

УДК 622.834(043)

Геометрия построения мульды сдвижения над очистной выработкой прямоугольной формы

Грищенко Н. Н.^{1,*}, Шнеер В. Р.², Блинникова Е. В.²

¹ ГВУЗ «ДонНТУ», Донецк, Украина
² УкрНИМИ НАН Украины, Донецк, Украина

Поступила в редакцию 11.02.10, принята к печати 21.02.10.

Аннотация

На основе анализа существующей методики уточнен алгоритм расчета деформаций земной поверхности. Предложена новая геометрия построения мульды сдвижения, учитывающая угол падения пласта при определении размера полумульды по простиранию. Предложена новая классификация зон деформирования земной поверхности в мульде сдвижения.

Ключевые слова: подработка, мульда сдвижения, деформации, земная поверхность.

В нашей стране балансовые запасы угля под городами и населенными пунктами составляют около 1 млрд. тонн, причем эти запасы относятся к наиболее разведанным и достоверным. Однако выемка этих запасов приводит к сдвигениям и деформациям земной поверхности и соответственно – к повреждениям зданий, сооружений, объектов инфраструктуры, которые попадают в зону подработки. Поэтому прогноз сдвижений и деформаций земной поверхности от влияния подземных горных разработок является исключительно важным фактором организации защиты объектов поверхности на подрабатываемых территориях.

Существующая методика прогноза сдвижений и деформаций земной поверхности основана на результатах многочисленных инструментальных измерений на десятках маркшейдерских наблюдательных станций в Донецком, Львовско-Волынском и ряде других угольных бассейнов. Данная методика базируется на методе типовых единичных кривых оседаний. Формулы для расчета сдвижений и деформаций земной поверхности были получены в результате обработки данных натурных инструментальных наблюдений рядом исследователей (С. Г. Авершиным, Д. А. Казаковским, А. Н. Медянцевым, С. П. Колбенковым, М. А. Иофисом и др.). Данная методика действует в нашей стране и за рубежом уже около тридцати лет и является достаточно эффективным инструментом прогноза сдвижений и деформаций земной поверхности. Она вошла в ряд нормативных документов, являющихся отраслевыми стандартами [1, 2, 3], и регламентирует подработку объектов на земной поверхности.

Вместе с тем существует один аспект построения мульды сдвижения, который требует уточнения геометрии её построения. Он касается зависимости размера полумульды по простиранию от угла падения пласта. В принятой методике схема определения размера полумульды по простиранию приведена на рис. 1. При неполной подработке длина полумульды по простиранию L_3 определяется по следующим формулам:

– при мощности наносов и мезозойских отложений не менее 10 м

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

– при мощности наносов и мезозойских отложений менее 10 м

* E-mail: ttgr@pop.dgtu.donetsk.ua

$$L_3 = \frac{D_2}{2} + H \cdot \operatorname{ctg} \delta_0. \quad (2)$$

При полной подработке длина полумульды по простиранию L_3 вычисляется по формулам:

– при мощности наносов и мезозойских отложений не менее 10 м

$$L_3 = (H - h - h_m) \cdot \operatorname{ctg} \delta_0 + h_m \cdot \operatorname{ctg} \delta_{0m} + h \cdot \operatorname{ctg} \varphi_0 + H \cdot \operatorname{ctg} \psi_3; \quad (3)$$

– при мощности наносов и мезозойских отложений менее 10 м

$$L_3 = H \cdot (\operatorname{ctg} \delta_0 + \operatorname{ctg} \psi_3). \quad (4)$$

В формулах (1) – (4) приняты следующие обозначения: 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; ψ_3 – угол полных сдвижений по простиранию, градус.

Анализ формул (1) – (4) показывает, что в них фигурирует средняя глубина разработки H , отнесенная к центру очистной выработки, и поэтому размер полумульды по простиранию L_3 вычисляется одинаковым для точек в мульде сдвижения, которые имеют разные ординаты. Характерным для такой точки зрения является конфигурация мульды сдвижения в виде прямоугольника с закругленными краями (рис. 2).

