

УДК 622.834(043)

## ОСОБЕННОСТИ МУЛЬДЫ СДВИЖЕНИЯ И ЗОН ДЕФОРМАЦИЙ В НЕЙ ПРИ ОТРАБОТКЕ НАКЛОННЫХ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ

**Грищенко Н. Н.**

(ГВУЗ "ДонНТУ", Украина)

**Шнеер В. Р., Блинникова Е. В.**

(УкрНИМИ НАН Украины)

*На основі аналізу існуючої методики уточнений алгоритм розрахунку деформацій земної поверхні. Запропонована нова геометрія побудови мульті зрушення, яка враховує кут падіння пласта при визначенні розміру напівмульті по простяганню. Запропонована нова класифікація зон деформування земної поверхні в мульті зрушення.*

*On the base of ruling technique there is specified algorithm for calculation of earth surface deformation. There is proposed the new geometry for construction of subsidence through. This geometry takes into account the angle of seam dip for determination of size of half subsidence through on strike. There is proposed the new classification for straining zones of earth surface in subsidence through.*

Подземная разработка угольных месторождений приводит к сдвигениям и деформациям земной поверхности и соответственно – к повреждениям зданий, сооружений, объектов инфраструктуры, которые попадают в зону подработки. Поэтому выемка запасов угля под такими объектами осуществляется на основе проектов их подработки горными работами. Основным элементом этих проектов является прогноз оседаний и деформаций земной поверхности, вызванных влиянием горных работ, и оценка степени их воздействия на охраняемые объекты. Результаты такой

оценки служат основой для принятия горных и конструктивных мер защиты объектов либо оставления под ними предохранительных целиков.

Существующая методика прогноза сдвижений и деформаций земной поверхности, основанная на методе типовых единичных кривых оседаний, действует в нашей стране и за рубежом уже около тридцати лет и является достаточно эффективным инструментом прогноза. Она вошла в ряд нормативных документов, являющихся отраслевыми стандартами [1, 2, 3] и регламентирующих подработку объектов на земной поверхности. Указанная методика постоянно развивается и совершенствуется в ведущих научных центрах горной науки, в частности в институте УкрНИМИ НАН Украины, ДонНТУ, НГУ и др.

В данной работе рассмотрен один из аспектов совершенствования методики прогноза сдвижений и деформаций, связанный с геометрией построения мульды сдвижения и зон деформаций в ней при отработке наклонных пластов.

В настоящее время принятая методика рекомендует определять размер полумульды по простиранию при неполной и полной подработке соответственно по формулам:

$$L_3 = \frac{D_2}{2} + (H - h - h_m) \cdot \operatorname{ctg} \delta_0 + h_m \cdot \operatorname{ctg} \delta_{0m} + h \cdot \operatorname{ctg} \varphi_0, \quad (1)$$

$$L_3 = (H - h - h_m) \cdot \operatorname{ctg} \delta_0 + h_m \cdot \operatorname{ctg} \delta_{0m} + h \cdot \operatorname{ctg} \varphi_0 + H \cdot \operatorname{ctg} \psi_3, \quad (2)$$

где  $H$  – средняя глубина разработки, м;

$D_2$  – длина очистной выработки по простиранию, м;

$h$  – мощность наносов, м;

$h_m$  – мощность мезозойских отложений, м;

$\delta_0, \delta_{0m}, \varphi_0$  – граничные углы по простиранию соответственно в коренных породах, мезозойских отложениях и наносах, градус;

$\psi_3$  – угол полных сдвижений по простиранию, градус.

При мощности наносов и мезозойских отложений менее 10 м значениями  $h$  и  $h_m$  методика рекомендует пренебречь, т.е. принять их равными нулю.

В приведенных формулах фигурирует средняя глубина разработки  $H$ , отнесенная к центру очистной выработки. Отсюда

следует, что ордината точки в мульде сдвижения никак не влияет на размер полумульды по простиранию  $L_3$ , который останется одинаковым для всех точек. Конфигурация мульды сдвижения в этом случае представляет прямоугольник с закругленными краями.

