

Министерство образования Российской Федерации  
Кузбасский государственный технический университет  
Кафедра маркшейдерского дела и геодезии

## Маркшейдерское дело

Задания и методические указания к практическим занятиям  
по курсу *«Охрана сооружений при подземной разработке  
месторождений полезных ископаемых»*  
для студентов специальности 090100

Составители П.А. Марченко  
Ю.Н. Фомина

Утверждены на заседании  
кафедры  
Протокол № 40 от 05.04.2000  
Рекомендовано к печати  
учебно-методической комиссией  
специальности 090100  
Протокол № 41 от 05.04.2000  
Электронная копия хранится  
в библиотеке главного  
корпуса КузГТУ

Кемерово 2000

## ВВЕДЕНИЕ

Специальный курс маркшейдерского дела «Охрана сооружений при подземной разработке месторождений полезных ископаемых» входит в цикл специальных дисциплин по профессиональной подготовке горных инженеров-маркшейдеров и изучается на девятом семестре.

Проблема охраны сооружений на земной поверхности от вредного влияния подземных горных разработок является одной из актуальнейших.

Выбор оптимальных мер охраны подрабатываемых объектов основан на сравнении допустимых для данного объекта деформаций с ожидаемыми. Цель данных методических указаний ознакомить студентов с особенностями расчета ожидаемых сдвижений и деформаций земной поверхности по вытянутые объекты, т.е. в заданном направлении. В основу настоящих методических указаний положены «Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок на угольных месторождениях» издания 1998 года. Методические указания могут быть использованы в учебном процессе при выполнении лабораторных работ, курсовых и дипломных проектов, а также на производстве при выборе оптимальных мер охраны подрабатываемых сооружений и расконсервации запасов в предохранительных целиках.

### Перечень практических занятий

Практическое занятие № 1

*«Построение границ зоны влияния подземных горных разработок на земной поверхности».*

Практическое занятие № 2

*«Аналитический способ расчета ожидаемых сдвижений и деформаций земной поверхности в заданном направлении».*

Практическое занятие № 3

*«Графо-аналитический способ расчета ожидаемых сдвижений и деформаций земной поверхности вдоль оси вытянутого охраняемого объекта».*

Все практические занятия выполняются студентами по индивидуальным заданиям на основе материалов, собранных во время прохождения производственной практики.

## *Практическое занятие № 1*

### **«Построение границ зоны влияния подземных горных разработок на земной поверхности»**

#### 1. Цель работы.

Научиться правильно производить построение на земной поверхности границ зоны влияния подземных горных разработок (границы мульды сдвижения при любой конфигурации очистной выработки).

#### 2. Исходные данные.

2.1. Совмещенный план горных работ и земной поверхности с указанием на нем горизонталей земной поверхности, охраняемого объекта, изогипс почвы разрабатываемого пласта и границ проектируемых горных выработок.

2.2. Краткая горно-геологическая характеристика участка шахтного поля, стратиграфия и характерные геологические разрезы.

2.3. Назначение и характеристика охраняемого объекта. Допустимые и предельные деформации.

2.4. Основные параметры очистных работ, проектируемых для подработки охраняемого объекта.

#### 3. Содержание работы.

3.1. Построить вертикальные разрезы по главным сечениям мульды сдвижения вкрест простирания и по простиранию пласта, обозначив на них поверхность земли, наносы, разрабатываемый пласт и границы очистных выработок.

3.2. По граничным углам установить на разрезах границы влияния очистных работ на земной поверхности, т.е. границы мульды сдвижения и определить: длину полумульд, точку максимального оседания земной поверхности и границы плоского дна мульды сдвижения (при полной подработке земной поверхности).

3.3. Построить на плане границы очистных работ, оси главных сечений и границы плоского дна мульды сдвижения.

3.4. Для каждой характерной точки очистной выработки построить трехосные эллипсы влияния горных работ земной поверхности и провести границы мульды сдвижения в плане, как касательные к эллипсам влияния.

## ***Практическое занятие № 2***

### **«Аналитический способ расчета ожидаемых сдвижений и деформаций земной поверхности в заданном направлении»**

#### 1. Цель работы.

Изучить особенности расчета ожидаемых сдвижений и деформаций земной поверхности в заданном направлении на основе рекомендаций «Правил охраны...» [1].

#### 2. Исходные данные.

2.1. План мульды сдвижения с указанием на нём осей главных сечений мульды сдвижения, границ плоского дна и оси охраняемого объекта (практическое занятие № 1).

#### 3. Содержание работы

3.1. На оси охраняемого объекта на плане (в пределах границ мульды сдвижения) наметить точки (пикеты) через 30-50 м.

3.2. Для каждого намеченного на плане пикета определить (графически) условные координаты.

3.3. Установить коэффициенты подработанности земной поверхности вкрест простирания и по простиранию пласта.

3.4. Используя «Правила охраны...» [1], для каждого пикета путем интерполирования (по соответствующим таблицам) вычислить значения единых типов кривых - оседания, наклонов и кривизны.

3.5. По известным формулам произвести расчет сдвижений и деформаций земной поверхности по главным сечениям сдвижения.

3.6. Произвести расчет сдвижений и деформаций земной поверхности в заданных точках, т.е. в намеченных на плане пикетах.

3.7. Произвести расчет сдвижений и деформаций земной поверхности в заданном направлении, т.е. по оси сооружения, и составить графики деформаций.

### *Практическое занятие № 3*

#### **«Графо-аналитический способ расчета ожидаемых сдвижений и деформаций земной поверхности вдоль оси вытянутого охраняемого объекта»**

##### 1. Цель работы.

Научиться производить расчет сдвижений и деформаций земной поверхности в заданном направлении графо-аналитическим способом.

##### 2. Исходные данные.

2.1. Границы мульды сдвижения на плане и вертикальные разрезы по главным сечениям мульды сдвижения вкрест простирания и по простиранию пласта (практическое занятие № 1).

##### 3. Содержание работы.

3.1. На основании расчетов оседаний земной поверхности по главным сечениям (практическое занятие № 2) необходимо на вертикальных разрезах по главным сечениям построить кривые оседаний.

3.2. Точки со ступенчатыми отметками на кривых оседаний с вертикальных разрезов перенести на оси главных сечений мульды сдвижения на плане и построить изолинии оседания земной поверхности в границах мульды сдвижения, т.е. изобразить мульду сдвижения в изолиниях оседаний.

3.3. Путем интерполирования по изолиниям оседаний определить величину оседания для каждого пикета на оси охраняемого объекта.

3.4. На основании оседаний пикетов и расстояний между ними вычислить по известным формулам деформации наклонов и кривизны вдоль оси охраняемого объекта.

3.5. Построить графики сдвижений и деформаций земной поверхности по оси охраняемого объекта (для сравнения результатов аналитического и графо-аналитического способов расчета графики деформаций обоих способов целесообразнее объединить).

3.6. Изобразить на графиках допустимые и предельные показатели деформаций земной поверхности для данного охраняемого объекта и установить участки на оси объекта, где ожидаемые (расчетные) деформации превышают допустимые и предельные.

**Методические указания  
к практическим занятиям № 1, 2, 3**

Выбор оптимальной меры охраны зданий и сооружений на земной поверхности заключается в сравнении допустимых деформаций для данного охраняемого объекта с ожидаемыми (расчетными) деформациями земной поверхности в основании объекта, возникающими в результате ее подработки.

