

УДК 622.1:622.834

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ГРАНИЧНЫХ УГЛОВ ОТ МОЩНОСТИ НАНОСОВ И ГЛУБИНЫ РАЗРАБОТКИ

**Назаренко В. А., Балафин И. Е.**  
(ГВУЗ "Национальный горный университет",  
г. Днепрпетровск, Украина)

*Виконано дослідження граничних кутів для умов шахт Західного Донбасу. Показано, що нормативні кутові параметри, які використовуються для прогнозу впливу гірничих розробок на земну поверхню, відрізняються від фактичних значень кутів, що визначені за даними натурних маркшейдерських спостережень на спостережних станціях. Встановлено залежності граничних кутів від глибини розробки і показано, що граничні кути мають унітарний характер.*

*Boundary angles for conditions of mines in Western Donets Coal basin are analyzed. It is shown that standard angular parameters, which are employed to predict the impact of mine workings on the ground surface, differ from the actual angular values determined by data of field mine surveying at observation stations. Dependence of boundary angles on mining depth is determined and it is shown that boundary angles have unitary nature.*

При разработке угольных пластов подземным способом происходят необратимые изменения в массиве горных пород и на земной поверхности. Вследствие этого на каждом горном предприятии возникают задачи, связанные с охраной различных объектов от вредного влияния подземных очистных работ. Успешное решение этих вопросов в значительной мере зависит от надежности исходных угловых параметров, применяемых при инженерных расчетах.

Величины граничных углов и углов полных сдвижений определяют размеры полумульды, а, следовательно, величины и распределение расчетных деформаций в мульде. По углам сдвижения, определяющим границу зоны опасных деформаций, строятся предохранительные целики под сооружениями на земной поверхности. Названные угловые параметры широко используются в качестве исходных во многих методиках, применяемых для оценки геомеханического состояния горных пород и горных выработок на угольных месторождениях.

Угловым параметрам сдвижения земной поверхности над очистными выработками посвящены работы многих ученых. Их исследования выполнялись в различных горно-геологических условиях и с использованием разных методов и способов [1-5]. В результате на сегодняшний день не сложилось общепринятого мнения о величинах граничных углов и методике их определения. В связи с этим в основу наших исследований положены нормативные требования [6] об определении граничных углов по критическим значениям наклона  $i = 0,5 \cdot 10^{-3}$  и растяжения поверхности  $\varepsilon = 0,5 \cdot 10^{-3}$ .

Месторождение угля в Западном Донбассе имеет отличительную особенность, заключающуюся в наличии мощных (50-250 м) обводненных наносов, залегающих над угленосной толщей пород карбона. Принято считать, что физико-механические свойства этих пород значительно отличаются. В связи с эти угловые параметры в подрабатываемой толще горных пород разделяются на углы в наносах и карбоне. Эти углы не зависят от глубины ведения горных работ и имеют фиксированные значения. Для условий Западного Донбасса граничные углы в наносах и коренных породах соответственно равны:  $\varphi_0 = 45^\circ$ ,  $\delta_0 = 65^\circ$  [7].

На шахтах Западного Донбасса кафедрой маркшейдерии Национального горного университета выполнен большой объем натуральных маркшейдерских наблюдений за сдвижением земной поверхности. По результатам инструментальных измерений на профильных линиях наблюдательных станций, заложенных над очистными выработками, с использованием указанных выше критериев определены границы зон влияния горных работ на поверхности. В соответствии со схемой, изображенной на рис. 1, на

каждой профильной линии графически определены значения граничных углов  $\omega_{0i}$  и  $\omega_{0\varepsilon}$ . Информация по профильным линиям и значения граничных углов, необходимые для дальнейших исследований, приведены в таблицах 1-3.



Рис. 1. Схема граничных углов на разрезе по профильной линии

Таблица 1

Исходные данные для анализа угловых параметров  
над выемочными штреками

Наименование параметра	Значение параметра												
Наблюдательная станция	12	10	5	11	7	6	4	14	9	29	29	24	25
Профильная линия	3	2	5	2	1	1	1	2	2	1	1	2	1
Глубина горных работ $H$ на гр. очистной выработки, м	105	154	167	173	192	227	230	230	240	250	290	320	400
Мощность наносов $h$ , м	50	71	100	76	85	85	85	85	85	80	80	130	170
Отношение $h/H$	0,48	0,46	0,60	0,44	0,44	0,37	0,37	0,37	0,35	0,32	0,28	0,41	0,43
Отношение $h/(H-h)$	0,90	0,85	1,49	0,78	0,79	0,59	0,58	0,58	0,54	0,47	0,38	0,68	0,74
Экспериментально установленные граничные углы													
$\omega_{0i}$ по критерию $i = 0,5 \cdot 10^{-3}$	54	55	53	57	62	64	64	63	67	69	68	72	74
$\omega_{0\varepsilon}$ по критерию $\varepsilon = 0,5 \cdot 10^{-3}$	51	52	52	53	56	57	55	58	58	59	61	60	62