Совершенно очевидно, что данные формулы являются справедливыми только для горизонтального залегания пласта, когда глубина разработки одинакова для всех точек очистной выработки. Однако, при наклонном залегании пласта глубина разработки в каждой точке, т.е. вертикальное расстояние от точки до пласта, зависит от ординаты этой точки в системе координат очистной выработки (лавы). В этой системе начало координат совпадает с центром лавы, оси  $X$  и  $Y$  лежат в горизонтальной плоскости, при этом ось  $X$  совпадает с линией простирания, а ось  $Y$  направлена в сторону восстания.

Значение глубины разработки  $H_i$  в  $i$ -й точке вычисляется из формулы:

$$H_i = y_i \cdot \operatorname{tg} \alpha, \quad (3)$$

где  $y_i$  – ордината  $i$ -й точки;

$\alpha$  – угол падения пласта.

Использование в выражениях (1)-(2) величины  $H_i$  вместо значения  $H$  существенно уточняет геометрию построения мульды сдвижения при наклонном залегании пласта. Глубина от поверхности до любой точки, расположенной выше центра лавы по восстанию, будет меньше средней глубины разработки, а соответственно и размер полумульды по простиранию будет меньше, вычисленного по формулам (1) – (2). Соответственно, глубина от поверхности до любой точки, расположенной ниже центра лавы по падению, будет больше средней глубины разработки, а соответственно и размер полумульды по простиранию будет больше, вычисленного по формулам (1) – (2). Отсюда следует, что при наклонном залегании пласта мульда сдвижения будет иметь форму трапеции с расширенным основанием со стороны падения пласта и с зауженным основанием – со стороны восстания.

Рассмотрим динамику изменения размеров полумульд по падению, восстанию и простиранию с увеличением угла падения

пласта на конкретном прикладі: довжина лави вквост простирання  $D_1 = 300$  м; довжина лави по простиранию  $D_2 = 1200$  м; середня глибина розробки  $H = 600$  м. Результати розрахунків розмірів полумульд приведени в табл. 1 і 2.

Таблиця 1  
 Розміри полумульд при різних кутах падіння пласта

Розміри полумульд, м	Кут падіння, градусів						
	0	10	20	30	40	50	60
по падінню $L_1$	372	398	442	512	626	821	1198
по востанню $L_2$	372	444	516	592	676	780	916

Из табл. 1 видно, что с увеличением угла падения пласта происходит увеличение размера полумульды по падению  $L_1$  и по востанню  $L_2$ . Однако динамика роста размеров этих полумульд несколько различная, что хорошо видно из рис. 1.

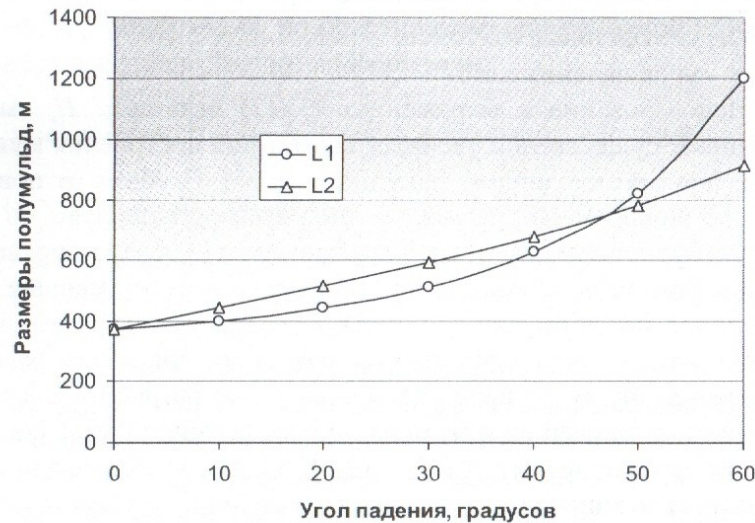


Рис. 1. Динамика изменения размеров полумульд по падению и востанню при увеличении угла падения пласта

Таблиця 2  
 Розмір полумульди по простиранию при різних кутах падіння пласта

Розмір полумульди, м	Кут падіння, градусів						
	0	10	20	30	40	50	60
в центрі лави $L_3$	642	642	642	642	642	642	642
у верху лави $L_{3в}$	642	614	587	562	539	520	504
у низу лави $L_{3н}$	642	670	696	722	744	764	780

На рис. 2 приведена динамика изменения размеров полумульды по простиранию с увеличением угла падения пласта.