Для расчета ожидаемых сдвижений и деформаций земной поверхности под отдельные здания и сооружения незначительных размеров достаточно произвести такие расчеты по известным формулам по главным сечениям мульды сдвижения или по сечениям, параллельным главным.

Для вытянутых объектов, расположенных, как правило, диагонально относительно простирания пласта (железные дороги, автодороги, различного вида трубопроводы, здания и сооружения большой протяженности и т.п.), возникает необходимость расчета сдвижений и деформаций земной поверхности вдоль осей этих сооружений, т.е. в заданном направлении.

Действующие «Правила охраны...» [1] рекомендуют формулы расчета сдвижений и деформаций земной поверхности в заданном направлении для отдельно рассматриваемой точки, расположенной вне главных сечений мульды сдвижения.

Так, например, деформация наклонов земной поверхности в заданном направлении для рассматриваемой точки  $M$  определяется по формуле

$$i_{\lambda} = i_{xy} \cos \lambda + i_{yx} \sin \lambda, \quad (1)$$

где  $\lambda$  - угол, отсчитываемый против часовой стрелки от направления простирания пласта до заданного направления;  $i_{xy}, i_{yx}$  - наклон в рассматриваемой точке  $M$ , соответственно в направлении простирания и вкрест простирания пласта.

Наклоны  $i_{xy}, i_{yx}$  в точке  $M$  с условными координатами  $X'_M$  и  $Y'_M$  определяются по формулам:

а) по направлению простирания пласта

$$i_{xy} = i_x \cdot S(Z_{yM}), \quad (2)$$

б) по направлению вкрест простирания:

$$i_{yx} = i_y \cdot S(Z_{xM}), \quad (3)$$

где  $i_x, i_y$  - наклон в главных сечениях мульды сдвижения соответственно в направлении простирания и вкрест простирания пласта (в точках с координатами точки  $M$ ).

В свою очередь деформации наклонов  $i_x$  и  $i_y$  по главным сечениям мульды сдвижения определяются по формулам:

а) по направлению простирания

$$i_x = \left( \frac{\eta_m}{L_3} \right) S'(Z_{xM}), \quad (4)$$

б) в сторону, обратную простирания

$$i_x = - \left( \frac{\eta_m}{L_3} \right) S'(Z_{xM}), \quad (5)$$

в) в полумульде по падению

$$i_{y_1} = \left( \frac{\eta_m}{L_1} \right) S'(Z_{y_1M}), \quad (6)$$

г) в полумульде по восстанию

$$i_{y_2} = - \left( \frac{\eta_m}{L_2} \right) S'(Z_{y_2M}), \quad (7)$$

где  $\eta_m$  - максимальное оседание земной поверхности;  $S'$  - типовая кривая наклонов, определяемая по таблицам «Правил охраны...» [1] для соответствующих бассейнов по аргументам  $Z_i$  и  $N_i$ :

$$\text{Здесь } Z_{xM} = \frac{X'_M}{L_3}; Z_{y_1M} = \frac{Y'_{1M}}{L_1}; Z_{y_2M} = \frac{Y'_{2M}}{L_2}.$$

где  $L_1, L_2, L_3$  - длина полумульд, м;  $X'_M, Y'_{1M}, Y'_{2M}$  - условные координаты точки  $M$ ;  $N_i$  ( $i = 1, 2$ ) - коэффициент подработанности земной поверхности.

Практически, исходя из последовательности расчетов (формулы 1-7), вычисления следует производить в обратном порядке:

- по формулам 4-7 определяют деформацию наклонов в главных сечениях мульды сдвижения -  $i_x, i_y$ ;
- по формулам 2, 3 вычисляют наклон в заданной точке  $M$ , т.е.  $i_{xy}$  и  $i_{yx}$ ;
- по формуле 1 вычисляют для рассматриваемой точки наклон в заданном направлении -  $i_\lambda$ .

По соответствующим формулам производится расчет и остальных показателей сдвижения и деформаций: горизонтальных деформаций, кривизны и горизонтальных сдвижений.

Из сказанного следует, что расчет сдвижений и деформаций земной поверхности в заданном направлении даже для одной рассматриваемой точки, - процесс довольно сложный, не говоря уже о расчете таких деформаций для целого ряда точек на оси вытянутого объекта. Поэтому целесообразно использовать для таких расчетов ЭВМ.

Большое количество и сложность вычислений требуют соответствующей последовательности в подготовке и выполнении расчетов. Предлагаемый ниже порядок рекомендуется соблюдать и при составлении программы вычислений на ЭВМ.

Порядок расчетов рассмотрим на конкретном примере.

**Пример.** На одной из шахт Кузбасса проектом предусматривается подработка подъездных железнодорожных путей очистными горными работами по пласту Бреевскому. Угол падения пласта -  $\alpha = 25^\circ$ , мощность -  $m = 2$  м. Ось железнодорожных путей и границы проектируемой очистной выработки показаны на плане (рис. 3).

Требуется определить ожидаемые (расчетные) сдвижения и деформации земной поверхности вдоль оси железнодорожного пути.

## Порядок расчетов

### 1. Построение границ мульды сдвижения

От точности построения границ мульды сдвижения зависит точность определения показателей сдвижений и деформаций земной поверхности в точках, расположенных в границах мульды сдвижения. Поэтому к этому вопросу следует относиться достаточно серьезно.

1.1. Построение вертикальных разрезов по главным сечениям мульды сдвижения вкрест простирания и по простиранию пласта.

Для построения разрезов по «Правилам охраны...» устанавливают:  
- граничные углы



$$\varphi_0 = 45^\circ, \gamma_0 = \delta_0 = 70^\circ, \beta_0 = 75^\circ - 0,9\alpha = 52^\circ;$$

- углы полных сдвижений

$$\psi_1 = 50^\circ - 0,25\alpha = 44^\circ, \psi_2 = 50^\circ + 0,38\alpha = 60^\circ, \psi_3 = 50^\circ;$$

- угол максимального оседания

$$\theta = 90^\circ - 0,5\alpha = 78^\circ.$$

На разрезах (рис.1) определяют длину полумульд:

$L_1 = 204$  м,  $L_2 = 196$  м,  $L_3 = 70$  м; положение точки максимального оседания земной поверхности  $O$  и положение осей главных сечений  $A_0B_0$  и  $C_0D_0$  относительно границ очистной выработки.

На основании полученных данных мульда сдвижения может быть построена в виде прямоугольника по длине полумульд  $L_1, L_2, L_3$  или как рекомендуют кандидат технических наук А.Н.Медянцеv и инженер Л.Н.Чепенко [2], положение границ мульды сдвижения можно определять исходя из формулы эллипса

$$Y_i = L_{1,2} \sqrt{1 - \left(\frac{X}{L_3}\right)^2}, \quad (8)$$

где  $Y$  - расстояние от точки главного сечения по простиранию с координатой  $X$  до границы мульды.

Оба способа построения следует считать неправильными. Первый способ пояснений не требует, а при втором способе при  $X_i = L_3$ , т.е. на границе мульды по простиранию, размеры мульды вкрест простирания по формуле (8) будут равны нулю ( $Y=0$ ), т.е. возможны случаи, когда границы мульды в плане могут пересекать границы очистной выработки.

