

**К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГРАНИЦ ВЛИЯНИЯ ОЧИСТНЫХ ВЫРАБОТОК НА  
ЗЕМНУЮ ПОВЕРХНОСТЬ****<sup>1</sup>Антощенко Н.И., <sup>1</sup>Филатьева Э.Н., <sup>1</sup>Филатьев М.В.**<sup>1</sup>*Восточноукраинский национальный университет имени Владимира Даля***ДО ПИТАННЯ ВИЗНАЧЕННЯ МЕЖ ВПЛИВУ ОЧИСНИХ ВИРОБОК НА ЗЕМНУ  
ПОВЕРХНЮ****<sup>1</sup>Антощенко М.І., <sup>1</sup>Філатьєва Е.М., <sup>1</sup>Філатьєв М.В.**<sup>1</sup>*Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля***ON THE ISSUE OF DETERMINING THE BOUNDARIES OF THE IMPACT OF MINE  
WORKINGS ON THE EARTH'S SURFACE****<sup>1</sup>Antoshchenko M.I., <sup>1</sup>Filatieva E.M., <sup>1</sup>Filatiev M.V.**<sup>1</sup>*Volodymyr Dahl East Ukrainian National University*

**Аннотация.** В статье приведены результаты исследований по установлению факторов, которые определяют границу динамической полумульды на земной поверхности впереди проекции движущегося очистного забоя. Результаты таких работ способствуют успешному решению инженерных задач о проявлении горного давления на крепь выработок, установлении возможных водо- и газопритоков из подрабатываемой угленосной толщи и экологических последствий для земной поверхности. Теоретическая часть методики исследований разработана согласно схемы оседания точек земной поверхности относительно проекции очистного забоя. Кривая траектории точек оседания земной поверхности делится характерными точками на разные стадии оседания земной поверхности. К таким стадиям относятся: начало сдвижения земной поверхности, активная стадия сдвижения, окончание активной стадии и затухание процессов оседания земной поверхности. Согласно поставленной цели и расчётной схемы на основании экспериментальных данных определили параметры, соответствующие расположению точки земной поверхности начала её оседания. Такими параметрами являются граничные углы и расстояние от проекции очистного забоя до рассматриваемой точки. Применительно к рассматриваемой схеме проанализировали три известные зависимости для описания кривой оседания земной поверхности: экспоненциальное уравнение, функцию гиперболического тангенса и логистическую кривую. Согласно производным этих зависимостей определены характерные участки оседания земной поверхности. Уравнения производных, рассматриваемых функций, характеризуют динамику оседания земной поверхности - скорость оседания, ускорение и изменение ускорения. На основании экстремумов производных определены уравнения координат характерных точек кривой динамики оседания земной поверхности, в том числе и координаты точки начала оседания земной поверхности. Для каждого объекта наблюдений определены, методом наименьших квадратов, эмпирические коэффициенты, входящие в исходные уравнения. Используя их численные значения и зависимости для определения координат характерных точек, нашли границы стадии оседания земной поверхности при ведении очистных работ на десяти объектах. Полученные результаты согласно рассматриваемым зависимостям были практически одинаковыми. Конечные оседания земной поверхности, определенные с помощью рассматриваемых функций, в большинстве случаев, отличались между собой на величину не более одного процента. Только в одном случае максимальная разница составила 3,1%. Это дало возможность применения любой из рассматриваемых функций для определения ординат характерных точек. Аналогичным образом установлена возможность применения анализируемых функций для определения абсцисс характерных точек оседания земной поверхности. На их основании установлено, что главным влияющим фактором, определяющим границу динамической полумульды, является глубина ведения горных работ, а граничные углы практически не зависят от этого параметра.

**Ключевые слова:** земная поверхность, точка, начало оседания, динамическая полумульда, граница, очистной забой, подвигание, глубина, граничные углы.

