

# 6 СОСТАВЛЕНИЕ ПРОЕКТА И ЗАКЛАДКА НАБЛЮДАТЕЛЬНЫХ СТАНЦИЙ ЗА СДВИЖЕНИЕМ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ



## 6.1 Содержание проекта наблюдательной станции

Закладка наблюдательной станции и производство наблюдений производится по заранее составленному проекту. Проект состоит из плана наблюдательной станции в масштабе 1:1000 или 1:2000, геологических разрезов по профильным линиям и краткой пояснительной записки. На плане наблюдательной станции должны быть показаны:

1. Рельеф земной поверхности;
2. Фактическое положение горных выработок;
3. Проектное положение горных выработок;
4. Поверхностные сооружения и предохранительные целики под охраняемыми объектами.

К плану прилагаются геологические разрезы по профильным линиям составленные в масштабе плана.

В пояснительной записке указывается цель наблюдений и излагается:

- а) описание горно-геологических условий залегания пластов и горно-технических условий их разработки на участке наблюдений;
- б) способы закрепления реперов, методика наблюдений, применяемые приборы и аппаратура;
- в) способ привязки станции к существующей опорной сети;
- г) расчет профильных линий и необходимого количества реперов и материалов.

The background of the slide features a technical drawing of a parabolic antenna dish. The dish is represented by a grid of concentric circles and radial lines, illustrating its parabolic geometry. At the focal point of the dish, a feed horn is depicted, with several lines radiating from it across the surface of the dish, representing the propagation of electromagnetic waves. The entire scene is rendered in a light gray color against a dark gray background.

## 6.2 Расчёт профильных линий

Размеры наблюдательной станции определяется числом профильных линий и их длиной.

Число профильных линий и расстояние между ними устанавливаются в зависимости от геологических условий, рельефа и ситуации местности. Как правило, число линий должно быть не менее трёх; двух - вкrest простирания и одной - по простиранию пластов. Крайние реперы с обоих концов профильных линий вкrest простирания должны находиться вне зоны сдвига, по линии простирания вне этой зоны может находиться один из концов. Длины профильных линий определяются графически на разрезах вкrest простирания и по простиранию пластов.

## Определение длины профильных линий долговременных и рядовых наблюдательных станций

Длина профильной линии на разрезе вкрест простирания пласта определяется следующим образом.

От границы предполагаемой очистной выработки (рис.6.1) проводятся под углами  $\beta$  (у ~~верхней~~ границы очистной выработки) и  $\Delta$  (у ~~верхней~~ границы) линии до контакта коренных пород с наносами и далее, под углом  $\alpha$  - до пересечения с земной поверхностью. Точки пересечения  $A$  и  $B$  этих линий с земной поверхностью находятся на предполагаемой границе зоны сдвижения поверхности по профильной линии. Рабочая часть профильной линии для условий выемки одного пласта определяется отрезком  $AB$ . От точек  $A$  и  $B$  через 50 - 100м закладывается не менее трех опорных реперов (два репера - со стороны восстания и один - со стороны падения).