1.2. Построение эллипсов влияния на земной поверхности от отдельных точек очистных работ.

Правильным следует считать способ построения границ мульды сдвижения с учетом границ влияния характерных точек очистных ра-

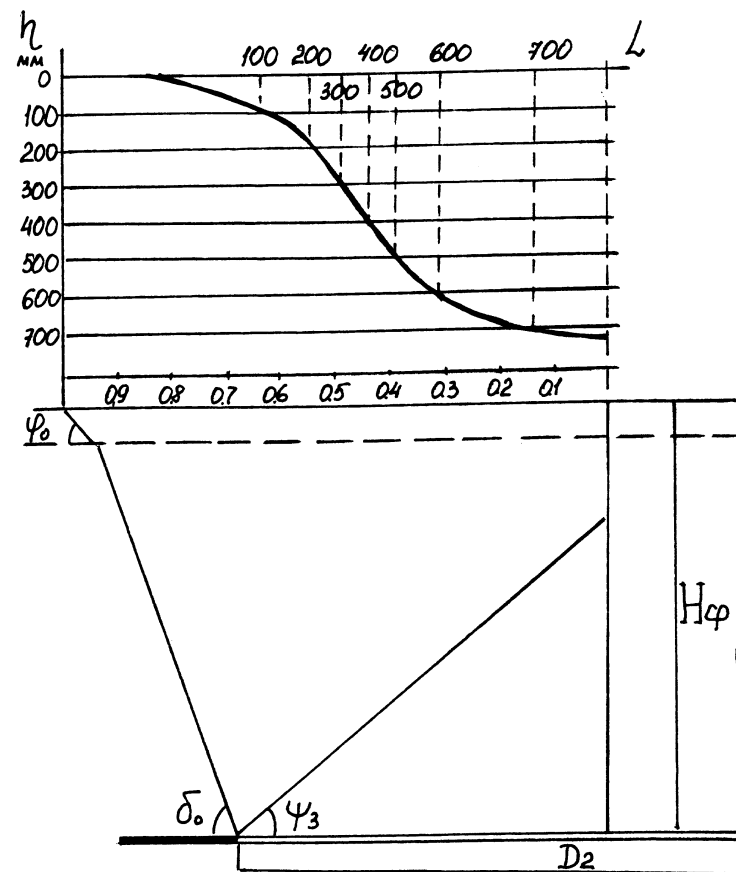
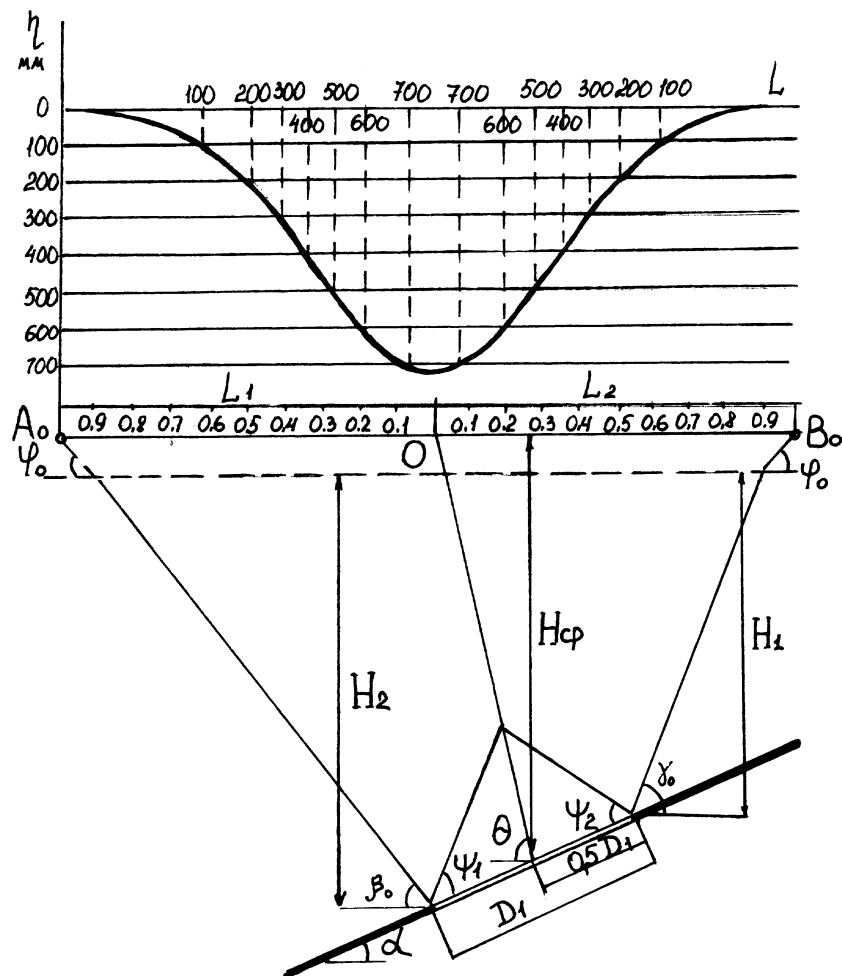


Рис. 1. Разрезы и кривые оседаний по главным сечениям мульды сдвижения: а - вкрест простирания пласта  
б - по простиранию пласта

бот, которые, по гипотезе С.П.Комаревского, определяются на земной поверхности в виде трехосного эллипса с полуосями:

$a_1$  - в сторону падения пласта;

$a_2$  - в сторону восстания;

$b$  - по простиранию пласта.

Значение полуосей эллипса определяются по формулам:

$$\left. \begin{aligned} a_1 &= (H - h_n) \operatorname{ctg} \beta_0 + h_n \operatorname{ctg} \varphi_0, \\ a_2 &= (H - h_n) \operatorname{ctg} \gamma_0 + h_n \operatorname{ctg} \varphi_0, \\ b &= (H - h_n) \operatorname{ctg} \delta_0 + h_n \operatorname{ctg} \varphi_0, \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

где  $H$  - глубина залегания точки очистных работ, м;  $h_n$  - мощность наносов, м.

Для рассматриваемой очистной выработки  $A, B, B, \Gamma$  (рис.3) будем иметь:  $H_A = H_B = 186$  м,  $H_B = H_\Gamma = 235$  м и поэтому длина полуосей по формулам (9) составит:

- для точек  $A$  и  $B$ :  $a_1 = 162,7$  м,  $a_2 = 87,7$  м,  $b = 87,7$  м;

- для точек  $B$  и  $\Gamma$ :  $a_1 = 200,3$  м,  $a_2 = 105,5$  м,  $b = 105,5$  м.

Для построения границ трехосного эллипса используют формулу эллипса

$$\frac{X^2}{a_{1(2)}^2} + \frac{Y^2}{b^2} = 1, \quad (10)$$

из которой следует, что

$$X_i = b \sqrt{1 - \left( \frac{Y_i}{a_{1(2)}} \right)^2}, \quad (11)$$

где  $X_i$  и  $Y_i$  - текущие координаты эллипса.

Расчет промежуточных значений координат эллипсов (рис.2), вычисленных по формуле (11), представлен в табл.1.

В характерных точках очистной выработки ( $A, B, B, \Gamma$ ) строят границы эллипсов (на основании табл.1) и с их учетом отстраивают границы мульды сдвижения как касательные к эллипсам (рис.3).