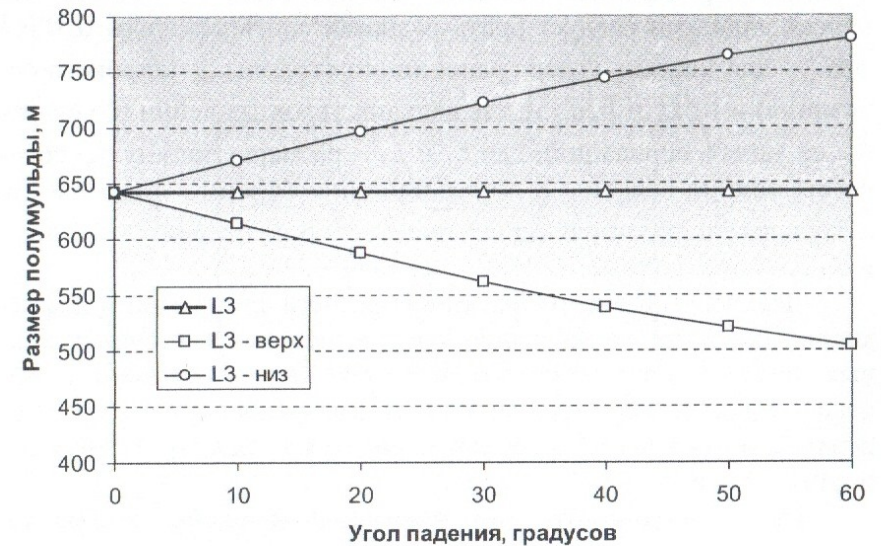


Рис. 2. Динамика изменения размеров полумульды по простиранию при увеличении угла падения пласта

Результаты расчетов показывают, что расхождения размеров полумульды по простиранию, вычисленные для разной глубины разработки, обусловленной углом падения пласта, могут достигать значительных величин. В приведенном примере эти расхож-

дения достигают почти 280 м и отличаются от размера полумульды, вычисленного по принятому в «Правилах подработки...» [3] алгоритму, более чем на 20 %.

Согласно принятой методике размер полумульды по простиранию используется при вычислении наклонов, кривизны и горизонтальных деформаций. Поэтому расчет размера полумульды  $L_3$  по формулам (1)-(2) следует вести для каждой конкретной  $i$ -й расчетной точки, заменив величину средней глубины разработки  $H$  в центре лавы на величину глубины разработки  $H_i$ , вычисляемую по формуле (3).

При практическом построении мульды сдвижения на планах поверхности ее края рекомендуется закруглять эллиптическими кривыми. Проведенные исследования показали, что размеры полуосей эллипсов следует брать равными соответственно  $0,5L_3^h$  и  $0,5L_1$  – для нижних углов трапеции (со стороны ее широкого основания) и  $0,5L_3^b$  и  $0,5L_2$  – для верхних углов трапеции (со стороны ее узкого основания), где  $L_1$  и  $L_2$  – размеры полумульд соответственно по падению и по восстанию, а  $L_3^b$  и  $L_3^h$  – размеры полумульды по простиранию соответственно со стороны восстания и со стороны падения.

Дальнейший анализ алгоритма расчета сдвижений и деформаций, основанного на использовании типовых единичных кривых оседаний, показывает, что в мульде сдвижения имеются участки (зоны) с различным характером деформирования земной поверхности. Каждая из этих зон относится к одному из трех основных типов:

I тип – зона, в которой наблюдается сдвижение земной поверхности, как в направлении простирания пластов, так и вкрест их простирания;

II тип – зона, в которой наблюдается сдвижение земной поверхности только в одном направлении (по простиранию пластов либо вкрест их простирания);

III тип – зона, в которой отсутствуют деформации (плоское дно мульды сдвижения).