# Определение длины профильной линии вкрест простирания пласта

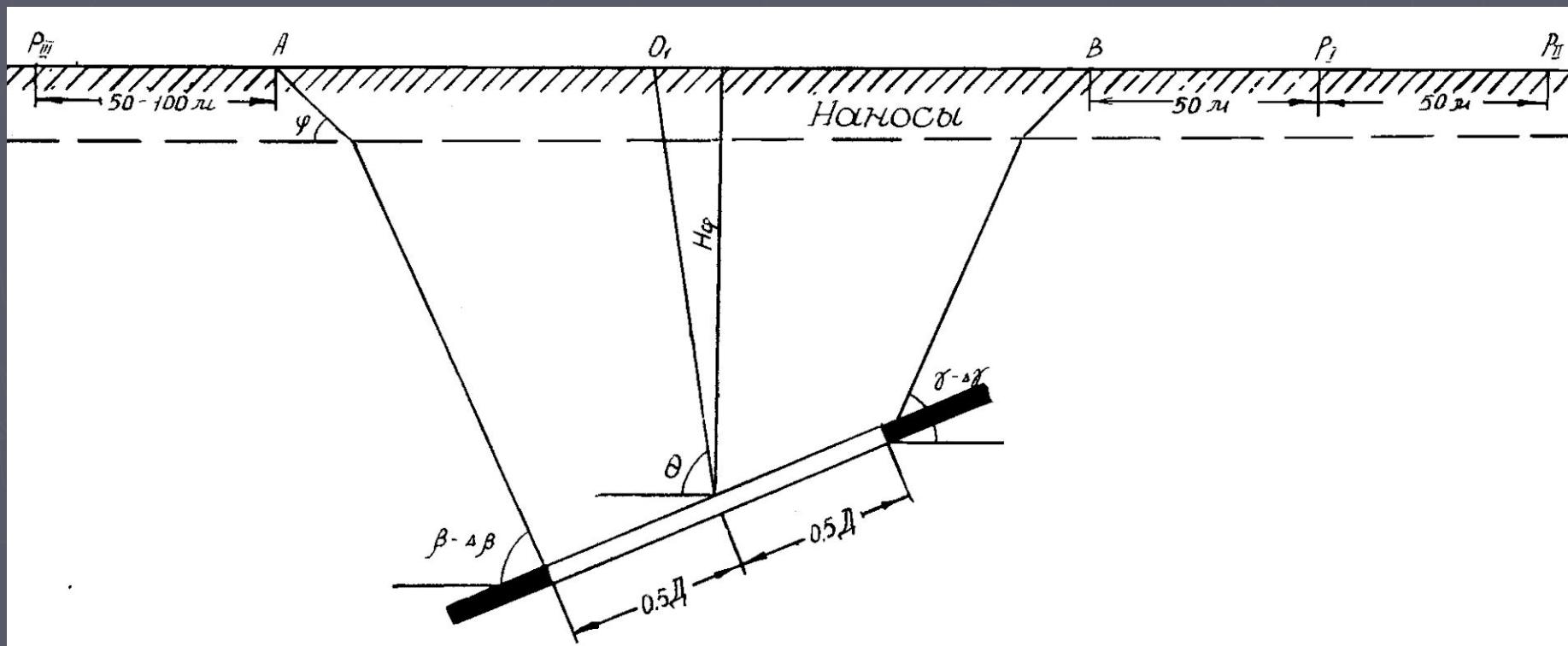


Рис. 6.1



Величины углов сдвижения  $\beta, \gamma, \delta$  и  $\varphi$  принимаются согласно "Правилам охраны..." по данному бассейну или месторождению. Значения  $\Delta\gamma$  и  $\Delta\delta$  принимаются равными  $20^\circ$ . Значения определяются по табл.6.1 в зависимости от угла падения пласта  $\alpha$ .

Таблица 6.1

$\alpha$	$0^\circ$	$10^\circ$	$20^\circ$	$30^\circ$	$40^\circ$	$50^\circ$	$60^\circ$	$70^\circ$	$80^\circ$
$\Delta\beta$	$18^\circ$	$17^\circ$	$15^\circ$	$13^\circ$	$12^\circ$	$11^\circ$	$9^\circ$	$7^\circ$	$6^\circ$

Положение профильной линии, закладываемой по простиранию пласта, определяется относительно верхней и нижней границ очистной выработки. Для этого на разрезе вкрест простирания пласта из середины очистной выработки проводится линия под углом  $\theta$  к горизонту до пересечения с земной поверхностью (точка  $O_1$ ). Профильная линия по простиранию должна проходить через точку  $O_1$ .

Величина угла  $\theta$  для различных бассейнов определяют по эмпирическим формулам. На основании натурных наблюдений для Карагандинского бассейна его величина может быть определена по табл.6.2 в зависимости от угла падения пласта.

Таблица 6.2

$\alpha$	0°	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°	55°	60°
$\theta$	90°	89°	88°	86°	84°	82°	79°	75°	68°	60°	60°	52°	44°

Длина профильной линии по простиранию и местоположение профильных линий вкrest простирания определяются на разрезе по простиранию (рисунок 6.2).