Таблица 2

Исходные данные для анализа угловых параметров  
 над разрезной печью

Наименование параметра	Значение параметра												
	Наблюдательная станция	12	13	10	11	8	27	14	4	4	9	24	22
Профильная линия	1	1	1	1	1	1	3	2	2	1	1	1	1
Глубина горных работ $H$ на гр. очистной выработки, м	115	125	160	161	200	202	220	230	230	260	290	475	540
Мощность наносов $h$ , м	50	50	65	70	75	90	85	85	85	85	100	170	180
Отношение $h/H$	0,43	0,40	0,41	0,43	0,38	0,45	0,34	0,37	0,37	0,33	0,34	0,36	0,33
Отношение $h/(H-h)$	0,77	0,67	0,68	0,77	0,6	0,8	0,63	0,59	0,59	0,49	0,53	0,56	0,5
Экспериментально установленные граничные углы													
$\omega_{0i}$ по критерию $i = 0,5 \cdot 10^{-3}$	49	51	52	55	58	60	60	61	62	61	63	67	69
$\omega_{0\varepsilon}$ по критерию $\varepsilon = 0,5 \cdot 10^{-3}$	45	49	50	52	52	53	54	54	52	53	59	64	63

Таблица 3

Исходные данные для анализа угловых параметров  
 над линией остановки очистного забоя

Наименование параметра	Значение параметра				
	Наблюдательная станция	3	5	9	16
Профильная линия	9	1	1	1	1
Глубина горных работ $H$ на границе очистной выработки, м	103	167	170	180	205
Мощность наносов $h$ , м	64	100	80	112	85
Отношение $h/H$	0,62	0,60	0,47	0,62	0,41
Отношение $h/(H-h)$	1,641	1,493	0,889	1,647	0,708
Экспериментально установленные граничные углы					
$\omega_{0i}$ – по критерию $i = 0,5 \cdot 10^{-3}$	50	57	60	64	68
$\omega_{0\varepsilon}$ – по критерию $\varepsilon = 0,5 \cdot 10^{-3}$	48	55	60	63	67

На первом этапе исследования граничных углов мы выполнили анализ зависимости граничных углов от мощности наносов и приняли, что граничные углы принимают фиксированные отдельные значения в породах наносов и коренных породах и предположили, что граничный угол в наносах  $\varphi_0$  известен и равен  $45^\circ$ , как это нормируется Правилами подработки [7]. По значениям глубины разработки и мощности наносов для условий каждой

наблюдательной станции графически на разрезах были определены углы  $\delta_{0i}$ ,  $\delta_{0\varepsilon}$ , соответствующие углам  $\omega_{0i}$  и  $\omega_{0\varepsilon}$ ,

В результате установлено, что величины граничных углов в карбоне не являются постоянными и изменяются в широких пределах. Значения углов  $\delta_{0i}$  принимают значения в диапазоне 58-83°;  $\delta_{0\varepsilon}$  – 55-85°. Следует отметить, что практически во всех случаях граничные углы, определяемые по критерию наклона больше углов, соответствующих критерию горизонтальных деформаций, в среднем их разность составляет 6°,

Таким образом, положение Правил [7] о постоянстве граничных углов не подтверждается,

Учитывая полученные результаты, выполнены исследования общих, экспериментально установленных граничных углов для ответа на вопрос о зависимости положения границы зоны влияния от мощности пород наносов. Для подрабатываемой толщи, состоящей из наносов и карбона, общий для всей толщи граничный угол  $\omega_0^p$  в соответствии со схемой, приведенной на рис. 1, рассчитывается по формуле

$$\operatorname{ctg} \omega_0^p = \frac{h}{H} \operatorname{ctg} \varphi_0 + \frac{H-h}{H} \operatorname{ctg} \delta_0 = \frac{h}{H} (\operatorname{ctg} \varphi_0 - \operatorname{ctg} \delta_0) + \operatorname{ctg} \delta_0, \quad (1)$$