Зоны I типа присутствуют в мульде сдвижения во всех случаях подработки (как полной, так и неполной). Это угловые уча-

стки мульды сдвижения, охватывающие площади от ее краев до точек максимального оседания.

Зоны II и III типа появляются только в случаях полной подработки. При этом зоны II типа образуются, когда полная подработка имеет место только в каком-то одном направлении (по простиранию пластов либо вкрест их простирания), а зона III типа образуется только при полной подработке, как по простиранию, так и вкрест простирания пластов.

Анализ топологии расположения очистных выработок и результатов практических расчетов деформаций позволил определить шесть наиболее вероятных вариантов расположения зон деформаций различных типов. На рис. 3 показана форма мульды сдвижения при полной подработке, как по простиранию, так и вкрест простирания пласта.

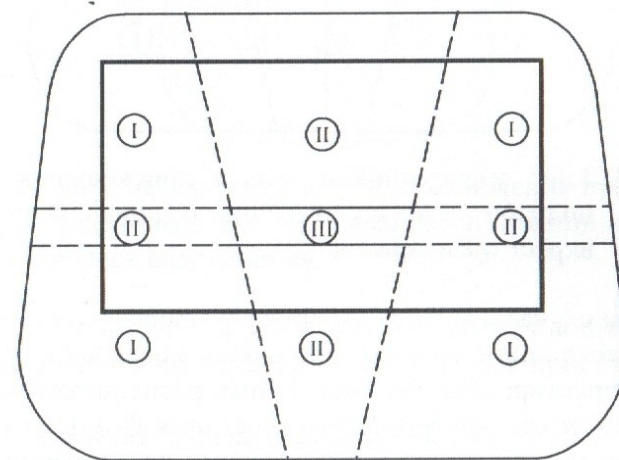


Рис. 3. Зоны деформаций в мульде сдвижения при полной подработке по простиранию и вкрест простирания

В зонах II типа, расположенных выше и ниже плоского дна будут наблюдаться деформации только в направлении вкрест простирания пластов, т.е. только по оси  $Y$ . А в зонах II типа, расположенных леве и правее плоского дна будут наблюдаться деформации только в направлении простирания пластов, т.е. толь-

ко по осі  $X$ . Плоске дно мульди сдвигнення буде мати трапецидальну форму, що також обумовлено розрахунком довжини полумульди  $L_3$  з урахуванням глибини розробки в кожній розрахунковій точці.

На рис. 4 показана форма мульди сдвигнення при повній подроботці по простиранию пласта і при неповній подроботці вкрест простиранию.

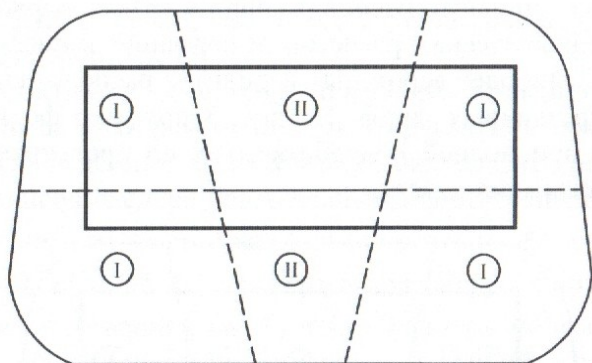


Рис. 4. Зони деформацій в мульдї сдвигнення при повній подроботці по простиранию і неповній подроботці вкрест простиранию

В цьому випадку в мульдї відсутнє плоске дно. Замість нього має місце лінія точок максимального осідання, орієнтована по простиранию. В зонах II типу, розташованих вище і нижче лінії точок максимального осідання будуть спостерігатися деформації тільки в напрямленні вкрест простиранию пластів, т.е. тільки по осі  $Y$ . Зони II типу, в яких би спостерігалися деформації тільки в напрямленні простиранию пластів, в цьому випадку відсутні.