**Расчет промежуточных значений  
координат эллипсов**

Полу- оси	Коор- динаты	Точки А и Б			Точки В и Г			
		$a_1$	$Y_{,м}$	40	80	120	40	80
	$X_{,м}$	85	76,4	59,2	103,4	96,8	84,5	63,5
$a_2$	$Y_{,м}$	40	60		40	80		
	$X_{,м}$	78	64		91,7	68,8		

**2. Подготовка исходных данных**

2.1. Определение условных координат точек на оси охраняемого объекта.

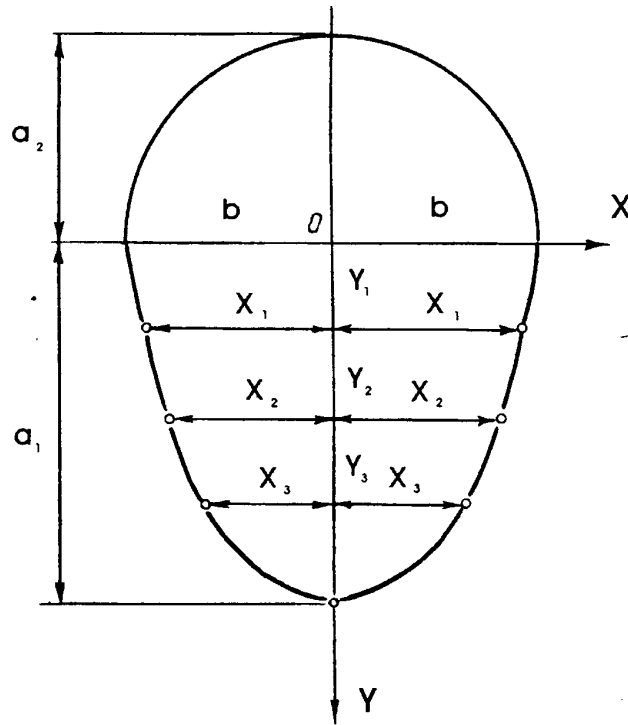
На плане мульды сдвижения на оси охраняемого объекта (в данном случае железной дороги) намечают точки - пикеты через определенное расстояние (25-50 м) в зависимости от характера охраняемого объекта (рис.3). Эти пикеты при подработке объекта могут быть вынесены в натуру и закреплены на местности для производства соответствующих инструментальных наблюдений.

Для каждого намеченного на плане пикета определяют угол  $\lambda_i$  и условные координаты  $X'_i$  и  $Y'_i$  (графически с учетом масштаба плана). За начало условной системы координат принимают точку максимального оседания (при неполной подработке земной поверхности) или границы плоского дна - при полной подработке. За координатные оси принимают линии главных сечений мульды сдвижения: за ось  $OX'$  - линию  $C_0D_0$  - главное сечение мульды по простиранию и за ось  $OY'$  - линию  $A_0B_0$  - главное сечение мульды сдвижения в разрезе вкрест простирания (рис.3). Условные координаты пикетов представлены в табл.2 (графы 2, 3).

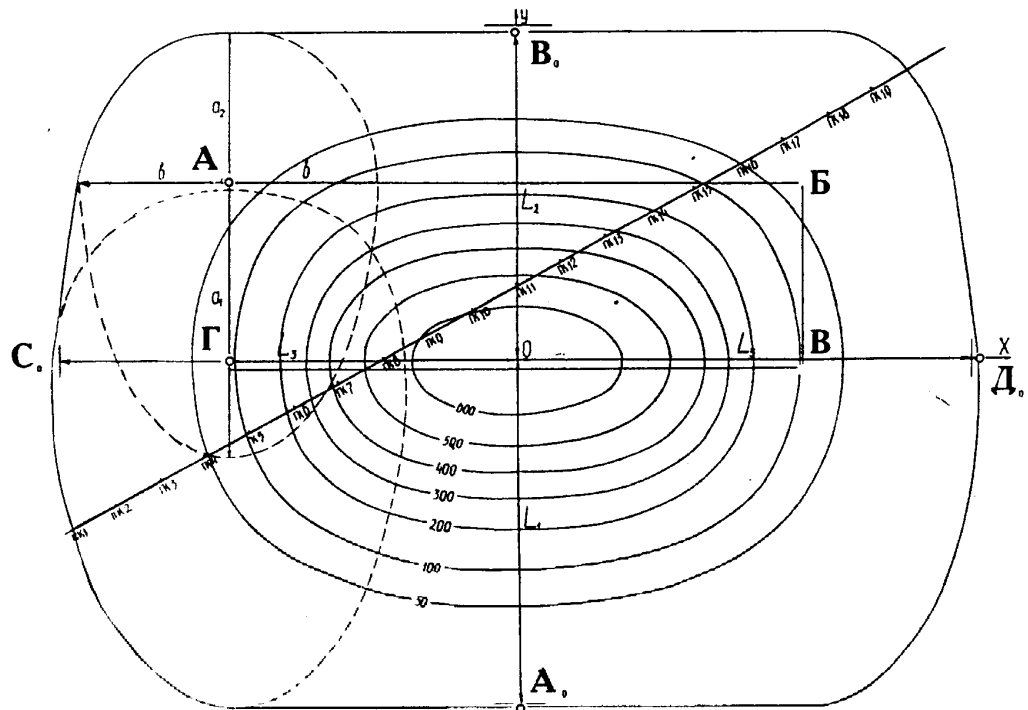
**Примечание.** Всего в данном примере при расчете было намечено 19 пикетов по оси железной дороги, как и показано на рисунках и графиках, однако в таблицах для их сокращения показан расчет только для 10 пикетов (нечетных), пронумерованных по порядку.

2.2. Вычисление параметра  $Z_i$ .

Для каждого намеченного на плане пикета вычисляют значение параметра  $Z_i$ .



**Рис. 2** Схема определения промежуточных координат эллипса



**Рис. 3** Построение границ мутьды сдвига

$$Z(X_i) = \frac{X'_i}{L_3}, Z(Y_{1,i}) = \frac{Y'_{1,i}}{L_1}, Z(Y_{2,i}) = \frac{Y'_{2,i}}{L_2}.$$

Следует иметь в виду, что если точка на плане расположена в полумульде по падению, то при вычислении  $Z(Y_i)$  в расчет принимают полумульду  $L_1$  и наоборот, если точка находится в полумульде по востанию, то к расчету принимают значение полумульды  $L_2$ .

2.3. Вычисление функций  $S(Z_i)$ ,  $S'(Z_i)$  и  $S''(Z_i)$ .

Полученные значения  $Z_i$  в табл.2 (графы 4 и 5), как правило, не совпадают с табличными ( $Z_i = 0; 0,1; 0,2; 0,3; \dots; 0,9; 1,0$ ), поэтому для каждого значения  $Z_i$ , используя таблицы функций  $S(Z_i)$ ,  $S'(Z_i)$  и  $S''(Z_i)$  «Правил охраны...» [1] для соответствующего бассейна, путем интерполяции вычисляют:

а)  $S(Z_x)$ ,  $S'(Z_x)$  и  $S''(Z_x)$  для главного сечения по простиранию по коэффициенту подработанности  $N_2$  и параметрам  $Z(X_i)$ ;

б)  $S(Z_{y_i})$ ,  $S'(Z_{y_i})$  и  $S''(Z_{y_i})$  для главного сечения вкrest простирания пласта - по коэффициенту подработанности  $N_1$  и параметрам  $Z(Y_i)$ .

