

УДК 622.834

## Прогнозирование зон активного газовыделения из подрабатываемых пород и угольных пластов

Проанализированы возможности применения известных математических функций для описания стадий протекания процесса оседания земной поверхности при ведении очистных работ в разных горно-геологических и горнотехнических условиях. Установлены границы зон активной стадии сдвижения подработанных пород, из которых прогнозируется повышенный уровень газовыделения.

**Ключевые слова:** земная поверхность, породы, сдвижение, репер, оседание, активная стадия, газовыделение.

**Контактная информация:** lach83@mail.ru

Установление закономерностей протекания процессов сдвижения подработанных пород и земной поверхности – один из ключевых моментов решения многих задач горного производства. К такой актуальной задаче относится прогноз газовыделения из подрабатываемых источников. Как следует из литературы [1], уровень газовыделения зависит от интенсивности оседания подрабатываемых пород. Следовательно, определив стадии протекания процесса сдвижения подработанных пород и земной поверхности, можно прогнозировать интенсивность газовыделения из определенных зон подрабатываемого массива. Общую продолжительность сдвижения подработанных пород и земной поверхности делят на три стадии: начальную, активную и затухания. Указанные стадии согласно нормативному документу [2] устанавливают достаточно условно, поэтому в современных условиях больших глубин разработки существующий подход нельзя признать достаточно корректным. Основной его недостаток – отсутствие четких и однозначных методов определения временных рамок протекания как всего процесса сдвижения, так и его отдельных стадий. Наиболее перспективное направление в решении рассматриваемой проблемы – подход, предложенный профессором Ю. Н. Гавриленко [3]. Делить процесс сдвижения земной поверхности на отдельные стадии автор предлагает с помощью характерных точек математической функции, описывающей развитие оседания земной поверхности во времени над движущимся очистным забоем после образования плоского дна мульды сдвижения. В качестве таких точек используют экстремумы первых трех производных по времени от основного уравнения, описывающего изменение оседания точки земной поверхности в процессе сдвижения [3–5]. Для сопоставимости результатов, полученных в разных горно-геологических и горнотехнических условиях, вместо фактора времени авторы применяли геометрические параметры, характеризующие положение очистного забоя относительно подрабатываемой точки земной поверхности.

Остается нерешенным вопрос о том, какая функция для математического моделирования в конкретных горно-геологических и горно-



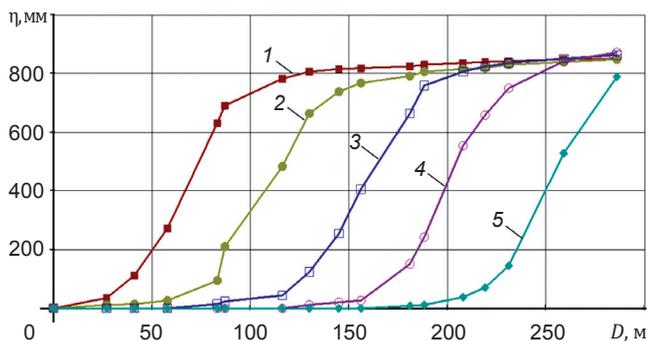
**Л. А. ЧЕПУРНАЯ,**  
аспирант  
(Донбасский ГТУ)



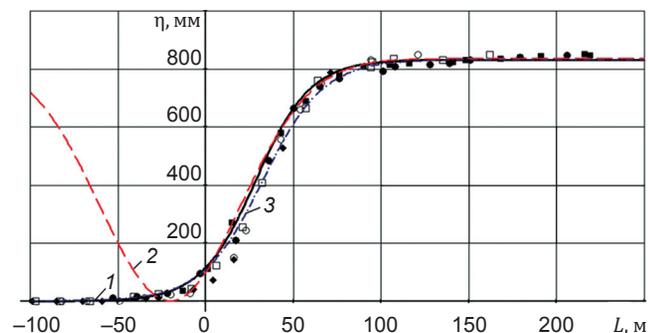
**Н. И. АНТОЩЕНКО,**  
доктор техн. наук  
(Донбасский ГТУ)

технических условиях предпочтительнее.

Для проверки возможности использования некоторых уравнений авторами данной статьи проведена статистическая обработка известных экспериментальных данных [5–9]. Детально методика такой обработки результатов наблюдений рассмотрена на примере шахты «Степная» [6]. Анализировали оседания реперов 25, 30, 35, 40 и 45, которые в процессе удаления очистного забоя от разрезной печи попали в зону полной подработки (рис. 1). Затем результаты этих наблюдений систематизировали, приняв за начало координат момент пересечения очистным забоем вертикальной линии, проведенной через точку наблюдения (рис. 2). В качестве анализируемых математических функций, описывающих все стадии процесса сдвижения земной поверхности, использовали зави-



**Рис. 1.** Оседание реперов  $\eta$  на земной поверхности после образования плоского дна мульды сдвижения при удалении  $D$  очистного забоя от разрезной печи на шахте «Степная» [6]: 1, 2, 3, 4 и 5 – экспериментальные данные оседаний соответственно реперов 25, 30, 35, 40 и 45.