На рис. 5 показана форма мульди сдвигнення при неповній подроботці по простиранию пласта і при повній подроботці вкрест простиранию.

В цьому випадку в мульдї також відсутнє плоске дно. Замість нього має місце лінія точок максимального осідання, орієнтована вкрест простиранию. В зонах II типу, розпо-

жених лівее і правее лінії точок максимального осідання будуть спостерігатися деформації тільки в напрямленні простиранию пластів, т.е. тільки по осі  $X$ . Зони II типу, в яких би спостерігалися деформації тільки в напрямленні вкрест простиранию пластів, в цьому випадку відсутні.

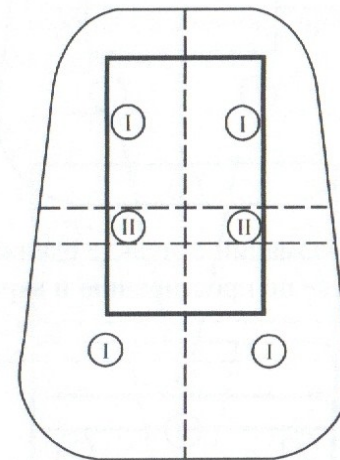


Рис. 5. Зони деформацій в мульдї сдвигнення при неповній подроботці по простиранию і повній подроботці вкрест простиранию

На рис. 6 показана форма мульди сдвигнення при неповній подроботці, як по простиранию, так і вкрест простиранию пласта.

В цьому випадку мульда сдвигнення має тільки одну точку максимального осідання, а зони II типу відсутні.

На рис. 7 показана форма мульди сдвигнення при неповній подроботці вкрест простиранию пласта, при повній подроботці по простиранию со сторони восстанія і при неповній подроботці по простиранию со сторони паденія.

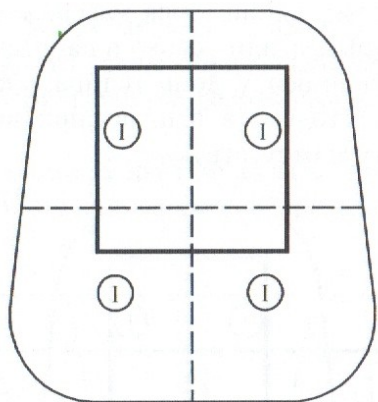


Рис. 6. Зони деформаций в мульдe сдвигения при неполной подработке по простиранию и вкрест простирания

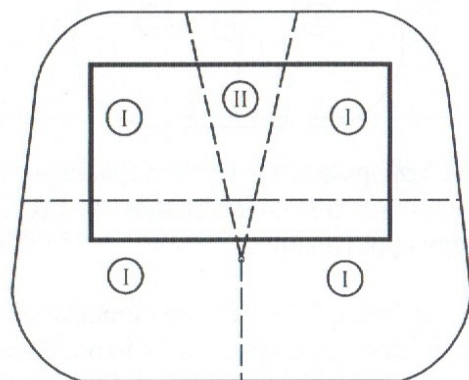


Рис. 7. Зоны деформаций в мульдe сдвигения при неполной подработке вкрест простирания; при полной подработке по простиранию со стороны восстания и при неполной подработке по простиранию со стороны падения

В этом случае плоское дно в мульдe сдвигения отсутствует. Вместо него имеет место линия точек максимального оседания, ориентированная по простиранию. Имеется только одна зона II типа, расположенная выше линии точек максимального оседания, в которой будут наблюдаться деформации только в направлении

вкрест простирания пластов, т.е. только по оси  $Y$ . Зоны II типа, в которых бы наблюдались деформации только в направлении по простиранию пластов, т.е. только по оси  $X$ , в этом случае отсутствуют.

На рис. 8 показана форма мульдe сдвигения при полной подработке вкрест простирания пласта, при полной подработке по простиранию со стороны восстания и при неполной подработке по простиранию со стороны падения.