Для рассматриваемого примера:

$$\frac{D_1}{H_{cp}} = 0,52, \quad N_1 = 0,56; \quad \frac{D_2}{H_{cp}} = 1,48, \quad N_2 = 0,95.$$

Результаты вычислений функций сведены в табл.2 (графы 6-11).

### 3. Расчет сдвижений и деформаций земной поверхности по главным сечениям мульды сдвижения

Расчет сдвижений и деформаций по главным сечениям производится для точек, соответствующих условным координатам намеченных пикетов, для которых вычислены значения  $S^i(Z_i)$  в табл.2.

Дополнительные исходные данные:

- относительная величина максимального оседания  $q_0 = 0,7$ ;
- относительная величина максимального горизонтального сдвижения  $a_0 = 0,25$ ;
- величина максимального оседания, определяемая по формуле

$$\eta_m = q_0 m N_1 N_2 \cos \alpha, \quad (12)$$

**Исходные данные для расчета  
сдвижений и деформаций по главным сечениям мульды сдвижения**

Пике -ты	Координаты, м		$Z_y$	$Z_x$	Значения функций (по $N_1$ и $Z_{yi}$ )			Значения функций (по $N_2$ и $Z_{xi}$ )		
	$Y'$	$X'$			$S_{(zy)}$	$S'_{(zy)}$	$S''_{(zy)}$	$S_{(zx)}$	$S'_{(zx)}$	$S''_{(zx)}$
1	100,0	264,5	0,49	0,98	0,307	1,44	3,94	0,002	0,04	0,20
2	71,4	210,6	0,35	0,78	0,555	1,85	1,20	0,040	0,36	2,80
3	42,8	156,6	0,21	0,58	0,812	1,63	-5,41	0,198	1,56	8,52
4	14,3	105,3	0,07	0,39	0,972	0,56	-8,09	0,629	2,32	-5,52
5	15,7	51,3	0,08	0,19	0,968	-0,64	-8,06	0,926	0,76	-5,79
6	43,1	0,00	0,22	0,00	0,794	-1,66	-4,42	1,000	0,00	-2,20
7	72,5	51,3	0,37	0,19	0,517	-1,83	2,08	0,926	-0,76	-5,79
8	101,9	105,3	0,52	0,39	0,264	-1,32	3,92	0,629	-2,32	-5,52
9	131,3	156,6	0,67	0,58	0,104	-0,79	3,11	0,198	-1,56	8,52
10	158,8	210,6	0,81	0,78	0,028	-0,29	1,92	0,040	-0,36	2,80

**Формулы расчета ожидаемых сдвижений и деформаций  
по главным сечениям мульды сдвижения**

Сдвигения и деформации	Главные сечения			
	по простиранию (по $N_2$ )		вкрест простирания (по $N_1$ )	
	в полумульде по простиранию	в полумульде обр. простиранию	в полумульде по падению	в полумульде по восстанию
Оседание $\eta$	$\eta_x = \eta_m \cdot S(Z_x)$		$\eta_y = \eta_m \cdot S(Z_{y_{12}})$	
Наклоны $i$	$i_x = \left(\frac{\eta_m}{L_3}\right) S'(Z_x)$	$i_x = -\left(\frac{\eta_m}{L_3}\right) S'(Z_x)$	$i_x = \left(\frac{\eta_m}{L_1}\right) S'(Z_{y_1})$	$i_x = -\left(\frac{\eta_m}{L_2}\right) S'(Z_{y_2})$
Кривизна $K$	$K_x = \left(\frac{\eta_m}{L_3^2}\right) S''(Z_x)$		$K_{y_1} = \left(\frac{\eta_m}{L_1^2}\right) S''(Z_{y_1})$	$K_{y_2} = \left(\frac{\eta_m}{L_2^2}\right) S''(Z_{y_2})$
Горизонтальное сдвижение $\xi$	$\xi_x = 0,5a_0\eta_m S'(Z_x)$	$\xi_x = -0,5a_0\eta_m S'(Z_x)$	$\xi_{y_1} = 0,5a_0\eta_m \cdot$ [ $S'(Z_{y_1}) + 2BS(Z_{y_1})$ ]	$\xi_{y_2} = -0,5a_0\eta_m \cdot$ [ $S'(Z_{y_2}) - 2BS(Z_{y_2})$ ]
Горизонтальные деформации $\varepsilon$	$\varepsilon_x = 0,5a_0 \frac{\eta_m}{L_3} S''(Z_x)$		$\varepsilon_{y_1} = 0,5a_0 \frac{\eta_m}{L_1} \cdot$ [ $S''(Z_{y_1}) + 2BS'(Z_{y_1})$ ]	$\varepsilon_{y_1} = 0,5a_0 \frac{\eta_m}{L_1} \cdot$ [ $S''(Z_{y_1}) - 2BS'(Z_{y_1})$ ]



Таблица 4

***Сдвигения и деформации земной поверхности в сечениях,  
параллельных главным сечениям мульды сдвижения***

Nпк	Оседание, мм		Наклоны $10^{-3}$		Кривизна $10^{-3}$		Гориз.сдвиж.,мм		Гориз.дефор. $10^{-3}$	
	$\eta_y$	$\eta_x$	$i_y$	$i_x$	$K_y$	$K_x$	$\xi_y$	$\xi_x$	$\epsilon_y$	$\epsilon_x$
1	207	1	4,76	0,10	0,064	0,002	200,2	3,4	3,44	0,06
2	315	27	6,12	0,90	0,019	0,026	298,4	30,4	2,82	0,88
3	548	134	5,39	3,90	-0,088	0,079	345,8	131,6	-0,19	2,66
4	656	424	1,25	5,80	-0,191	-0,051	296,6	195,8	-1,52	-1,72
5	653	625	-2,20	1,90	-0,141	-0,054	194,3	64,1	-4,31	-1,81
6	536	615	-5,72	0,00	-0,086	-0,020	63,0	0,0	-4,29	-0,67
7	349	625	-6,30	-1,90	0,036	-0,053	-21,8	-64,1	-1,50	-1,81
8	118	424	-4,55	-5,80	0,069	-0,051	-43,7	-195,2	-0,04	-1,72
9	70	134	-2,75	-3,90	0,055	0,079	-40,0	-131,6	0,31	2,66
10	19	27	-1,00	-0,90	0,034	0,026	-17,3	-30,3	0,45	0,86

$$\eta_m = 0,7 \cdot 2 \cdot 0,56 \cdot 0,95 \cdot \cos 25^0 = 615 \text{ мм};$$

- значение коэффициента  $B=4,52$

$$B = \frac{1}{a_0} \left( \operatorname{tg} \alpha - \frac{h_n + h_m}{H_{cp}} \right) \geq 0. \quad (13)$$

Формулы расчета сдвижений и деформаций сведены в табл.3, а результаты расчетов представлены в табл.4.

#### 4. Расчет сдвижений и деформаций земной поверхности в заданных точках мульды сдвижения и в заданном направлении

Расчет ожидаемых сдвижений и деформаций земной поверхности в заданных точках мульды сдвижения и в заданном направлении производится по формулам, сведенным в табл.5. Следует иметь в виду, что знаки функций  $S'(Z_i)$ , входящих в формулы вычисления *скручивания*  $\gamma_{XY}$  и *скашивания*  $\Delta_{XY}$ , определяются в зависимости от расположения рассматриваемой точки в границах мульды сдвижения.