# Определение длины профильной линии по простираанию пласта

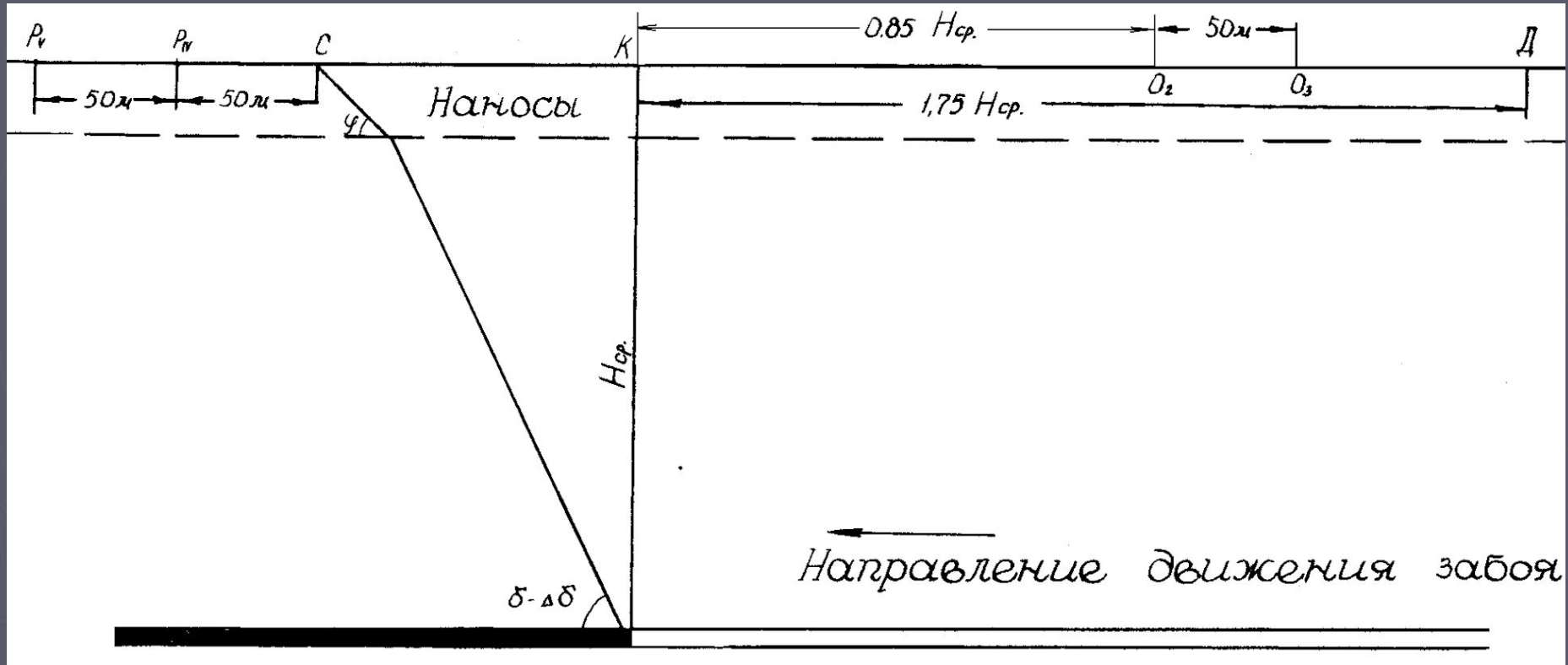


Рисунок 6.2

Для этого из точки предполагаемой остановки забоя (предохранительный целик значительных размеров, граница шахтного поля и т.п.) или от разрезной печи проводится линия в коренных породах под углом  $\varphi$  и далее, в наносах, под углом  $\delta-\Delta\delta$  до выхода на земную поверхность (точка С). Затем место предполагаемой остановки забоя проектируют на земную поверхность (точка К) и то неё в сторону очистной выработки откладывают отрезок  $KD=1,75 H_{ср}$ . Рабочая часть профильной линии определится отрезком СД.

Ближайшая к неотработанной части пласта профильная линия вкрест простирания закладывается на расстоянии не менее  $0,85 H_{ср}$  от разрезной печи или места остановки забоя (рис.6.2, точка  $O_2$ ). Расстояние от первой профильной линии до второй принимается равным 50м (точка  $O_3$ ).

Расстояние между рабочими реперами определяются в зависимости от глубины разработки по табл.6.3.

Таблица 6.3

Глубина разработки $H_{\text{ср}}$ , м	Расстояние между рабочими реперами, м
до 50	5
50-100	10
100-200	15
200-300	20
300-400	25
400 и более	30

## Определение длины профильной линии кратковременной наблюдательной станции

Кратковременная наблюдательная станция закладывается на участке земной поверхности или вблизи участка, величины сдвижений и деформаций которого необходимо получить в короткий срок. Обычно она состоит из одной профильной линии, расположенной по простиранию пласта.

На участке закладки станции забой очистной выработки должен быть удалён от разрезной печи на расстояние не менее  $D=1,4 H_{cp}$ , где  $H_{cp}$  - средняя глубина разработки.

На разрезе вкрест простирания положение профильной линии определяется, как и в предыдущем случае, углом максимального оседания .

На разрезе по простиранию (рисунок 6.3) от местоположения забоя очистной выработки к началу наблюдений проводятся линии в сторону выработанного пространства под углом  $40^\circ$ , в наносах - под углом  $\varphi$ . Точки А и В являются границами зоны сдвижения при заданном положении забоя очистной выработки.