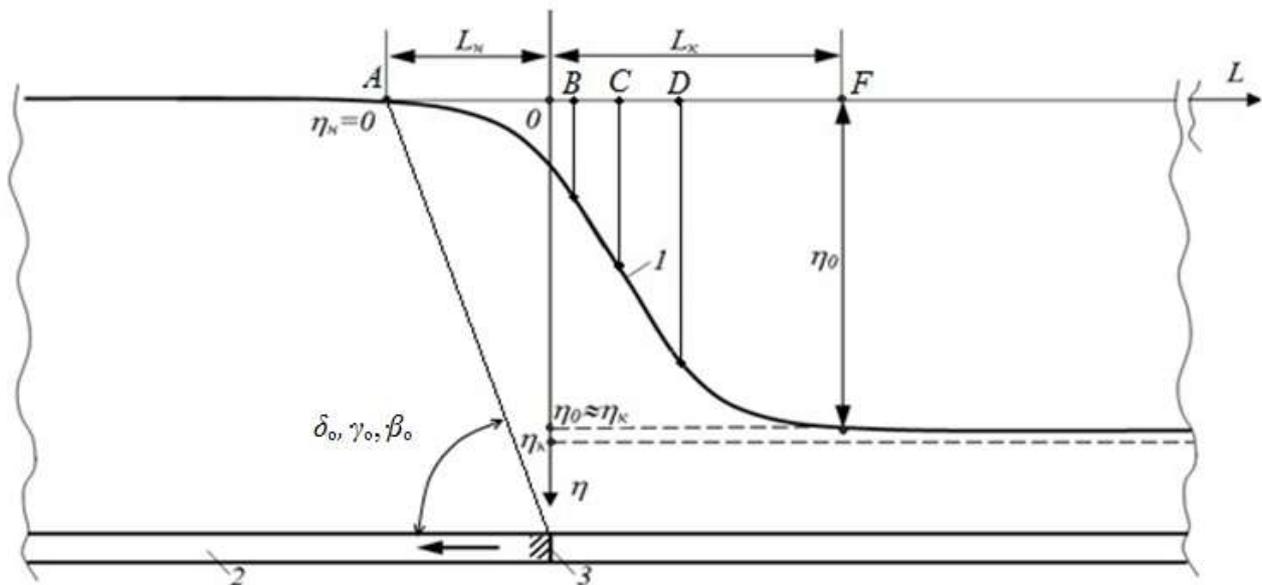
**Введение.** Одним из малоизученных вопросов при отработке угольных пластов является достоверное установление границ влияния очистных выработок на земную поверхность. Подтверждением этому являются

результаты [1] сравнения экспериментально определённых размеров мульд сдвига земной поверхности с их параметрами, рассчитанными согласно нормативному документу [2]. Например, в условиях шахты «Степная» расчётные значения размеров мульд сдвига земной поверхности были значительно меньше экспериментально определённых параметров. В условиях же шахты им. П.Л. Войкова наоборот, экспериментальные значения размеров мульд сдвига земной поверхности в несколько раз превышали их расчётные величины. Такая ситуация указывает на актуальность работ, связанных с изучением влияния очистных выработок на земную поверхность.

Результаты таких работ определяют успешное решение инженерных задач о проявлении горного давления на крепь выработок, установлении возможных водо- и газопритоков из подрабатываемой угленосной толщи и экологических последствий для земной поверхности.

Цель работы – установить факторы, определяющие границу динамической полумульды на земной поверхности впереди проекции движущегося очистного забоя.

**Методика.** Теоретическая часть методики исследований разработана с учетом схемы оседания земной поверхности [3] относительно проекции очистного забоя (рис.1).



1 - кривая траектории точек оседания земной поверхности; 2 - разрабатываемый пласт; 3 - положение очистного забоя относительно кривой динамики оседания земной поверхности в начальный момент влияния на точку A;  $\eta_n$ ,  $\eta_k$  - соответственно начальное и конечное оседание земной поверхности;  $\eta_0$  - глубина плоского дна мульды сдвига до уплотнения пород;  $L_n$ ,  $L_k$  - расстояния между проекцией очистного забоя и точками A и F соответственно на начало и окончание сдвига;  $\delta_0$ ,  $\gamma_0$ ,  $\beta_0$  - граничные углы (в зависимости от направления отработки выемочного столба), определяющие положения точки A (начало сдвига земной поверхности); ← - направление подвигания очистного забоя.

Рисунок 1 - Схема оседания земной поверхности относительно проекции очистного забоя

В этой схеме вместо времени по оси абсцисс откладывали расстояния ( $L$ ) от проекции линии очистного забоя на земную поверхность до точек наблюдений. Характерными точками кривой динамики оседания являются:  $A$  - соответствует началу сдвижения земной поверхности,  $O$  - находится в створе с очистным забоем и служит началом отсчета по оси абсцисс;  $B$  - начало активной стадии;  $C$  - максимальная скорость оседания и точка перегиба кривой,  $D$  - окончание активной стадии и начало ее затухания,  $F$  - начало остаточного влияния. Стадия затухания в рассматриваемой схеме ограничивается точкой  $F$ . Её оседание ( $\eta_o$ ) составляет примерно  $0,97 \div 0,99$  от конечного ( $\eta_k$ ) при закончившихся процессах уплотнения пород [3].

Согласно поставленной цели и расчётной схемы (рис.1) на основании экспериментальных данных необходимо определить для каждого конкретного случая параметры, определяющие положение точки  $A$ . К ним относятся граничные углы ( $\delta_o$  - при отработке пластов по простиранию,  $\gamma_o$  - по восстанию,  $\beta_o$  - по падению), а также  $L_H$  - расстояние от проекции очистного забоя до точки  $A$ .

**Экспериментальная часть.** Деление процесса сдвижения подработанных пород и земной поверхности на отдельные стадии произвели с использованием рекомендуемых [3-5] функций.

Применительно к рассматриваемой схеме (рис. 1) динамика оседания земной поверхности описывается экспоненциальным уравнением [3]:

$$\eta(L) = \eta_k \left( 1 - \exp^{-\beta_1(L+L_H)^2} \right), \quad (1)$$

где  $\eta$  - оседание точки наблюдения на земной поверхности при удалении её проекции на расстояние  $L$  от очистного забоя, мм;  $\beta_1$  - эмпирический коэффициент, определяемый по экспериментальным данным.