Так, функции  $S'(Zy_i)$  для точек, расположенных в полумульде по падению, имеют положительное значение, а для точек в полумульде по восстанию - отрицательное значение.

Функции  $S'(Zx_i)$  для точек, расположенных в полумульде по простиранию пласта, имеют отрицательное значение, а для точек в полумульде обратной простиранию - положительное значение.

Результаты вычислений сдвижений и деформаций земной поверхности по оси железной дороги приведены в табл.6 и показаны на графиках (рис.4).

Из-за краткости изложения, последовательность вычислений по формулам, приведенным в табл.5, не приводится.

#### 5. Расчет сдвижений и деформаций земной поверхности в заданном направлении при полной ее подработке

При полной подработке земной поверхности возникают некоторые особенности в расчетах. Дело в том, что точки, расположенные в пределах плоского дна мульды сдвижения, будут иметь одну или одновременно обе условные координаты, равные нулю.

**Формулы расчета сдвижений и деформаций земной поверхности  
в заданных точках мульды сдвижения и в заданном направлении**

Сдвигения и деформации	По направлению простирания	По направлению вкрест простирания	В заданном направлении
<b>Оседание</b> $\eta$	$\eta_{xy} = \eta_m \cdot S_{(Zx)} \cdot S_{(Zy)}$		
<b>Наклоны</b> $i$	$i_{xy} = i_x S_{(Zy)}$	$i_{yx} = i_y S_{(Zx)}$	$i_\lambda = i_{xy} \cos \lambda + i_{yx} \sin \lambda$
<b>Кривизна</b> $K$	$K_{xy} = K_x S_{(Zy)}$	$K_{yx} = K_y S_{(Zx)}$	$K_\lambda = K_{xy} \cos^2 \lambda + K_{yx} \sin^2 \lambda + j_{xy} \sin 2\lambda$
<b>Горизонтальное сдвижение</b> $\xi$	$\xi_{xy} = \xi_x S_{(Zy)}$	$\xi_{yx} = \xi_y S_{(Zx)}$	$\xi_\lambda = \xi_{xy} \cos \lambda + \xi_{yx} \sin \lambda$
<b>Горизонтальные деформации</b> $\varepsilon$	$\varepsilon_{xy} = \varepsilon_x S_{(Zy)}$	$\varepsilon_{yx} = \varepsilon_y S_{(Zx)}$	$\varepsilon_\lambda = \varepsilon_{xy} \cos^2 \lambda + \varepsilon_{yx} \sin^2 \lambda + 0,5\Delta_{xy} \cdot \sin 2\lambda$

Для точек в полумульде по падению

скручивание 
$$j_{xy} = \frac{i_x S'_{(Zy_1)}}{L_1}$$

скашивание (сдвиг) 
$$\Delta_{xy} = \xi_x \frac{S'_{(Zy_1)}}{L_1} + \xi_y \frac{S'_{(Zx)}}{L_3},$$

Для точек в полумульде по восстанию

$$j_{yx} = \frac{i_x S'_{(Zy_2)}}{L_2}$$

$$\Delta_{xy} = \xi_x \frac{S'_{(Zy_2)}}{L_2} + \xi_y \frac{S'_{(Zx)}}{L_3}$$

Таблица 6

**Расчет сдвижений и деформаций земной поверхности  
в заданном направлении**

N	Наклоны $10^{-3}$			Кривизна $10^{-6}$				Гориз.сдвижения,мм			Гориз.деформации $10^{-3}$			
	$i_{xy}\cos\lambda$	$i_{yx}\sin\lambda$	$i\lambda$	$K_{xy}\cos^2\lambda$	$K_{yx}\sin^2\lambda$	$j_{xy}\sin 2\lambda$	$K\lambda$	$\xi_{xy}\cos\lambda$	$\xi_{yx}\sin\lambda$	$\xi\lambda$	$\varepsilon_{xy}\times\cos^2\lambda$	$\varepsilon_{yx}\sin^2\lambda$	$0,5\Delta_{xy}\times\sin 2\lambda$	$\varepsilon\lambda$
1	0,027	0,005	0,032	0,434	0,030	0,599	1,063	0,9	0,2	1,1	0,014	0,002	0,023	0,039
2	0,437	0,119	0,556	11,007	0,183	6,922	18,112	10,7	5,8	20,5	0,372	0,026	0,285	0,683
3	2,770	0,518	3,288	49,002	-4,084	26,427	71,345	93,4	33,2	126,6	1,645	-0,009	1,292	2,937
4	4,931	0,565	5,496	-38,003	-19,399	13,502	-43,900	166,4	90,3	256,7	-1,283	-0,391	1,307	-0,367
5	1,608	-0,989	0,619	-39,698	-30,823	-5,261	-75,782	54,3	87,0	141,3	-1,339	-0,937	0,142	-2,134
6	0,000	-2,772	-2,772	-12,372	-20,319	0,000	-32,691	0,0	30,7	30,7	-0,418	-1,008	0,000	-1,426
7	-0,859	-2,829	-3,688	-21,202	7,954	15,044	1,796	-29,0	-9,9	-38,9	-0,715	-0,326	0,280	-0,761
8	-1,339	-1,386	-2,725	-10,322	10,183	33,126	32,987	-45,2	-13,3	-58,5	-0,348	-0,005	0,718	0,365
9	-0,355	-0,261	-0,616	6,276	2,543	13,331	22,150	-12,0	-3,8	-15,8	0,212	0,014	0,329	0,549
10	-0,022	-0,019	-0,041	0,555	0,0317	1,129	2,001	-0,7	-0,3	-1,0	0,018	0,004	0,029	0,051