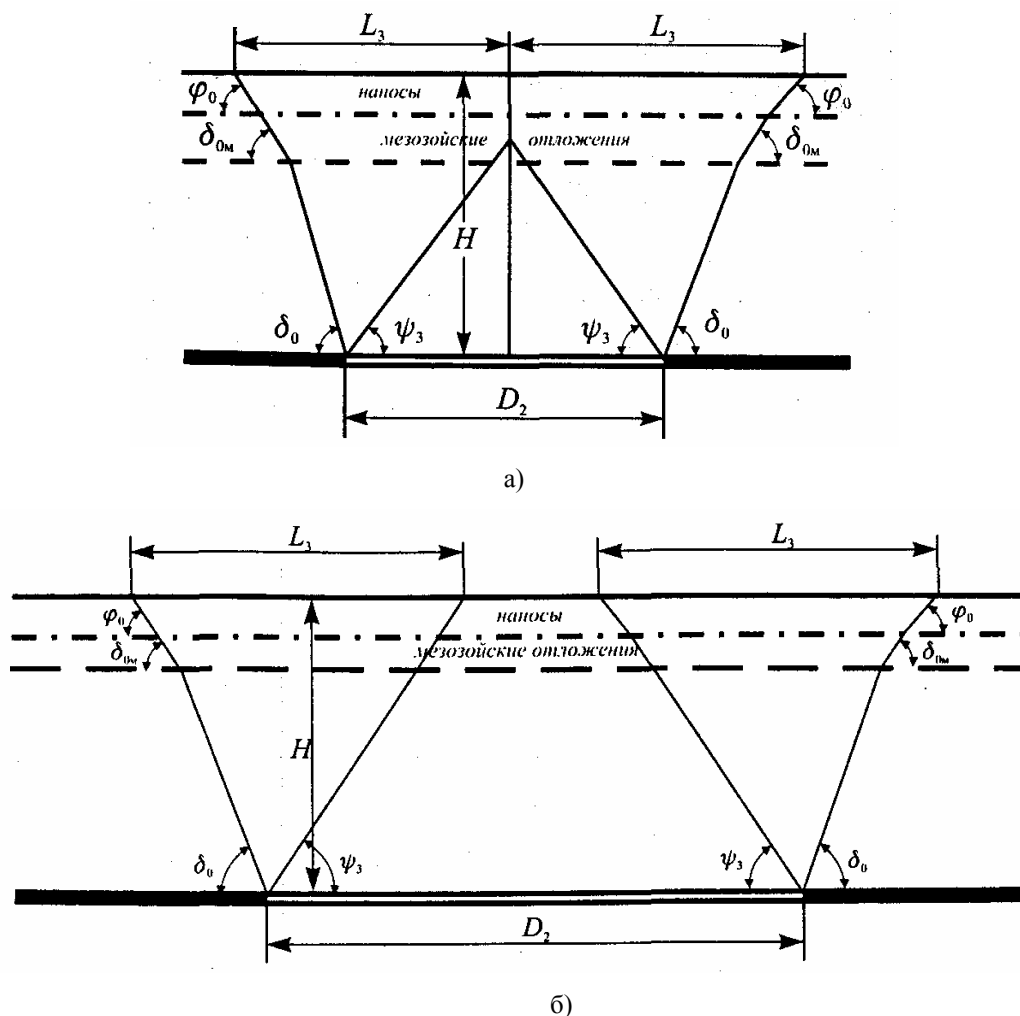


Рис. 1. Определение размеров полумульды по простиранию при неполной (а) и полной (б) подработке земной поверхности

Является очевидным, что данные формулы являются справедливыми только для горизонтального залегания пласта ($\alpha = 0^\circ$), когда глубина разработки одинакова для всех точек очистной выработки. Однако глубина разработки в каждой расчетной точке, т.е. вертикальное расстояние от точки до пласта, зависит от ординаты этой точки в системе координат очистной выработки (лавы). В этой системе так же, как и на рис. 2, центр системы 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 -ой расчетной точке вычисляется из формулы:

$$H_i = H + y_i \cdot \operatorname{tg} \alpha, \quad (5)$$

где y_i – ордината i -ой точки; α – угол падения пласта..