Первые три производные функции (1) являются уравнениями скорости оседания, ускорения и изменения ускорения. По экстремумам полученных зависимостей определяются координаты характерных точек, которые используются в качестве границ стадий сдвижения [3].

Аналогичным способом производится определение границ стадий оседания земной поверхности на основании экстремумов первых двух производных функций гиперболического тангенса [4]:

$$\eta(L) = n_1 \{ 1 + \tan h(n_2 \cdot L + n_3) \}, \quad (2)$$

где  $n_1, n_2, n_3$  - эмпирические коэффициенты, определенные методом наименьших квадратов.

При построении кривой динамики оседания земной поверхности по абсолютным значениям экспериментальных данных согласно функции гиперболического тангенса установлено, что коэффициент  $n_1$  численно равен

половине конечного оседания ( $n_1 = \eta_k/2$ ).

Расстояние  $L_n$  (рис.1) определяется из условия  $\eta_n = 0$ . Минимальное значение функции (2) асимптотически приближается к нулю, поэтому для определения начала воздействия очистных работ на земную поверхность ввели допущение  $\eta_n = d_1 \cdot \eta_k = 0,01 \eta_k$ . Параметр  $L_n$  для этого случая определится из уравнения 2:

$$L_n = \frac{\arctan h(2 \cdot d_2 - 1) - n_3}{n_2} = \frac{1.946 - n_3}{n_2}. \quad (3)$$

Производные функции гиперболического тангенса соответствуют зависимостям [6]:

$$\eta'(L) = n_1 \cdot n_2 \left[ 1 - \tan h^2(n_2 \cdot L + n_3) \right], \quad (4)$$

$$\eta''(L) = -2n_1 \cdot n_2^2 \tan h(n_2 \cdot L + n_3) \cdot \left[ 1 - \tan h^2(n_2 \cdot L + n_3) \right]. \quad (5)$$

На основании значений экстремумов уравнений (4), (5) определяются координаты характерных точек кривой динамики оседания земной поверхности.

Уравнение логистической кривой для описания динамики оседания земной поверхности имеет вид [5]:

$$\eta(L) = \frac{a}{1 + b \cdot \exp(-c \cdot L)}, \quad (6)$$

где  $a$  – эмпирический коэффициент, соответствующий конечному оседанию земной поверхности ( $\eta_k$ );  $b$ ,  $c$  – эмпирические коэффициенты, определяющие положение кривой относительно оси абсцисс и ширину среднего участка, т.е. активную стадию оседания земной поверхности.

Первая производная уравнения (6) характеризуется зависимостью:

$$\eta'(L) = \frac{a \cdot b \cdot c \cdot \exp(-c \cdot L)}{1 + b \cdot \exp(-c \cdot L)^2}. \quad (7)$$

Экстремальному значению функции  $\eta'(L)$  соответствует точка С перегиба логистической кривой (рис. 1) с координатами  $\left(\frac{\ln b}{c}, \frac{a}{2}\right)$ .

Вторая производная от исходного уравнения (6):

$$\eta''(L) = \frac{-a \cdot b \cdot c^2 \cdot \exp(-c \cdot L) \cdot [1 - b \cdot \exp(-c \cdot L)]}{1 + b \cdot \exp(-c \cdot L)^3} \quad (8)$$

имеет два экстремальных значения. Значения этих координат определяют положение активной стадии оседания земной поверхности (точки  $B$  и  $D$ ).

Параметр  $L_n$  для логистической кривой (6) определили из условий  $\eta_n = d_1 \cdot \eta_k = 0,01 \cdot \eta_k$  и  $a = \eta_k$ :

$$L_n = -\frac{\ln\left(\frac{1/d_1 - 1}{b}\right)}{c} = -\frac{4,595 - \ln b}{c}. \quad (9)$$

Параметр  $L_k$  нашли из условия  $\eta = d_2 \cdot \eta_k = (0,97 \div 0,99)\eta_k$ :

$$L_k = \frac{\ln\left(\frac{1/d_2 - 1}{b}\right)}{c} = -\frac{-3,892 - \ln b}{c}. \quad (10)$$

Координаты характерных точек ( $A, O, B, C, D, F$ ) кривой динамики оседания земной поверхности, определенные согласно исходным зависимостям (1, 2, 6), сведены в таблицу 1.

Таблица 1 - Зависимости для определения координат характерных точек кривой динамики оседания земной поверхности согласно экспоненциальной, гиперболического тангенса и логистической уравнениям.