где  $h$  – мощность наносов;

$H$  – глубина разработки на границе очистной выработки;

$\omega_0^p$  – расчетный общий граничный угол,

Очевидно, что с увеличением мощности наносов должно происходить выполаживание общего граничного угла,

На рис. 2 показано распределение  $\omega_0$  от  $h/(H-h)$ , построенное по данным таблиц 1-3, Здесь же показано теоретическое распределение углов  $\omega_0^p$ , рассчитанных по формуле (1).

Анализ графиков рис. 2 указывает на отсутствие явной зависимости между величинами углов  $\omega_0$  и соотношением  $h/(H-h)$ , Полученный результат дает основание предположить, что общие граничные углы  $\omega_{0\varepsilon}$  в большей степени зависят от глубины, чем от мощности наносов, т.е. являются функцией от глубины разработки.

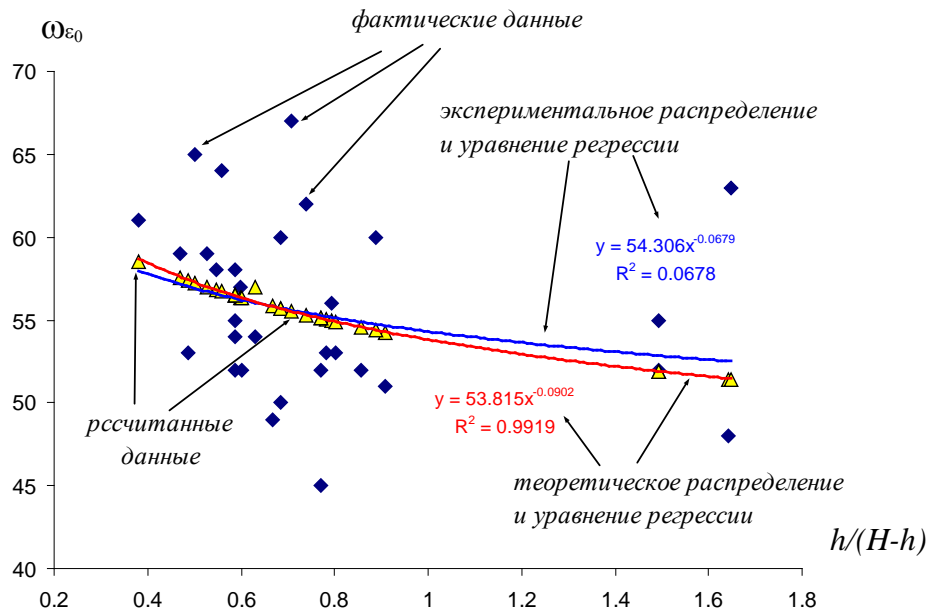


Рис. 2. Распределение установленных экспериментально углов  $\omega_{0\varepsilon}$  и рассчитанных углов  $\omega_0^p$  в зависимости от соотношения  $h/(H-h)$

Нами выполнен анализ зависимости общих граничных углов  $\omega_0$ , определенных по критериям наклонов и горизонтальных деформаций от глубины разработки, Графики распределений этих углов и их зависимостей от  $H$  представлены на рис. 3.

Полученные зависимости характеризуется следующими коэффициентами корреляции: по критерию наклонов – 0,88; по критерию горизонтальных деформаций – 0,72; средние – 0,79, Максимальное отклонение значений углов от линии аппроксимации составило –  $7^\circ$ ,

Таким образом, можно с высокой степенью достоверности утверждать, что общие для всей подрабатываемой толщи граничные углы сдвижения земной поверхности в условиях Западного Донбасса практически не зависят от мощности наносов, а основным геологическим фактором, влияющим на величины углов, является глубина разработки угольных пластов,

Анализируемые угловые параметры были систематизированы в зависимости от расположения профильных линий реперов относительно границ очистной выработки: над выемочными штреками, над разрезной печью, над линией остановки очистного

забоя. В соответствии с этой классификацией построен график зависимости общих граничных углов  $\omega_{0i}$  в названных зонах от глубины  $H$  (рис. 4).