Использование в выражениях (1) – (4) величины H_i вместо значения H существенно уточняет геометрию построения мульды сдвижения. В этом случае при наклонном залегании пласта мульда сдвижения приобретает трапецидальную форму с широким основанием со стороны падения. На рис. 3 показано изменение мульды сдвижения с увеличением угла падения пласта.

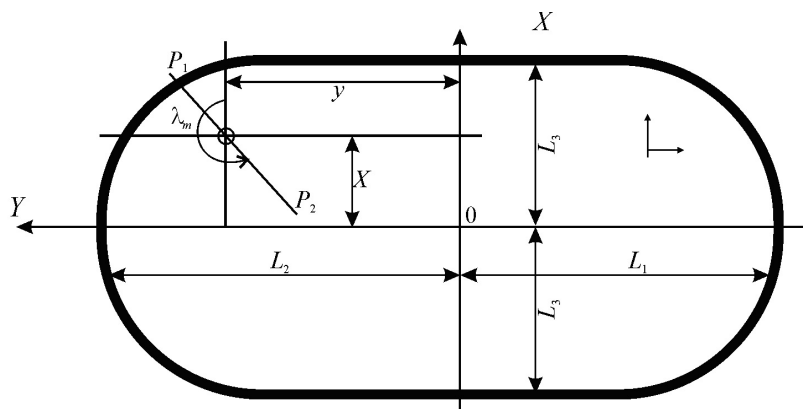


Рис. 2. Конфигурация мульды сдвижения по существующей методике

В качестве примера была взята очистная выработка с параметрами: длина лавы вкрест простирания $D_1 = 300$ м; длина лавы по простиранию $D_2 = 1200$ м; средняя глубина разработки $H = 600$ м; угол падения пластов α брался соответственно равным 0° , 20° , 40° и 60° . Этот рисунок наглядно показывает динамику изменения мульды сдвижения. С ростом угла падения пласта трапеция мульды смещается в сторону падения пласта, увеличиваются высота трапеции и ширина ее основания со стороны падения. При этом точка максимального оседания также перемещается в сторону падения пласта.

Динамика изменения размеров полумульд по падению и восстанию с увеличением угла падения пласта приведена в табл. 1.

Таблица 1 – Размеры полумульд при различных углах падения пласта

Размеры полумульд, м	Угол падения, градусов						
	0	10	20	30	40	50	60
– по падению L1	372	398	442	512	626	821	1198
– по восстанию L2	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 восстанию L_2 . Однако динамика роста размеров этих полумульд различная, что хорошо видно из рис. 4.