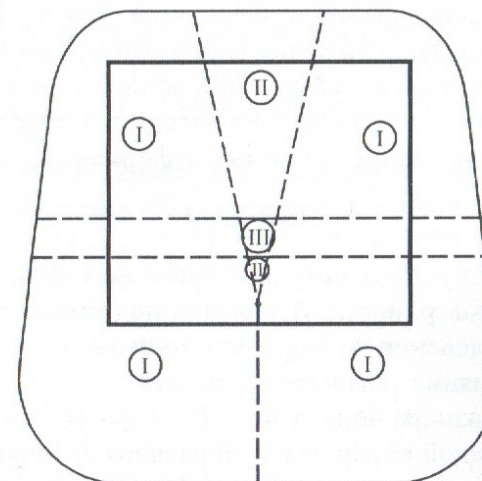


Рис. 8. Зоны деформаций в мульдe сдвигения при полной подработке вкрест простирания; при полной подработке по простиранию со стороны восстания и при неполной подработке по простиранию со стороны падения

В этом случае будут иметь место две зоны II типа, располагающиеся выше и ниже плоского дна мульдe, в которых будут наблюдаться деформации только в направлении вкрест простирания пластов, т.е. только по оси  $Y$ . Плоское дно также будет иметь трапециевидальную форму, стремящуюся к треугольной с ростом длины очистной выработки вкрест простирания.

Подробное рассмотрение расположения зон деформаций в мульдe сдвигения необходимо из практических соображений

расчета таких деформаций как наклоны, скручивание, горизонтальные сдвигения, горизонтальные деформации, скашивание. В формулы вычисления всех этих деформаций входят функции  $S'(z)$  типовых кривых, а знаки значений функций  $S'(z)$  определяются в принятой методике относительно расположения расчетной точки в той или иной зоне деформаций. Увеличение числа возможных конфигураций зон деформаций в мульде сдвижения вследствие различных вариантов полной/неполной подработки по простиранию и вкрест простирания существенно уточняет геометрическую модель мульды сдвижения и основанную на ней математическую модель прогноза деформаций земной поверхности, но соответственно требует и изменения алгоритма определения функций  $S'(z)$  при вычислении указанных деформаций.

### ВЫВОДЫ

1. В существующей методике прогноза сдвижений и деформаций земной поверхности от влияния подземных горных разработок при определении размера полумульды по простиранию не учитывается влияние угла падения пласта.

2. Расчет размера полумульды  $L_3$  по формулам (1)-(2) следует вести для каждой конкретной  $i$ -й расчетной точки, заменив величину средней глубины разработки  $H$  в центре лавы на величину глубины разработки  $H_i$ , вычисляемую по формуле (3).

3. При практическом построении мульды сдвижения на планах поверхности ее края рекомендуется закруглять эллиптическими кривыми с размерами полуосей эллипсов, равными соответственно  $0,5L_3^H$  и  $0,5L_1$  – для нижних углов трапеции (со стороны ее широкого основания) и  $0,5L_3^B$  и  $0,5L_2$  – для верхних углов трапеции (со стороны ее узкого основания).

4. Предложена новая классификация зон деформирования земной поверхности, включающая три типа основных зон. Определены шесть возможных вариантов расположения этих зон при различных комбинациях полной/неполной подработки по простиранию и вкрест простирания.

5. Приведенные конфигурации расположения зон деформаций в мульде сдвижения необходимо учитывать при определении

знаков функций  $S'(z)$  типовых кривых согласно п. А.2.6.3 «Правил подработки...» [3].

### СПИСОК ССЫЛОК

1. Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок на угольных месторождениях: Утв. Минуглепром СССР 29.12.79. – М.: Недра, 1981. – 288 с.
2. Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок на угольных месторождениях: Утв. Госгортехнадзором РФ 16.06.98. – СПб., 1998. – 290 с.
3. ГСТУ 101.00159226.001-2003. Правила підробки будівель, споруд і природних об'єктів при видобуванні вугілля підземним способом: Введ. 01.01.2004. – Київ, 2004. – 128 с.