**Рис. 2.** Оседание реперов  $\eta$  на земной поверхности шахты «Степная» относительно положения очистного забоя  $l$  согласно данным [6]: 1, 2, 3 – зависимости логистическая, экспоненциальная и гиперболического тангенса;  $L$  – расстояние от точки наблюдения до проекции линии очистного забоя; ■, ●, □, ○, ◆ – экспериментальные данные оседаний реперов 25, 30, 35, 40 и 45.

симости логистическую  $\eta = 832/[1+5,8 \exp(-0,064L)]$ ,  $R = 0,996$  (кривая 1), экспоненциальную  $\eta = 835\{1 - \exp[-3,1 \cdot 10^{-4} (20 + L)^2]\}$ ,  $R = 0,994$  (кривая 2) и гиперболического тангенса  $\eta = 416[1 + \text{th}(0,029L - 0,95)]$ ,  $R = 0,986$  (кривая 3), где  $R$  – корреляционное отношение. Процесс оседания земной поверхности на отдельные стадии разделили согласно методике, приведенной в работе [5]. Результаты определения границ стадий оседания земной поверхности даны в табл. 1.

Аналогично обрабатывали данные оседания репера 132 на шахте «Белозерская» [5], реперов 28, 30, 40 на шахте «Грамотеинская» (Россия) [7], репера 24 на шахте «Юбилейная» [8] и на одной из шахт Польши [9]. Для условий ведения очистных работ этих шахт характерны следующие параметры: мощность пластов  $m = 0,91 \dots 4,2$  м, угол падения пласта  $\alpha = 2 \dots 13^\circ$ , очистные работы производились на глубине  $H = 106 \dots 420$  м, длина лав  $L_{\text{л}}$  не превышала 200 м, скорость продвижения очистных забоев  $v_{\text{оч}}$  была в пределах 57–240 м/мес.

Анализ результатов статистической обработки экспериментальных данных показал, что рассматриваемые зависимости практически функционально описывают стадии процесса оседания земной поверхности. Корреляционные отношения для рассматриваемых выборок экспериментальных данных находились в диапазоне 0,987–0,999.

Наиболее важное с точки зрения возможности максимального газовыделения из подрабатываемых источников – установление активной стадии сдвижения подрабатываемых пород и земной поверхности. Она характеризуется точками ее начала и начала стадии затухания. В этот период происходит максимальное метановыделение в дегазационные скважины и горные выработки. Размеры зон, соответствующие активной