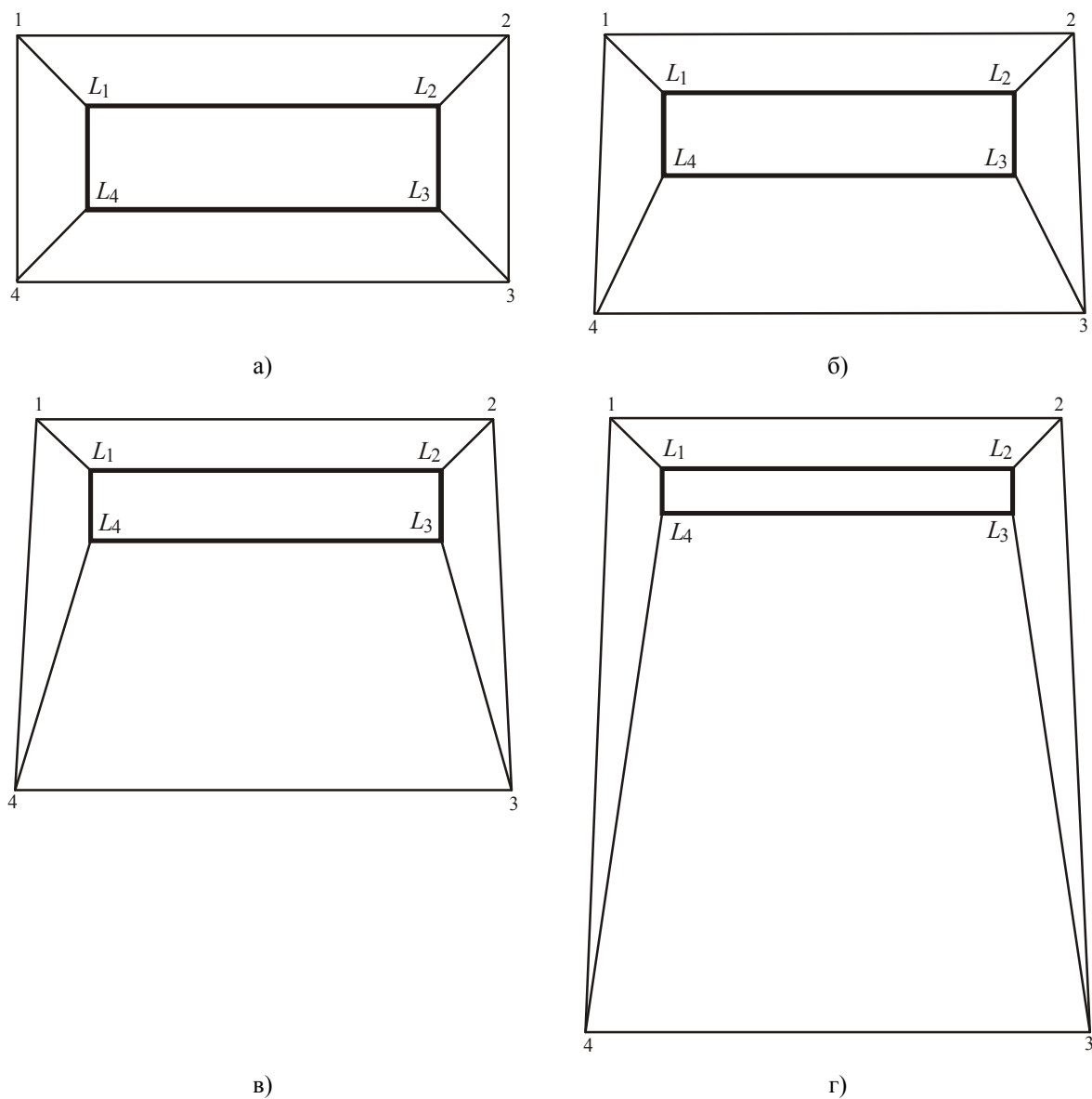


Рис. 3. Изменение формы мульды сдвижения с углом падения пласта:
 а) $\alpha = 0^\circ$; б) $\alpha = 20^\circ$; в) $\alpha = 40^\circ$; г) $\alpha = 60^\circ$

В табл. 2 и на рис. 5 приведена динамика изменения размеров полумульды по простиранию с увеличением угла падения пласта.

Таблица 2 – Размер полумульды по простиранию при различных углах падения пласта

Размер полумульды, м	Угол падения, градусов						
	0	10	20	30	40	50	60
– в центре лавы L3	642	642	642	642	642	642	642
– у верха лавы L3в	642	614	587	562	539	520	504
– у низа лавы L3н	642	670	696	722	744	764	780