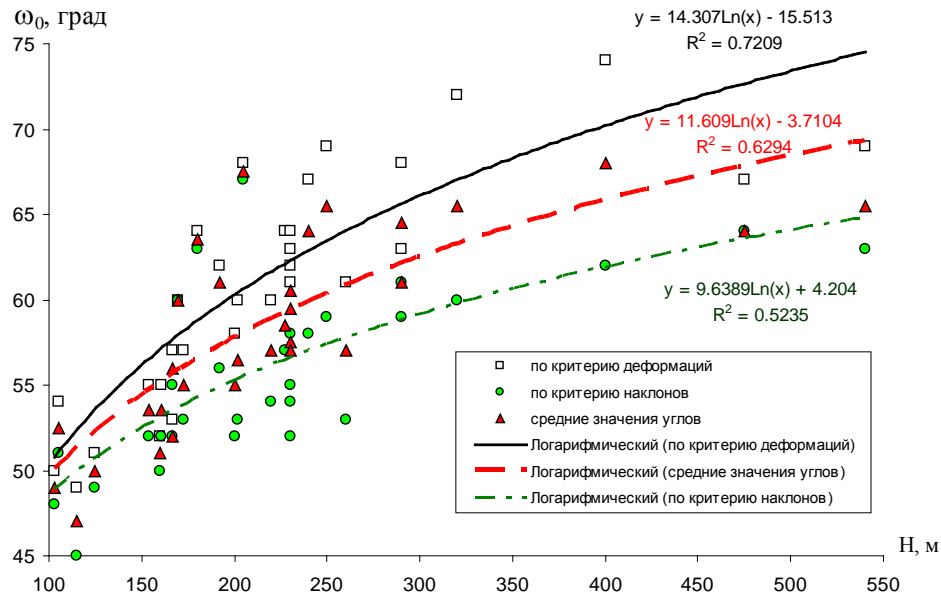


Рис. 3. Зависимость общих граничных углов  $\omega_0$ , определенных по критериям наклонов, горизонтальных деформаций и средних углов от глубины  $H$

Из приведенного графика видно, что в общей совокупности углов  $\omega_{0i}$  выделяются три отдельные зоны, соответствующие названным выше направлениям. Нами выполнен анализ углов в каждой из этих зон, Установлено, что зависимости общих граничных углов от глубины подработки имеют следующий вид

– над выемочными штреками:

$$\omega_{0i} = 18,50Ln(H) - 36,3;$$

$$\omega_{0\varepsilon} = 9,9Ln(H) + 3,22;$$

– над разрезной печью:

$$\omega_{0i} = 12,72Ln(H) - 9,68;$$

$$\omega_{0\varepsilon} = 11,29Ln(H) - 7,19;$$

– над линией остановки очистных работ:

$$\omega_{0i} = 24,53Ln(H) - 64,8;$$

$$\omega_{0\varepsilon} = 26,22\text{Ln}(H) - 74,6,$$

Оценка точности угловых параметров показала, что углы  $\omega^p_{0i}$ , рассчитанные по нормативному документу [7], имеют среднеквадратическую ошибку  $\pm 5,4^\circ$ . При использовании нормативных граничных углов в наносах и карбоне ошибка положения границы зоны влияния составила около 110 м или 20-25 % от глубины, Среднеквадратическая погрешность определения границ зоны влияния составляет  $\pm 42$  м.