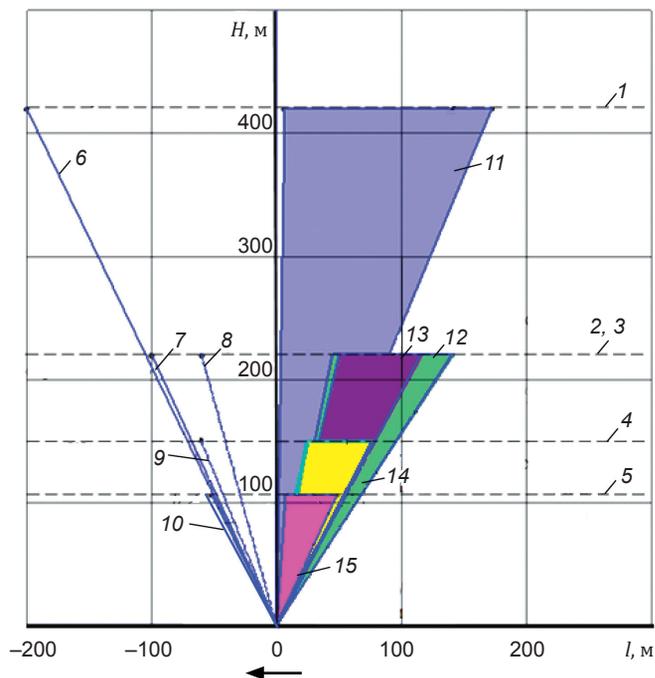
Таблица 1

Результаты обработки	Математические функции		
	логистическая $\eta = a/[1 + b \cdot \exp(-cL)]$	экспоненциальная $\eta = \eta_{\text{к}}\{1 - \exp[-\beta_1(L + l_0)^2]\}$	гиперболический тангенс $\eta = k_1[1 + \text{th}(k_2L + k_3)]$
Корреляционное отношение	0,996	0,994	0,986
Эмпирические коэффициенты	$a = 832$ ; $b = 5,8$ ; $c = 0,064$	$\beta_1 = 3,1 \cdot 10^{-4}$ ; $l_0 = 20$ ; $\eta_{\text{к}} = 835$	$k_1 = 416$ ; $k_2 = 0,029$ ; $k_3 = -0,95$
Расстояние проекции точки земной поверхности до очистного забоя, м, в начале стадии:			
оседания	$l_A = -50$	$l_A = l_0 - 20$	$l_A = -50$
активной	$l_B = -\ln(3,73/b)/c = 7$	$l_B = (0,5246/\sqrt{\beta_1}) - l_0 = 10$	$l_B = -(0,658 + k_3)/k_2 = 10$
затухания	$l_D = -\ln(0,268/b)/c = 48$	$l_D = (1,2247/\sqrt{\beta_1}) - l_0 = 50$	$l_D = (0,658 - k_3)/k_2 = 55$

стадии оседания земной поверхности и возможного максимального газовыделения из источников, примерно одинаковые согласно расчетам по принятым зависимостям. Разница между расположением характерных точек, определяющих активную стадию оседания земной поверхности и подработанных пород, составляла, как правило, несколько метров (табл. 2).

В качестве примера на рис. 3 приведено расположение зон начальной и активной стадий оседания земной поверхности и подработанных пород, определенных по логистической зависимости. Из графика видно, что, несмотря на отличия условий эксплуатации выемочных участков (длина лав, скорость подвигания очистных забоев, глубина ведения работ, угол падения пластов, их мощность), зоны активного оседания земной поверхности во всех случаях частично перекрывались. Это свидетельствует о возможно близком характере газовыделения из рассматриваемых зон при отработке пластов в разных горно-геологических и горнотехнических условиях, что подтверждается зависимостью начальной и окончанием активной стадий оседания земной поверхности от глубины ведения очистных работ (рис. 4). Для разных горно-геологических и горнотехнических условий получена четкая граница (кривая 1) окончания активной стадии оседания земной поверхности и подработанных пород в зависимости от глубины ведения очистных работ в соответствии со всеми рассмотренными функциями. Это указывает на возможность определения окончания активной стадии сдвижения пород и земной поверхности с помощью любой из рассмотренных математических функций.

Согласно рассмотренным математическим моделям невозможно определить характерную точку,

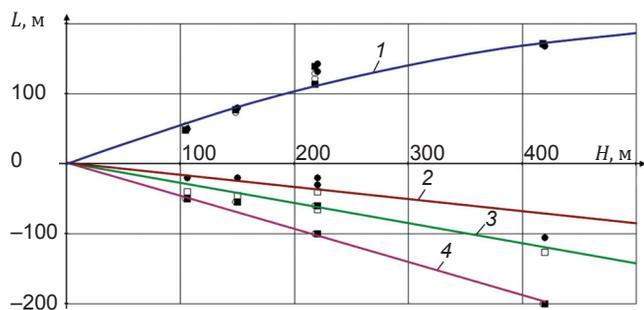


**Рис. 3.** Расположение зон начальной и активной стадий оседания земной поверхности и подработанных пород, определенных согласно логистической зависимости для различных горно-геологических условий: 1, 2, 3, 4 и 5 — земная поверхность шахт «Белозерская», «Грамотеинская», одной из шахт Польши, «Юбилейная» и «Степная»; 6, 7, 8, 9 и 10 — границы в подработанных породах, соответствующие начальной стадии оседания земной поверхности для шахт «Белозерская», «Грамотеинская», одной из шахт Польши, «Юбилейная» и «Степная»; 11, 12, 13, 14 и 15 — зоны в подработанных породах, соответствующие активной стадии оседания точек земной поверхности на шахтах «Белозерская», «Грамотеинская», одной из шахт Польши, «Юбилейная» и «Степная»; ← — направление подвигания очистного забоя.