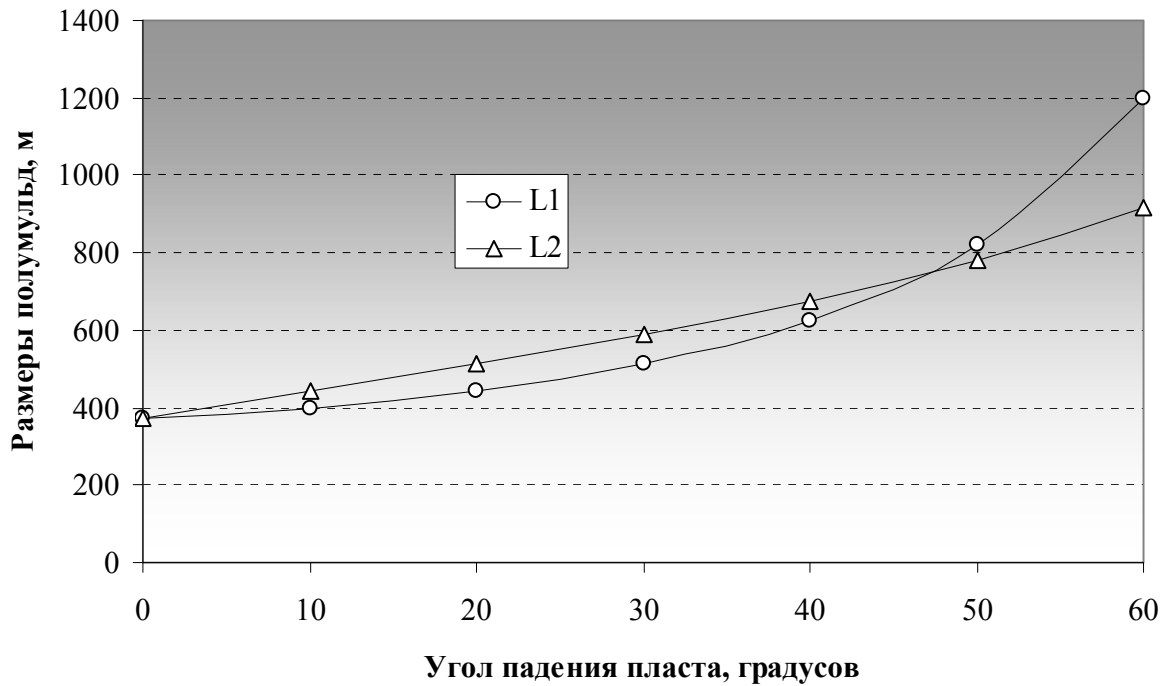


Рис. 4. Динамика изменения размеров полумульды по падению и восстанию при увеличении угла падения пласта