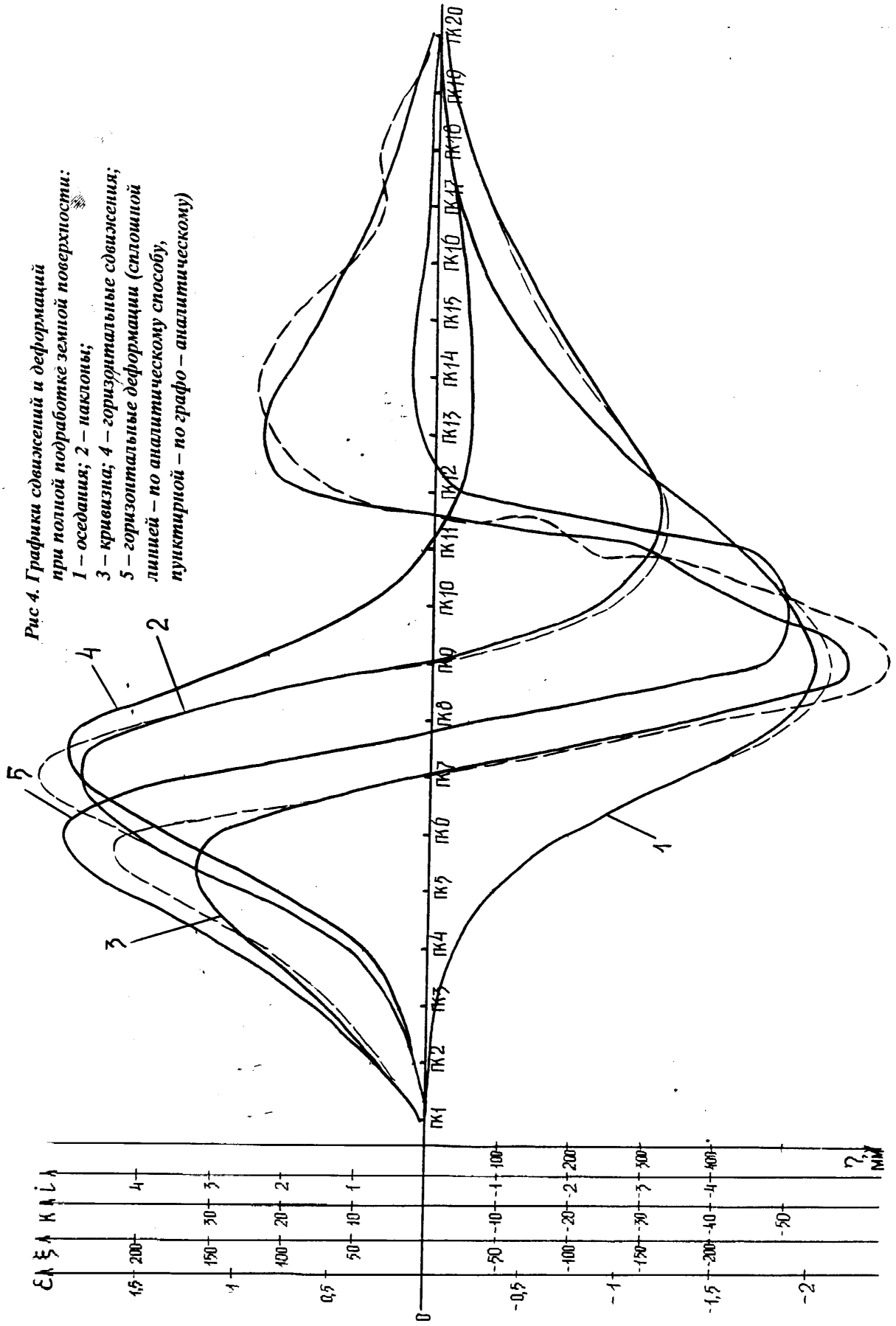


Рис 4. Графики сдвижений и деформаций при полной обработке земной поверхности:  
 1 – оседания; 2 – наклоны;  
 3 – кривизны; 4 – горизонтальные сдвижения;  
 5 – горизонтальные деформации (сплошной линией – по аналитическому способу, пунктирной – по графо – аналитическому)

1,5	200	4
1	150	3
0,5	100	2
0	50	1
-0,5	-50	-1
-1	-100	-2
-1,5	-150	-3
-2	-200	-4
	-250	-5

СА  
 ЭА  
 А  
 КА  
 СА

mm

Так, например, при полной подработке земной поверхности по простиранию ( $N_2=1$ ) рассматриваемая точка  $M$  будет иметь условную абсциссу  $X'_m=0$ , так как координата  $X'$  отсчитывается от границы плоского дна в пределах полумульды  $L_3$ , а точка располагается за ее пределами, и наоборот, при полной подработке земной поверхности по направлению вкрест простирания пласта ( $N_1=1$ ), нулевое значение будет иметь условная ордината точки ( $Y'_m=0$ ).

В случае полной подработки земной поверхности одновременно в направлении простирания и вкрест простирания ( $N_1=1, N_2=1$ ) обе координаты точек, расположенных в пределах плоского дна, будут иметь нулевое значение ( $X'_i=0$  и  $Y'_i=0$ ).

В связи с этим изменяются и формулы расчета сдвижений и деформаций. Это вытекает из того, что при абсциссе  $X'_m=0$  значение показателя  $Z(X_m)$ , определяемого из выражения  $Z(x_m) = \frac{X'_m}{L_3}$ , также будет равно нулю и поэтому при коэффициенте подработанности  $N_2=1$ , т.е. при полной подработке земной поверхности по простиранию пласта функции типовых кривых будут соответственно равны  $S(Zx)=1$ ,  $S'(Zx)=0$  и  $S''(Zx)=0$ . Следовательно, сдвижения и деформации в главном сечении по простиранию в пределах плоского дна будут равны:

$$\eta_x = \eta_m S(Zx), i_x = 0, \kappa_x = 0, \xi_x = 0, \varepsilon_x = 0. \quad (14)$$

Соответственно сдвижения и деформаций в заданных точках по направлению параллельному главному сечению по простиранию также будут равны:

$$i_{xy} = 0, \kappa_{xy} = 0, \xi_{xy} = 0, \varepsilon_{xy} = 0. \quad (15)$$

Таким образом, сдвижения и деформации земной поверхности в заданном направлении при полной подработке по простиранию для точек расположенных у границы плоского дна, будут рассчитываться по упрощенным формулам:

$$\left. \begin{aligned} i_\lambda &= i_{yx} \cdot \sin \lambda; \kappa_\lambda = \kappa_{yx} \cdot \sin^2 \lambda; \\ \xi_\lambda &= \xi_{yx} \cdot \sin \lambda; \varepsilon_\lambda = \varepsilon_{yx} \cdot \sin^2 \lambda. \end{aligned} \right\} \quad (16)$$

По аналогичным формулам определяются сдвигения и деформации земной поверхности в заданном направлении при полной ее обработке в направлении вкрест простирания пласта.

### 6. Графо - аналитический способ расчета ожидаемых сдвижений и деформаций земной поверхности в заданном направлении

Рассмотренный выше аналитический способ расчета сдвижений и деформаций земной поверхности в заданном направлении без применения ЭВМ является весьма громоздким.

В связи с этим предлагается более простой графо-аналитический способ расчета, сущность которого заключается в следующем.

Изображают мульду сдвижения на плане изолиниями оседаний земной поверхности. Для этого строят границы мульды сдвижения, как указано в п.1.

Производят расчет и построение кривых оседаний на вертикальных разрезах по главным сечениям мульды сдвижения (рис.1).

Ступенчатые отметки с кривых на вертикальных разрезах переносят на главные сечения на плане. Путем интерполирования строят план изолиний оседания земной поверхности.

Для каждого пикета, намеченного на оси сооружения в пределах мульды сдвижения, путем интерполирования по изолиниям оседаний определяют величину оседания  $\eta_i$  и по известным формулам вычисляют наклоны в заданном направлении

$$i_{\lambda(n)} = \frac{\eta_i - \eta_{i-1}}{l_n}, \quad (17)$$

и кривизну

$$K_{\lambda} = \frac{i_{\lambda(n)} - i_{\lambda(n-1)}}{l_{cp}}, \quad (18)$$

где  $l_n$  - длина интервала, между пикетами с номерами  $i$  и  $i - 1$ , м;  $l_{cp}$  - средняя длина двух смежных интервалов.

Расчеты сдвижений и деформаций приведены в табл.7.