Таблица 2

Горно-геологические условия					Расстояние проекции точки земной поверхности до очистного забоя, м, в начале стадии									Источник	
					оседания			активной			затухания				
$m, м$	$\alpha, \dots^\circ$	$H, м$	$L_p, м$	$v_{очч}$ м/мес	Фактическое	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
1,30	10–13	420	–	63	–126	–200	–105	–200	6	12	5	172	168	170	[5]
0,91	4	106	150	57	–40	–50	–20	–50	7	10	10	48	50	55	[6]
4,20	–	210–230	–	210	–65	–100	–30	–100	44	44	42	139	143	129	[7]
1,00	2–5	150	–	40–80	–45	–55	–20	–55	24	23	24	77	80	74	[8]
1,65	–	200–240	190	240	–30	–60	–20	–60	49	45	52	114	132	122	[9]

**Примечание.** 1, 2 и 3 — соответствуют зависимостям логистической, экспоненциальной и гиперболическому тангенсу.



**Рис. 4.** Зависимость расстояния  $L$  проекции точки земной поверхности до очистного забоя при начальной и окончании активной стадий от глубины  $H$  ведения очистных работ: ■, ●, ○ – расчетные значения расстояния проекции точки земной поверхности до очистного забоя  $l$ , полученные по зависимостям логистической, экспоненциальной и гиперболического тангенса; □ – фактические значения, соответствующие началу сдвижения земной поверхности; 1 – расчетная зависимость окончания активной стадии оседания земной поверхности согласно рассматриваемым математическим зависимостям; 2, 3 и 4 – зависимости начальной стадии оседания земной поверхности от глубины ведения очистных работ, полученные соответственно по экспериментальным данным и расчетным значениям согласно зависимостям экспоненциальной, логистической и гиперболического тангенса.

соответствующую полному окончанию процесса сдвижения земной поверхности после уплотнения подработанных пород. Учитывая отличительные особенности заключительной стадии уплотнения пород и сдвижения земной поверхности, необходимо разработать математическую модель этого процесса.

**Выводы.** Для описания стадий протекания процесса оседания земной поверхности при подвигании очистного забоя в разных горно-геологических и горнотехнических условиях анализировали логистическую, экспоненциальную зависимости и функцию гиперболического тангенса. Все три математические модели точно описывают процесс оседания точек земной поверхности над очистным забоем после образования плоского дна мульды сдвижения (корреляционное отношение логистической зависимости находилось в пределах 0,995–0,999, экспоненциальной зависимости – 0,974–0,998, гиперболического тангенса – 0,986–0,997).

Несмотря на отличия условий эксплуатации выемочных участков, зоны активного оседания земной поверхности во всех случаях частично взаимно перекрываются. Это свидетельствует о возможно близком характере газовыделения из рассматриваемых зон при отработке пластов в разных горно-геологических и горнотехнических условиях. Размеры зон, соответствующие активной стадии оседания

земной поверхности и возможного максимального газовыделения из источников, примерно одинаковы (согласно расчетам по всем трем принятым зависимостям).

Проведенный анализ позволяет рекомендовать рассмотренные функции математического моделирования только для случаев полной подработки земной поверхности при определении начальной и активной стадий сдвижения земной поверхности.

Выбор математической функции для адекватного описания процесса оседания земной поверхности на всех стадиях развития очистных работ с помощью характерных точек требует дальнейшего анализа и разработки рекомендаций по их применению для конкретных горно-геологических условий.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Морев А. М. Дегазация сближенных пластов / А. М. Морев, И. И. Евсеев. – М.: Недра, 1975. – 168 с.
2. Правила підробки будівель, споруд і природних об'єктів при видобуванні вугілля підземним способом: ГСТУ 101.00159226.001–2003. – Офіц. вид. – К.: Мінпаливенерго України, 2004. – 128 с. – (Нормативний документ Мінпаливенерго України).
3. Гавриленко Ю. Н. Математическое описание динамики процесса сдвижения на угольных шахтах Донбасса / Ю. Н. Гавриленко // International Society for Mine Surveying, XIII International Congress, Budapest, Hungary. 24–28 September. – 2007. – Report 032. – 6 p.
4. 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.
5. Гавриленко Ю. Н. Прогнозирование сдвижений земной поверхности во времени / Ю. Н. Гавриленко // Уголь Украины. – 2011. – № 6. – С. 45–49.
6. Ларченко В. Г. Влияние подземной разработки угольных пластов на состояние земной поверхности / В. Г. Ларченко // Вестник МАНЭБ. – № 4 (12). – СПб. – 1998. – С. 39–41.
7. Ягунов А. С. Исследование влияния высоких скоростей подвигания очистного забоя на характер и параметры процесса сдвижения поверхности / А. С. Ягунов // Вестник НИЦ по безопасности работ в угольной промышленности. – 2007. – № 2. – С. 36–43.
8. 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. 126–130.
9. V. Adamek. Static and Dynamic subsidence prediction in the northern Appalachian based on the use of a variable subsidence coefficient / V. Adamek, W. Jeran, M. Trevits // Proc. Third workshop on surface subsidence due to underground mining. – Morgantown, West Virginia University, 1992. – P. 10–21.