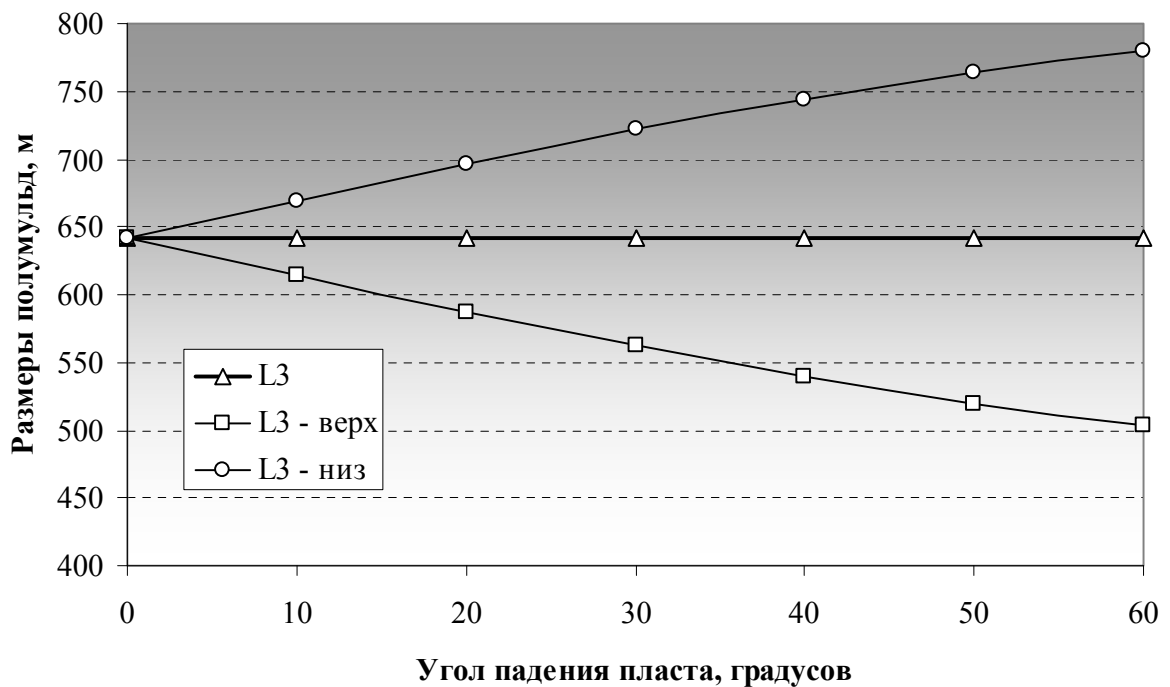


Рис. 5. Динамика изменения размеров полумульды по простиранию при увеличении угла падения пласта

Приведенные в табл. 2 и на рис. 5 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 расхождения достигают почти 280 м и отличаются от размера полумульды, вычисленного по принятому в "Правилах подработки..." [3] алгоритму, более чем на 20%.

В свою очередь, размер полумульды по простиранию используется при вычислении наклонов, кривизны и горизонтальных деформаций. Поэтому, учитывая значительные изменения размера полумульды по простиранию в зависимости от угла падения пластов, расчет этого размера полумульды L_3 по формулам (1) – (4) 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 (5).

При практическом построении мульды сдвигения 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 полумульды 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 сдвигения 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 сдвигение земной поверхности как в направлении простирания пластов, так и вкрест их простирания;
- II тип – зона, в которой наблюдается сдвигение земной поверхности только в одном направлении (по простиранию пластов либо вкрест их простирания);
- III тип – зона, в которой отсутствуют деформации (плоское дно мульды сдвигения).

Зоны I типа присутствуют в мульде сдвигения во всех случаях подработки (как полной, так и неполной). Это угловые участки мульды сдвигения, 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. 6 показана форма мульды сдвигения при полной подработке, как по простиранию, так и вкрест простирания пласта.

В зонах II типа, расположенных выше и ниже плоского дна (зоны III типа) 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. только по оси X . Плоское дно мульды сдвигения будет иметь трапецеидальную форму, что также обусловлено расчетом длины полумульды L_3 с учетом глубины разработки в каждой расчетной точке.

На рис. 7 показана форма мульды сдвигения при полной подработке по простиранию пласта и при неполной подработке вкрест простирания.

В этом случае в мульде отсутствует плоское дно. Вместо него имеет место линия точек максимального оседания, ориентированная по простиранию. В зонах II типа, расположенных выше и ниже линии точек максимального оседания 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 простирания пластов в этом случае отсутствуют.

На рис. 8 показана форма мульды сдвигения при неполной подработке по простиранию пласта и при полной подработке вкрест простирания.