Таблица 7

***Расчет вертикальных деформаций земной поверхности  
по оси железной дороги графо-аналитическим способом***

Пикеты	$\eta$ , мм	$i \cdot 10^{-3}$	$K \cdot 10^{-6}$ , 1/м
1	0		
2	5	0,167	10,000
3	19	0,467	16,667
4	48	0,967	31,767
5	111	2,100	63,333
6	231	4,000	73,333
7	417	6,200	-71,100
8	539	4,067	-63,333
9	604	2,167	-87,800
10	590	-0,467	-45,533
11	535	-1,833	-46,667
12	438	-3,233	-17,800
13	325	-3,767	-1,100
14	211	-3,800	20,000
15	115	-3,200	32,233
16	48	-2,233	45,533
17	22	-0,867	11,133
18	6	-0,533	13,333
19	2	-0,133	



Способ весьма простой и доступный, но позволяет определять в любом заданном направлении только вертикальные сдвигения и деформации: оседания, наклоны и кривизну.

Точность расчетов соответствует аналитическому способу.

Результаты расчетов для сравнения приведены на графиках (рис.4).

### **Расчеты сдвижений земной поверхности от нескольких очистных выработок**

Расчет сдвижений и деформаций земной поверхности в заданном направлении от нескольких очистных выработок производится методом суммирования соответствующих сдвижений и деформаций от отдельных очистных выработок.

Рекомендуется следующий порядок расчета.

Отстраиваются на плане границы мульд сдвижения отдельно от каждой очистной выработки и границы общей мульды сдвижения от двух работающих очистных выработок (рис. 5).

На плане общей мульды сдвижения проводят ось вытянутого объекта и намечают на ней пикеты-точки расчета сдвижений и деформаций.

По методике, изложенной ранее, производится расчет сдвижений и деформаций земной поверхности в заданном направлении отдельно для каждой очистной выработки: по реперам 1,2...9,10 для лавы 1 и по реперам 5,6...17,18 для лавы 2 (рис.5). Суммирование сдвижений и деформаций производится только для участка зоны перекрытия мульд сдвижения, т.е. для реперов 5, 6, 7, 8, 9, 10. Суммирование может быть выполнено на графиках соответствующих деформаций, построенных для обеих очистных выработок, или, учитывая то, что реперы, расположенные в зоне перекрытия мульд сдвижения, занимают в плане единое положение для обеих лав, - аналитическим способом с учетом знаков сдвижений и деформаций.

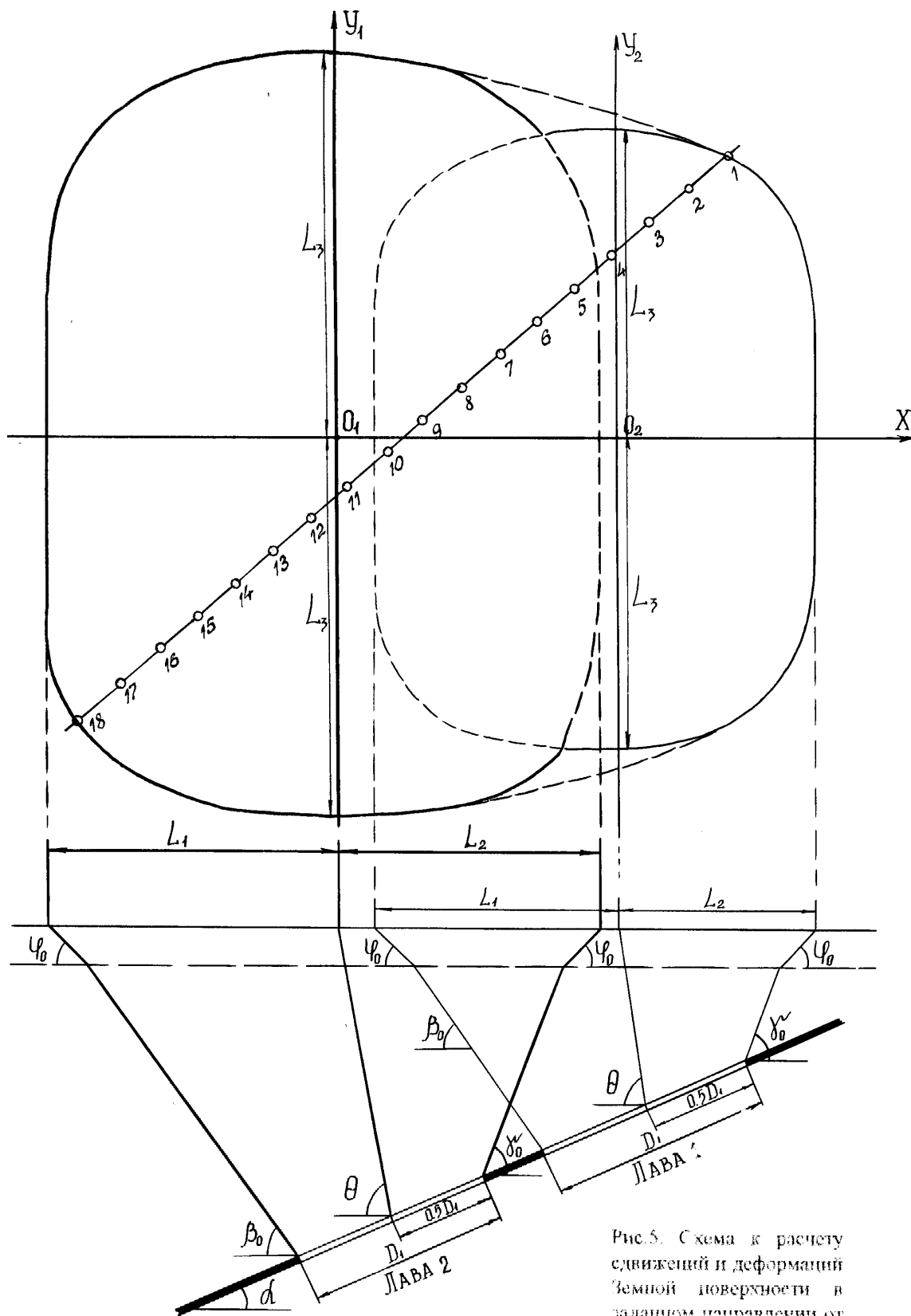


Рис. 5. Схема к расчету сдвижений и деформаций земной поверхности в заданном направлении от двух очистных выработок

Рис. 5. Схема к расчету сдвижений и деформаций земной поверхности в заданном направлении от двух очистных выработок

## Список литературы

1. Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных разработок на угольных месторождениях. – СПб.: ВНИМИ, 1998. - 300 с.
2. Сдвижение горных пород при подземной разработке угольных и сланцевых месторождений. А.Г.Акимов, В.Н.Земисев и др. - М.: Недра, 1970. – 223 с.

Составители  
Парфирий Аверьянович Марченко  
Юлия Николаевна Фомина

## Маркшейдерское дело

Задания и методические указания к практическим занятиям по курсу «Охрана сооружений при подземной разработке месторождений полезных ископаемых» для студентов специальности 090100

Редактор З.М. Савина

ЛР №020313 от 23.12.96

Подписано в печать 11.04.2000. Формат 60×84/16

Бумага офсетная. Отпечатано на ризографе. Уч.-изд. л. 1,5.

Тираж 50 экз. Заказ .

Кузбасский государственный технический университет.

650026, Кемерово, ул. Весенняя, 28.

Типография Кузбасского государственного технического университета.

650099, Кемерово, ул. Д. Бедного, 4 А.