Характерные точки кривой динамики оседания земной поверхности (рис. 1)	Экспоненциальное уравнение		Уравнение гиперболического тангенса		Логистическое уравнение	
	Абсцисса $L, м$	Ордината $\eta, мм$	Абсцисса $L, м$	Ордината $\eta, мм$	Абсцисса $L, м$	Ордината $\eta, мм$
$A$	$-L_n$	0	$-\frac{2,298 + n_3}{n_2}$	0	$\frac{4,595 - \ln b}{-c}$	0
$O$	0	$\eta_k [1 - \exp(-\beta_2 \cdot L_0^2)]$	0	$n_1 [1 + \tanh n_3]$	0	$\frac{\eta_k}{1 + b}$
$B$	$\frac{0,5246}{\sqrt{\beta_1}} - L_n$	$0,241 \eta_k$	$-\frac{0,658 + n_3}{n_2}$	$0,21 \eta_k$	$\frac{\ln(3,73/b)}{-c}$	$0,21 \eta_k$
$C$	$\frac{0,7071}{\sqrt{\beta_1}} - L_n$	$0,393 \eta_k$	$-\frac{n_2}{n_3}$	$0,50 \eta_k$	$\frac{\ln b}{c}$	$0,50 \eta_k$
$D$	$\frac{1,2247}{\sqrt{\beta_1}} - L_n$	$0,777 \eta_k$	$\frac{0,658 - n_3}{n_2}$	$0,80 \eta_k$	$\frac{\ln(0,268/b)}{-c}$	$0,79 \eta_k$
$F$	$\sqrt{\frac{\ln(1-d)}{-\beta_1}} - L_n$	$(0,97 \div 0,99) \eta_k$	$\frac{1,946 - n_3}{n_2}$	$(0,97 \div 0,99) \eta_k$	$\frac{3,892 - \ln b}{c}$	$(0,97 \div 0,99) \eta_k$

Следующим этапом выполнения работы было определение для каждого объекта наблюдений эмпирических параметров, входящих в исходные уравнения.

Для экспоненциального уравнения (1) находили значения  $\eta_k, \beta_1, L_n$ , для уравнения (2) гиперболического тангенса -  $n_1, n_2, n_3$  и для логистической зависимости (6) -  $a, b, c$ .

**Результаты.** Обработку экспериментальных данных, с целью определения эмпирических коэффициентов уравнений (1, 2, 3), произвели методом наименьших квадратов. Используя их численные значения и зависимости для определения координат характерных точек (табл. 1), нашли границы стадий оседания земной поверхности при ведении очистных работ на десяти объектах (табл. 2).

Следует отметить, что в большинстве случаев значения  $\eta_k$ , определенные с помощью рассматриваемых функций, практически были равны между собой. Отличия, как правило, не превышали 1,0% и только в одном случае (шахта Аппалачского бассейна) максимальная разница составила 3,1%. Это свидетельствует о возможности применения любой из рассматриваемых функций для определения ординат характерных точек.

К аналогичному выводу пришли о возможности применения анализируемых функций для определения абсцисс характерных точек оседания земной поверхности. Используя эмпирические коэффициенты уравнений (табл. 2) для всех шахт рассчитали абсциссу ( $L_A$ ) характерной точки  $A$  (табл. 3).

По экспериментальным данным [11, 13] установлено, что параметры мульды сдвижения земной поверхности на 80% и более могут определяться глубиной ведения работ. Для проверки и подтверждения этого предположения на основании данных (табл. 3) определили зависимости усредненных значений абсцисс характерной точки  $A$  от глубины ведения очистных работ.

Результаты этих расчетов показывают, что абсциссы характерной точки прямопропорционально зависят от глубины горных работ. По абсолютной величине коэффициент корреляции ( $r$ ) для разных угольных бассейнов был равен 0,89, а для шахт Донецкого бассейна  $r = 0,97$  (рис. 2). Довольно тесная корреляционная связь ( $r = 0,95$ ) установлена абсциссы  $L_A$  с относительным параметром  $H/m$ . Это свидетельствует о том, что параметр  $H/m$  наравне с глубиной может определять границу динамической мульды впереди проекции очистного забоя. Связь граничных углов ( $\delta_o, \gamma_o, \beta_o$ ) с  $H$  и  $H/m$  не установлена (рис. 3). Коэффициенты корреляции соответственно составляли - 0,13 и - 0,25. Граничные углы ( $\delta_o, \gamma_o, \beta_o$ ) находились в диапазоне 68-83°, при среднем их значении 76°.

**Выводы.** Проведенные исследования позволили установить следующее:

- главным влияющим фактором, определяющим границу ( $L_A$ ) динамической полумульды на земной поверхности впереди проекции движущегося очистного забоя является глубина ведения горных работ ( $H$ ). Эта зависимость носит прямопропорциональный характер  $L_A = 0,263 \cdot H$ ;