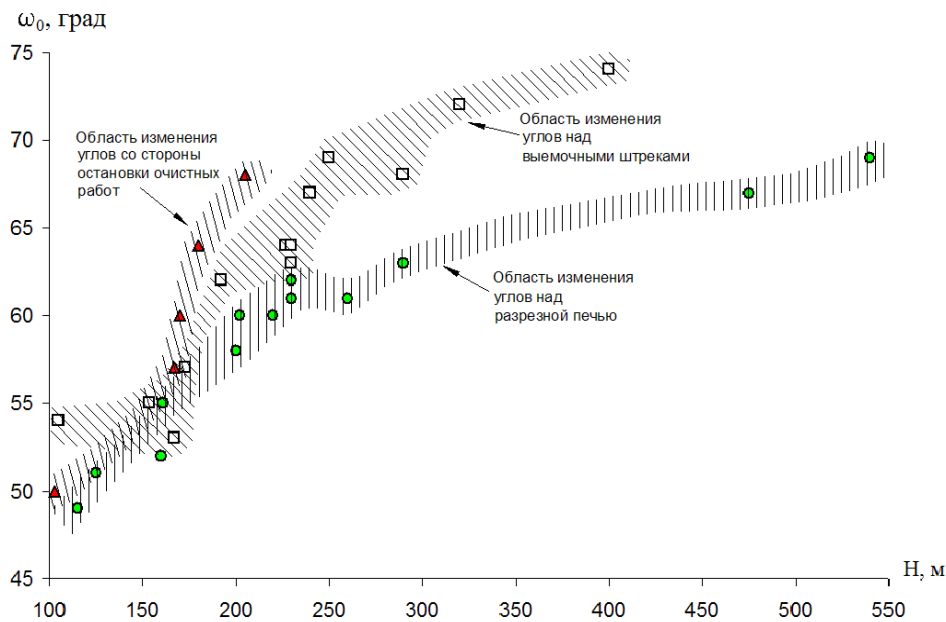


Рис. 4. Зависимость общих граничных углов  $\omega_{0i}$  над штреками, разрезной печью и линией остановки очистного забоя от глубины  $H$

При расчетах с использованием установленных нами зависимостей получена среднеквадратическая погрешность общих углов до  $\pm 2^\circ$ , а среднеквадратическое отклонение расчетных границ от фактических составило  $\pm 8$  м.

## Выводы

1. Применение фиксированных, дифференциально-унифицированных значений угловых параметров сдвижения горных пород и земной поверхности для определения границ мульды и расчетов ожидаемых сдвижений и деформаций приводит в усло-



виях Западного Донбасса приводит к значительным ошибкам прогноза влияния очистной выработки на земную поверхность и подрабатываемые объекты.

2. Позиционирование на земной поверхности критических деформаций, определяющих границы влияния очистной выработки пологого угольного пласта, не зависит от наличия наносов в подрабатываемой толще и определяется граничными углами, значения которых связаны логарифмической зависимостью с глубиной разработки.

3. Унитарный характер угловых параметров позволяет отказаться от дифференциально-унифицированного подхода к определению границ мульды сдвижения, заключающегося в применении фиксированных, отдельных для пород наносов и коренных пород углов, упрощает методику определения длин полумульд и повышает точность расчетов ожидаемых сдвижений и деформаций земной поверхности. Это позволит более обоснованно прогнозировать влияние очистных работ, осуществлять дифференцированный подход к выбору и назначению мер охраны подрабатываемых объектов. В отдельных случаях будет достигнута более эффективная отработка запасов угля вследствие сокращения потерь в предохранительных целиках,

## **СПИСОК ССЫЛОК**

1. Онищенко А.В. Расчет углов сдвижения в разных слоях горных пород по результатам наблюдений за сдвижением земной поверхности / Онищенко А.В. // Изв. вузов. Горный журнал. – 1968. – № 1. – С. 35 – 38.
2. Акимов А.Г. Определение размеров краевой части мульды сдвижения / Акимов А.Г. // Сдвижение горных пород / ВНИМИ – 1975. – Сб. 96. – С. 28 – 36.
3. Кулибаба С.Б. О границах мульды сдвижения // Сдвижение земной поверхности и устойчивость откосов. – Л.: ВНИМИ. – 1980. – С. 57 – 60.
4. Назаренко В.А. Графо-аналитический метод определения угловых параметров мульды сдвижения / Назаренко В.А., Мякенький В.И. // Разработка месторождений полезных иско-

- паемых / Сб. тр. – Киев: Техника. 1994. – вып. 91. – С. 23 – 26.
5. Кучин А.С., Пиньковский Г.С. Анализ угловых параметров процесса сдвижений в зоне отхода лавы от разрезной печи / Кучин А.С., Пиньковский Г.С. // Науковий вісник НГА України. – № 7. – 2003. – С. 33 – 36.
  6. Инструкция по наблюдениям за сдвижением земной поверхности и подрабатываемыми сооружениями на угольных и сланцевых месторождениях: Мин-во угольн. пром-ти СССР.– М.: Недра. 1989. – 96 с.
  7. Правила подработки зданий, сооружений и природных объектов при добыче угля подземным способом / Отраслевой стандарт. – К.: Мінпаливенерго України. 2004. – 127 с.
  8. Балафин И.Е. Анализ угловых параметров сдвижения земной поверхности на шахтах Западного Донбасса / И.Е. Балафин // Науковий вісник НГУ. – 2010. – № 5. – С. 18 – 20.