания земной поверхности происходили как под влиянием изменения размеров очистной выработки, так и при уплотнении пород. В этом случае экспериментальные данные хорошо описываются логи-

стической кривой. Переходный период оседания земной поверхности продолжался 23 суток. Средняя скорость процессов была равна 6мм/сут, что на порядок меньше по сравнению с предыдущим интенсивным периодом оседания земной поверхности.

При $D_2/H > 1.2$ наблюдался переход от интенсивного сдвижения пород к более плавному их уплотнению (рис. 1, а). Уменьшение темпов интенсивности максимального оседания земной поверхности свидетельствует об ослаблении влияния степени развития очистных работ (подвигания очистного забоя). Появление же второго прямолинейного участка, имеющего некоторую тенденцию к увеличению η_m/m с ростом D_2/H , указывает на проявление процессов уплотнения пород под действием их собственного веса. Процесс уплотнения пород описывается прямолинейной зависимостью (3), отражающей затухание этого процесса (рис. 1, а). Полученное, на основании экспериментальных данных уравнение (3) характеризуется высоким коэффициентом корреляции ($r = 0.953$). Относительная ошибка аппроксимации составила 6,3%.

Влияние фактора уплотнения пород оказывает решающее значение на окончание процессов сдвижения подработанных пород и земной поверхности. При полной подработке и окончившихся процессах уплотнения пород относительное оседание земной поверхности η_m/m должно приближаться к единице. Если рассматривать зависимость η_m/m во времени, то экстраполяция прямой уплотнения пород до пересечения ее с ординатой $\eta_m/m = 1,0$ определит общую длительность процессов сдвижения подработанных пород от начала очистных работ до окончания оседания земной поверхности после уплотнения пород.

В координатах относительного максимального оседания земной поверхности η_m/m и развития очистных работ D_2/H окончанию процессов сдвижения и уплотнения пород соответствует значение $D_2/H = 4,20$ (рис. 1). Если предположить, что подвигание очистного забоя продолжалось со средней скоростью 57 м/мес, то значение D_2 на момент окончания уплотнения пород составило бы 443м. Полный период процессов сдвижения пород и оседания земной поверхности, учитывая среднемесячную скорость подвигания очистного забоя, должен был составить 234 суток.

Он включает время достижения процессами сдвижения пород земной поверхности (11 суток), интенсивного оседания земной поверхности (29 суток), остаточного влияния подвигания очистного забоя и начала уплотнения пород (23 суток) и окончательного уплотнения пород (171 сутки).

На последней стадии окончания процессов общее максимальное оседание земной поверхности согласно прогнозу должно было составить 91 мм при средней скорости немногим более 0,5 мм/сут.

Проведенные исследования показали, что для успешного решения задач горного производства и защиты объектов необходимо учитывать, как минимум, четыре стадии сдвижения подработанных пород и земной поверхности.

Первая стадия связана с началом эксплуатации выемочного участка, осадкой непосредственной и основной кровель и достижением процессами сдвижения пород земной поверхности. Их параметры определяются как горно-геологическими, так и горно-техническими факторами, характеризующими глубину ведения горных работ, прочностные свойства пород, скорость подвигания очистного забоя и некоторые другие условия подработки.

Параметры второй стадии сдвижения пород и земной поверхности (максимальное оседание, продолжительность и интенсивность процессов) непосредственно определяются для конкретных горно-геологических условий размерами выработанного пространства и скоростью подвигания очистного забоя.

Третья стадия характеризуется уменьшением влияния на процессы сдвижения пород и земной поверхности степени развития очистных работ и началом проявления процессов уплотнения пород.

На четвертой стадии происходит затухание процессов сдвижения, связанных с окончательным уплотнением пород и возвращение их в устойчивое состояние, близкое к природному.

Количественные характеристики процессов сдвижения подработанных пород и земной поверхности получены на примере эксплуатации одного выемочного участка. Характерными особенностями обработки пласта являются незначительные прочностные свойства вмещающих пород и малая глубина его залегания.

Следует ожидать существенное отличие количественных характеристик при ведении очистных работ на глубоких горизонтах и более прочных вмещающих породах. Учитывая характерные периоды оседания земной поверхности, можно прогнозировать прямолинейные зависимости максимального оседания земной поверхности от степени развития очистных работ на стадии интенсивного протекания процессов, а также их затухания при уплотнении пород под силой тяжести собственного веса.

Переходные процессы, очевидно, будут соответствовать зависимости, описываемой логической кривой. Для подтверждения высказанных предположений аналогичные исследования необходимо провести в других горно-геологических и горно-технических условиях.

Библиографический список

1. *Правила підробки будівель, споруд і природних об'єктів при видобуванні вугілля підземним способом. Видання офіційне. Мінпаливенерго України: ГСТУ 101.00159226.001-2003. – Київ.: 2004. – 128с. (Галузевий стандарт України).*

2. *Филатьев М.В. Влияние развития очистных работ на максимальное оседание земной поверхности / М.В. Филатьев // Уголь Украины, 2011. - №4. – С. 12 – 16.*

3. *Ларченко В.Г. Влияние подземной разработки угольных пластов на состояние земной поверхности / В.Г. Ларченко // Вестник МАНЭБ, №4(12). – С.-Петербург. – 1998. – С. 39-41.*

4. *Воробейчик Е.А. Экологическое нормирование наземных и водных экосистем / Е.А. Воробейчик, О.Ф. Садыков. – М.: Наука. – 1994. – 285с.*

5. *Грешилов А.А. Математические методы построения прогнозов / А.А. Грешилов, В.А. Стакун, А.А. Стакун. – М.: Радио и связь. – 1997. – 112с.*

6. *Кольчик А.Е. Влияние больших скоростей подвигания лав на смещение земной поверхности / А.Е. Кольчик, Е.И. Кольчик, В.Н. Ревва // Уголь Украины, 2009. - №12. – С. 32-33.*

Рекомендована к печати д.т.н. Окалеловым В.Н.