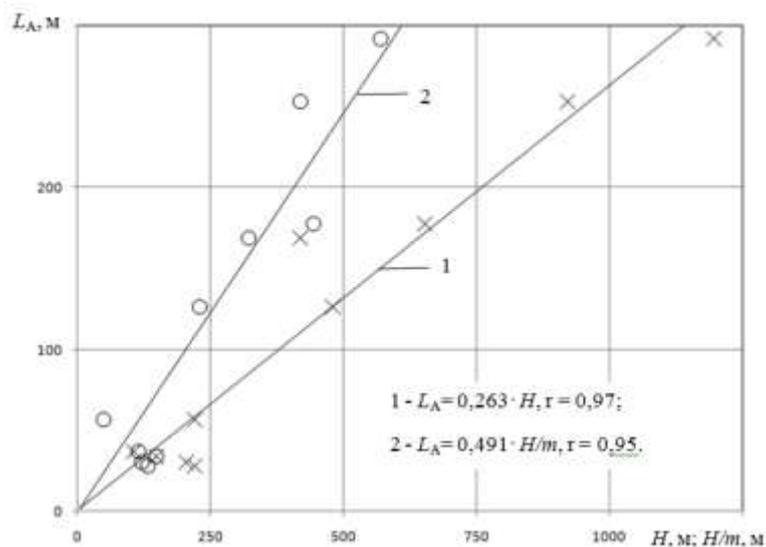
- граничные углы ( $\delta_o, \gamma_o, \beta_o$ ) практически не зависят от глубины ведения очистных работ. Их значения находились в диапазоне 68÷83°, при среднем значении 76°.

Таблица 2 - Результаты определения эмпирических коэффициентов и корреляционных отношений ( $R$ ) методом наименьших квадратов для объектов наблюдений

Шахта, пласт, литературный источник	Математические функции											
	Логистическая				Экспоненциальная				Гиперболический тангенс			
	$a=\eta_k$	$b$	$c$	$R$	$\beta_1$	$L_n$	$\eta_k$	$R$	$n_1=0,5\eta_k$	$n_2$	$n_3$	$R$
«Белозерская», [3]	810	4,1	0,016	0,998	2,0	105	810	0,999	405	0,008	-0,70	0,997
№22«Коммунарская», $K_3$ , [4]	900	9,3	0,010	0,998	1,0	70	900	0,976	450	0,005	-1,11	0,998
«Грамотеинская», Сычевский-III,[11]	2375	13,0	0,028	0,999	5,0	30	2420	0,987	1180	0,015	-1,28	0,995
Шахта Аппалачского бассейна,[9]	980	26,0	0,040	0,995	6,5	20	1010	0,991	490	0,019	-1,65	0,994
«Юбилейная», $C'_6$ , [8]	915	12,5	0,050	0,997	1,5	20	910	0,974	458	0,026	-1,27	0,996
Им. А.Ф. Засядько, $m_3$ ,[12]	400	7,0	0,006	0,997	3,0	70	400	0,974	200	0,003	-1,20	0,996
«Сташиц»,352,[12]	480	4,1	0,020	0,999	5,0	60	980	0,984	490	0,010	-0,70	0,999
Шахта Рурского бассейна, Grimberg 2/3, [12]	1420	5,8	0,010	0,998	5,5	200	1420	0,979	710	0,005	-0,87	0,998
Им. С.М. Кирова, ПО «Ленинскуголь», Болдыревский,[10]	1300	7,1	0,070	0,996	3,3	21	1310	0,997	638	0,041	-0,98	0,994
«Степная», [7]	832	5,8	0,064	0,996	3,1	20	835	0,994	416	0,029	-0,95	

Таблица 3 – Результаты определения координат характерной точки  $A$  оседания земной поверхности по оси абсцисс и граничных углов ( $\delta_o, \gamma_o, \beta_o$ ).

Шахта, пласт, литературный источник	Глубина ведения очистных работ, $H, м$	Мощность разрабатываемого пласта, $m, м$	$H/m$	Угол падения пластов, $\alpha$ , град	Расстояние между проекцией очистного забоя и точкой $A$ , $L_A, м$	Граничные углы, $\delta_o, \gamma_o, \beta_o$ , град
«Белозёрская», [3]	420	1,30	323	12	169	68
№ 22 «Коммунарская», К <sub>3</sub> , [4]	652	1,47	444	20	178	75
«Грамотеинская», Сычевский-III, [11]	220	4,50	49	4	57	75
Шахта Аппалачского бассейна, [9]	220	1,65	133	-	28	83
«Юбилейная», С <sub>6</sub> , [8]	150	1,00	150	3	34	77
Им. А.Ф. Засядько, м <sub>3</sub> , [12]	1195	2,10	569	10	292	76
«Сташиц», 352, [12]	480	2,10	229	-	126	75
Шахта Рурского бассейна, Grimberg, 2/3, [12]	920	2,20	418	-	253	75
Им. С.М. Кирова, ПО «Ленинскуголь», Болдыревский, [10]	205	1,70	121	6	30	82
«Степная», [7]	106	0,91	116	4	37	71

Рисунок 2 - Зависимость абсциссы  $L_A$  характерной точки  $A$  от глубины ведения очистных работ  $H$  и параметра  $H/m$ . 1, 2 - усредняющие прямые связи  $L_A$  соответственно с  $H$  и  $H/m$ ;  $\times$ ,  $\circ$  - экспериментальные данные;  $r$  - коэффициент корреляции.