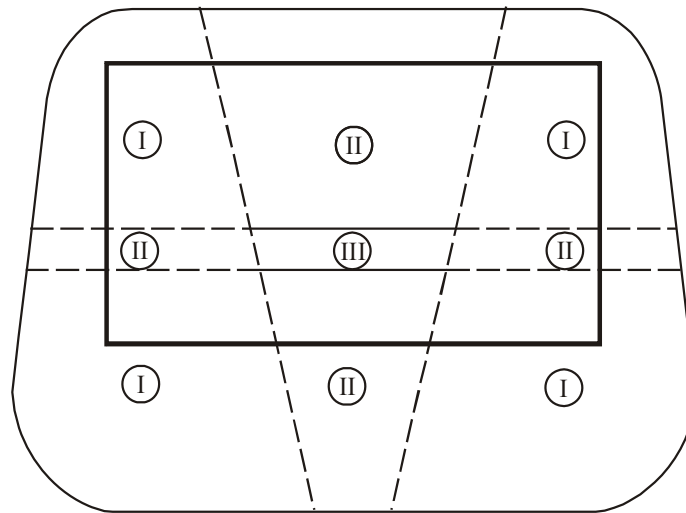


Рис. 6. Зоны деформаций в мульдe сдвигения при полной подработке по простиранию и вкрест простирания

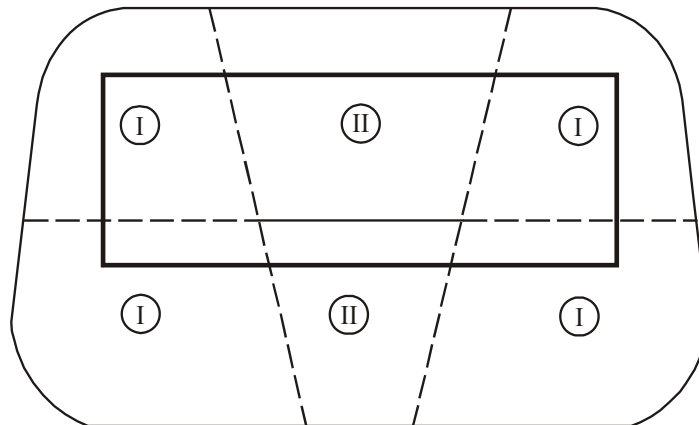


Рис. 7. Зоны деформаций в мульдe сдвигения при полной подработке по простиранию и неполной подработке вкрест простирания

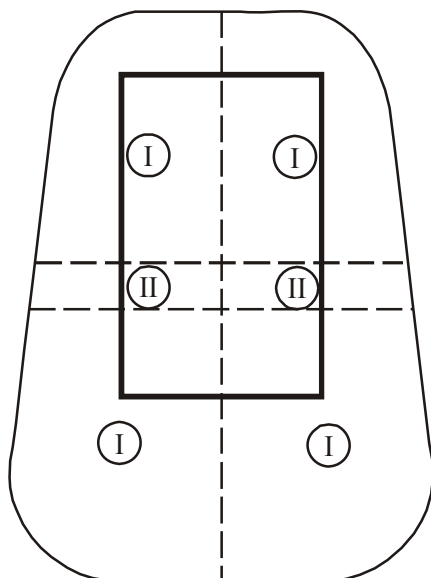


Рис. 8. Зоны деформаций в мульдe сдвигения при неполной подработке по простиранию и полной подработке вкрест простирания

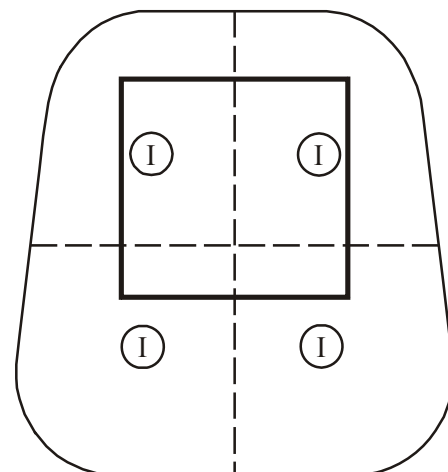


Рис. 9. Зоны деформаций в мульдe сдвигения при неполной подработке по простиранию и вкрест простирания

В этом случае в мульде также отсутствует плоское дно. Вместо него имеет место линия точек максимального оседания, ориентированная вкрест простирания. В зонах II типа, расположенных левее и правее линии точек максимального оседания будут наблюдаться деформации только в направлении простирания пластов, т.е. только по оси X . Зоны II типа, в которых бы наблюдались деформации только в направлении вкрест простирания пластов в этом случае отсутствуют.