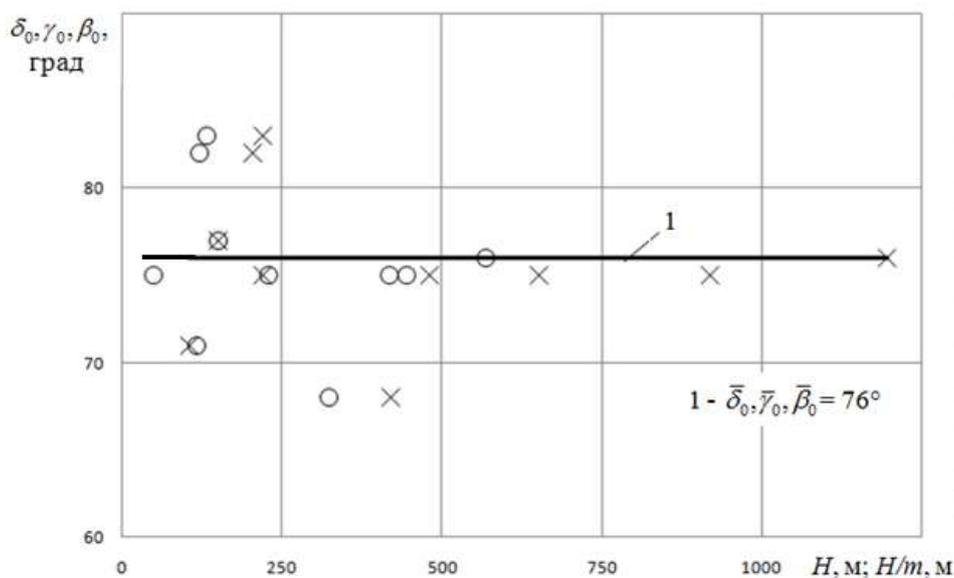


Рисунок 3 - Зависимость граничных углов ( $\delta_0, \gamma_0, \beta_0$ ) от глубины ведения очистных работ  $H$  и параметра  $H/m$ . 1 - прямая, соответствующая средним значениям углов ( $76^\circ$ );  $\times, \circ$  - экспериментальные значения соответственно зависимости от  $H$  и  $H/m$

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Филатьев М.В., Антощенко Н.И., Пыжов С.В. Формирование динамической и стационарной полумульды сдвижения земной поверхности при отработке угольных пластов. Сб. научных трудов ДонГТУ. Лисичанск, 2016. Вып. 1(45). С. 15-24.
2. ГСТУ 101.00159226.001 Правила підробки будівель, споруд і природних об'єктів при видобуванні вугілля підземним способом. Київ: 2004. 128с. (Галузевий стандарт України).
3. Гавриленко Ю.Н. Прогнозирование сдвижений земной поверхности во времени // Уголь Украины. 2011. №6. С. 45-49.
4. Кулибаба С.Б., Рожко М.Д. Временные параметры интенсивной стадии процесса сдвижения земной поверхности // Наукові праці Укр НДМІ НАН України. 2011. №9 (частина 1). С. 173-179.
5. Чепурная Л.А., Антощенко Н.И. Прогнозирование зон газовой выделения из подрабатываемых пород и угольных пластов // Уголь Украины. 2015. №3-4. С. 51-54.
6. Кулибаба С.Б., Рожко М.Д., Хохлов Б.В. Характер развития процесса сдвижения земной поверхности во времени над движущимся очистным забоем // Наукові праці УкрНДМІ НАН України. 2010. №7. С. 40-54.
7. Ларченко В.Г. Влияние подземной разработки угольных пластов на состояние земной поверхности // Вестник МАНЭБ. С. – Петербург, 1998. №4 (12). С. 39-41.
8. Назаренко В.А., Йощенко Н.В. Закономерности развития максимальных оседаний и наклонов поверхности в мульде сдвижений. Днепропетровск: НГУ, 2011. 91с.
9. Бабенко Е.В. Настройка модели для моделирования сейсмических событий техногенной природы // Проблеми гірського тиску. ДонНТУ, 2009. №17. С. 67-93.
10. Авершин С.Г., Казаковский Д.А., Коротков М.В. и др. Сдвижение горных пород и земной поверхности в главнейших угольных бассейнах СССР. М.: Углетехиздат, 1958. 251с.
11. Ягунов А. С. Исследование влияния высоких скоростей подвигания очистного забоя на характер и параметры процесса сдвижения поверхности // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. 2007. №2. С. 36-43.
12. Гавриленко Ю. Н., Папазов Н.М., Морозова Т.В. Динамика оседаний земной поверхности при большой глубине разработки и высокой скорости подвигания забоя // Проблеми гірського тиску. ДонНТУ. 2000. №4. С. 108-119.
13. Филатьев М.В., Антощенко Н.И., Пыжов С.В. Влияние глубины ведения очистных работ на сдвижение земной поверхности. Збірник наукових праць ДонДТУ. Лисичанськ, 2015. Вип.1 (44). С. 29-34.

#### REFERENCES

1. Filatiev M.V., Antoshchenko N.I. and Pyzhov S.V. (2016), "Formation of dynamic and stationary semi-molds of the displacement of the earth's surface during mining of coal seams", *Collection scientific works of DonSTU*, Issue 1 (45), pp. 15-24.
2. Ukraine's industry standard (2004), *GSTU 101.00159226.001 Pravyla pidrobky budivel, sporud i pryrodnykh obektiv pri vydobuvanni vugillya pidzemnym sposobom* [GSTU 101.00159226.001 Rules for the forgery of buildings,

structures and natural objects in the underground mining of coal: GSTU], Kiev, Ukraine.

3. Gavrilenko Yu.N. (2011), "Prediction of Earth surface displacements in time", *Coal of Ukraine*, no. 6, pp. 45-49.
4. Kulibaba S.B. and Rozhko M.D. (2011), "Temporal parameters of the intensive stage of the process of displacement of the earth's surface", *Scientific Works of Ukr NDMI NAS of Ukraine*, №9 (part 1), pp. 173-179.
5. Chepurnaya L.A. and Antoshchenko N.I. (2015), "Prediction of zones of gas evolution from undermined rocks and coal seams", *Coal of Ukraine*, no. 3-4, pp. 51-54.
6. Kulibaba S.B., Rozhko M.D. and Khokhlov B.V. (2010), "The nature of the development of the process of shifting the earth's surface in time over a moving face", *Science and Technology of Ukraine, National Academy of Sciences of Ukraine*, no. 7, pp. 40-54.
7. Larchenko V.G. (1998), "The effect of underground mining of coal seams on the state of the earth's surface", *Vestnik MANEB*, St. Petersburg, no. 4 (12), pp. 39-41.
8. Nazarenko V.A. and Yoshchenko N.V. (2011), *Zakonomernosti rozvitiya maksimalnykh osedaniy i naklonov poverkhnosti v mulde slvizheniy* [Patterns of development of maximum subsidence and inclination of the surface in the displacement mold], Dnepropetrovsk, UA.
9. Babenko E.V. (2009), "Setting up a model for modeling seismic events of anthropogenic nature", *Rock pressure problems*, DonNTU, no. 17, Pp. 67-93.
10. Avershin S.G., Kazakovskiy D.A., Korotkov M.V. [et al.] (1958), *Sdvizhenie gornyykh porod i zemnoy poverkhnosti v glavneyshykh ugolnykh basseynakh SSSR* [Shift of rocks and the earth's surface in the main coal basins of the USSR], Ugletekhizdat, Moscow, SU. 251p.
11. Yagunov A. S.(2007) "Investigation of the influence of high speeds of movement of the face on the nature and parameters of the surface displacement process", *Bulletin of the Scientific Center for the Safety of Work in the Coal Industry*, no. 2, pp. 36-43.
12. Gavrilenko Yu.N., Papazov N.M. and Morozova T.V. (2000), "The dynamics of subsidence of the earth's surface with a large depth of development and a high speed of movement of the face", *Rock pressure problems*, DonNTU, no. 4, pp. 108-119.
13. Filatiev M.V., Antoshchenko N.I. and Pyzhov S.V. (2015) "Influence of the depth of treatment works on the displacement of the earth's surface", *Collection scientific works of DonSTU*, Issue. 1 (44), pp. 29-34.

---

#### Об авторах

**Антощенко Николай Иванович**, доктор технических наук, профессор кафедры химии и охраны труда, Восточноукраинский национальный университет имени Владимира Даля (ВНУ им. В. Даля), Северодонецк, Украина.

**Филатьева Эльвира Николаевна**, аспирант, Восточноукраинский национальный университет имени Владимира Даля (ВНУ им. В. Даля), Северодонецк, Украина. [elafiliateva@gmail.com](mailto:elafiliateva@gmail.com).

**Филатьев Михаил Владимирович**, кандидат технических наук, доцент кафедры строительства, урбанистики и пространственного планирования, Восточноукраинский национальный университет имени Владимира Даля (ВНУ им. В. Даля), Северодонецк, Украина. [mfilatev@gmail.com](mailto:mfilatev@gmail.com).

#### About the authors

**Antoshchenko Mykolai Ivanovych**, Doctor of Technical Sciences (D. Sc.), Professor, Department of Chemistry and Labor Protection, Volodymyr Dahl East Ukrainian National University, Severodonetsk, Ukraine.

**Filiateva Elvira Mykolaiivna**, Doctoral Student, Volodymyr Dahl East Ukrainian National University, Severodonetsk, Ukraine. [elafiliateva@gmail.com](mailto:elafiliateva@gmail.com).

**Filatiev Myhailo Volodymyrovych**, Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Associate Professor, Department of Construction, Urban Studies and Spatial Planning, Volodymyr Dahl East Ukrainian National University, Severodonetsk, Ukraine. [mfilatev@gmail.com](mailto:mfilatev@gmail.com).