На рис. 9 показана форма мульды сдвига при неполной подработке, как по простиранию, так и вкрест простирания пласта.

В этом случае мульда сдвига имеет только одну точку максимального оседания, а зоны II типа отсутствуют.

На рис. 10 показана форма мульды сдвига при неполной подработке вкрест простирания пласта, при полной подработке по простиранию со стороны восстания и при неполной подработке по простиранию со стороны падения

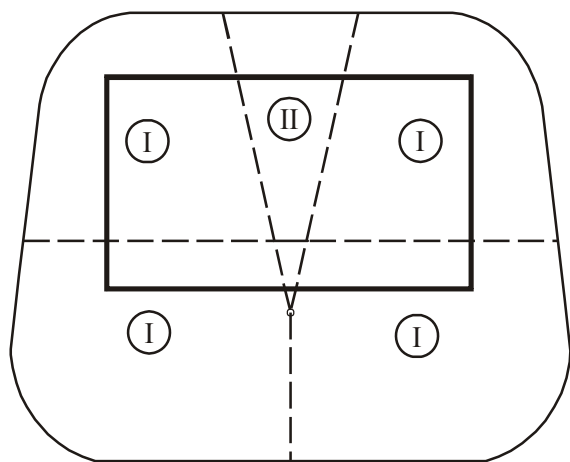


Рис. 10. Зоны деформаций в мульде сдвига при неполной подработке вкрест простирания; при полной подработке по простиранию со стороны восстания и при неполной подработке по простиранию со стороны падения

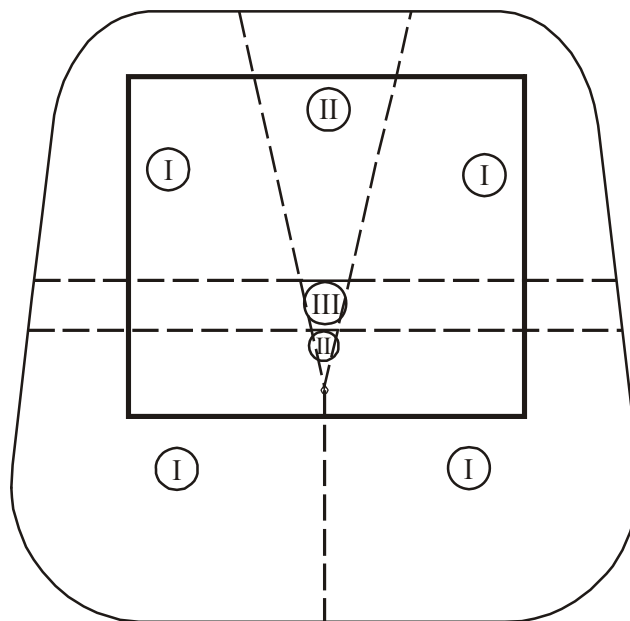


Рис. 11. Зоны деформаций в мульде сдвига при полной подработке вкрест простирания; при полной подработке по простиранию со стороны восстания и при неполной подработке по простиранию со стороны падения

В этом случае плоское дно в мульде сдвига 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. 11 показана форма мульды сдвига при полной подработке вкрест простирания пласта, 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 мульды, в которых будут наблюдаться деформации только в направлении вкрест простирания пластов, т.е. только по оси Y . Плоское дно также будет иметь трапециевидную форму, стремящуюся к треугольной с ростом длины очистной выработки вкрест простирания.

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) – (4) 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 (5).
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].

Библиографический список

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. Правила підробки будівель, споруд і природних об'єктів при видобуванні вугілля підземним способом: ГСТУ 101.00159226.001 – 2003. Введ. 01.01.2004. – К., 2004.

© Грищенко Н. Н., Шнеер В. Р., Блинникова Е. В., 2010.

Анотація

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

Ключові слова: підробка, мульда зрушення, деформації, земна поверхня.

Abstract

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.

Keywords: undermining, subsidence through, deformations, earth surface