---

**Анотація.** У статті наведено результати досліджень по встановленню факторів, які визначають межу динамічної напівмульди на земній поверхні попереду проєкції рухомого очисного вибою. Результати таких робіт сприяють успішному вирішенню інженерних задач про прояв гірського тиску на кріплення виробок, встановлення можливих водо- і газопритоків з підроблюваної вуглепородної товщі і екологічних наслідків для земної поверхні. Теоретична частина методики досліджень розроблена відповідно до схеми осідання точок земної поверхні відносно проєкції очисного вибою. Крива траєкторії точок осідання земної поверхні ділиться характерними точками на різні стадії осідання земної поверхні. До таких стадій відносяться: початок зрушення земної поверхні, активна стадія зрушення, закінчення активної стадії і загасання процесів осідання земної поверхні. Відповідно до поставленої мети і розрахункової схеми на підставі експериментальних даних визначили параметри, відповідні розташуванню точки земної поверхні початку її осідання. Такими параметрами є граничні кути і відстань від проєкції очисного вибою до розглянутої точки. Що стосується аналізованої схеми, проаналізували три відомі залежності для опису кривої осідання земної поверхні: експоненціальне рівняння, функцію гіперболічного тангенса і логістичну криву. Згідно похідним цих залежностей визначені характерні ділянки осідання земної поверхні. Рівняння похідних функцій, що розглядаються, характеризують динаміку осідання земної поверхні - швидкість осідання, прискорення і зміна прискорення. На підставі екстремумів похідних визначені рівняння

координат характерних точок кривої динаміки осідання земної поверхні, в тому числі і координати точки початку осідання земної поверхні. Для кожного об'єкта спостережень визначено, методом найменших квадратів, емпіричні коефіцієнти, що входять в вихідні рівняння. Використовуючи їх чисельні значення і залежності для визначення координат характерних точок, знайшли межу стадії осідання земної поверхні при веденні очисних робіт на десяти об'єктах. Отримані результати згідно даним залежностям були практично однаковими. Кінцеві осідання земної поверхні, визначені за допомогою даних функцій, в більшості випадків, відрізнялися між собою на величину не більше одного відсотка. Тільки в одному випадку максимальна різниця склала 3,1%. Це дало можливість застосування будь-якої з розглянутих функцій для визначення ординат характерних точок. Аналогічним чином встановлена можливість застосування аналізованих функцій для визначення абсцис характерних точок осідання земної поверхні. На їх підставі встановлено, що головним впливаючим чинником, що визначає межу динамічної напівмульди, є глибина ведення гірничих робіт, а граничні кути практично не залежать від цього параметра.

**Ключові слова:** земна поверхня, точка, початок осідання, динамічна напівмульда, межа, очисний вибій, посування, глибина, граничні кути.

**Annotation.** The article presents the results of studies on establishing factors that determine boundary of dynamic semi-mold on the earth's surface in front of the projection of the advancing face. Results of this work contribute to the successful solving of engineering problems on the rock pressure manifestation on the roadway supports, determining possible water and gas inflows from the undermined coal-bearing stratum and environmental consequences for the earth's surface. Theoretical part of the research methodology is developed according to the scheme of subsidence of the earth's surface points relative to the projection of the face. The curve of the trajectory of the earth's surface subsidence is divided by characteristic points at different stages of subsidence of the earth's surface. Such stages include: beginning of the earth's surface displacement, active stage of displacement, end of the active stage and attenuation of the processes of the earth's surface subsidence. According to the formulated objective and the design scheme, and on the basis of experimental data, the authors determined parameters corresponding to the location of a point on the earth's surface where it began to subside. These parameters include the boundary angles and distance from the projection of the face to the point under consideration. In relation to the scheme under consideration, three well-known dependencies were analyzed for describing the curve of the earth's surface subsidence: exponential equation, hyperbolic tangent function, and logistic curve. By the derivatives of these dependencies, characteristic subsidence areas of the earth's surface were determined. The equations of the derivatives of the considered functions characterize dynamics of the earth's surface subsidence - the subsidence rate, acceleration and its change. Based on the extrema of the derivatives, the equations of coordinates of characteristic points of the curve of the dynamics of earth's surface subsidence are determined, including coordinates of the point of origin of of the earth's surface subsidence. For each object of observation, the empirical coefficients included in the initial equations are determined by the least squares method. By using their numerical values and dependencies for determining coordinates of characteristic points, the authors found boundaries of the stage of the earth's surface subsidence during winning operations at ten sites. The results obtained were almost the same according to the considered dependences. The final subsidence of the earth's surface determined with the help of the functions under consideration, in most cases, differed from each other by a value of not more than one percent. Only in one case, the maximum difference was 3.1%. This made it possible to use any of the considered functions for determining the ordinates of characteristic points. In a similar way, the possibility of using the analyzed functions for determining abscissas of the characteristic points of the earth's surface subsidence was established. On their basis, it is established that the main influencing factor determining the boundary of the dynamic semi-mold is the depth of mining operations, and the boundary angles are practically independent on this parameter.

**Keyword:** earth surface, point, beginning of subsidence, dynamic semi-trough, boundary, face, movement, depth, boundary angles.

*Стаття надійшла до редакції 1.12. 2018*

*Рекомендовано до друку д-ром техн. наук В.Г. Шевченком*