# Определение длины профильной линии на кратковременной станции

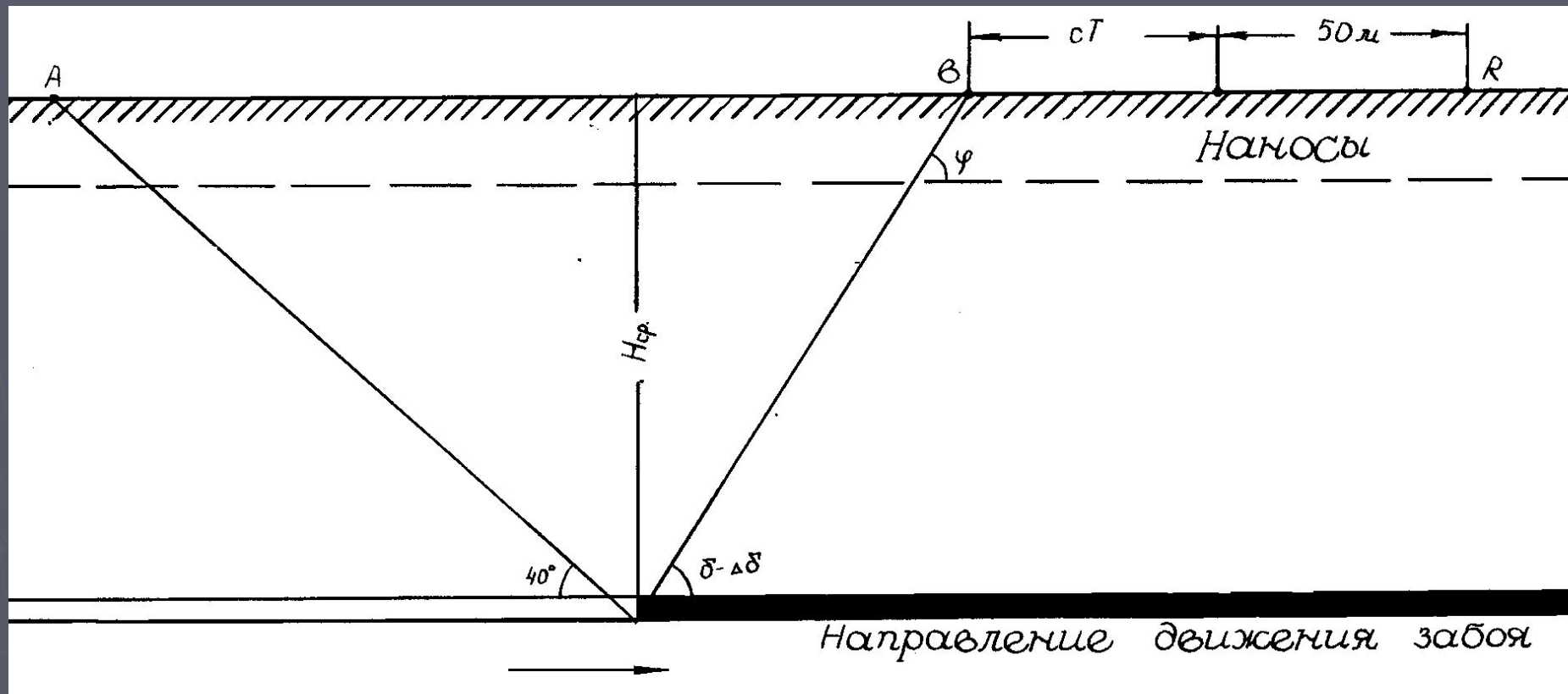


Рисунок 6.3

От точки  $b$  в сторону подвигания забоя откладывают отрезок

$$BV = cT,$$

где  $c$  - средняя скорость подвигания забоя, м/сут;

$T$  - предполагаемый период всех наблюдений на станции, сут.

В точке  $B$  закладывается крайний рабочий репер профильной линии. Второй крайний репер закладывается под выработанным пространством в точке  $A$ . Опорный репер  $R$  закладывают впереди движущегося забоя на расстоянии не менее 50м от точки  $B$ .



The background features a circular grid pattern, resembling a map or a technical drawing, with a pushpin pinned to it. The grid consists of concentric circles and radial lines, creating a mesh-like structure. The pushpin is positioned near the top center of the grid.

## 6.3 Закладка наблюдательных станций

На каждой профильной линии закладываются опорные и рабочие реперы. В дальнейшем измерения на наблюдательной станции производятся от опорных реперов.

Одновременно с закладкой наблюдательной станции закладываются исходные реперы, от которых определяется положение опорных реперов по высоте (до начала подработки профильной линии) и контролируется их неподвижность (в период подработки).

Исходные реперы закладываются (в количестве не менее трех) в местах, где обеспечивается их полная неподвижность на срок существования наблюдательной станции. Исходными реперами могут служить пункты маркшейдерско-геодезической сети, расположенные на неподработанной территории.

Разбивка наблюдательной станции производится инструментально. Места закладки реперов на профильных линиях отмечаются колышками; отклонение колышков от отвора допускается не более 5 см.

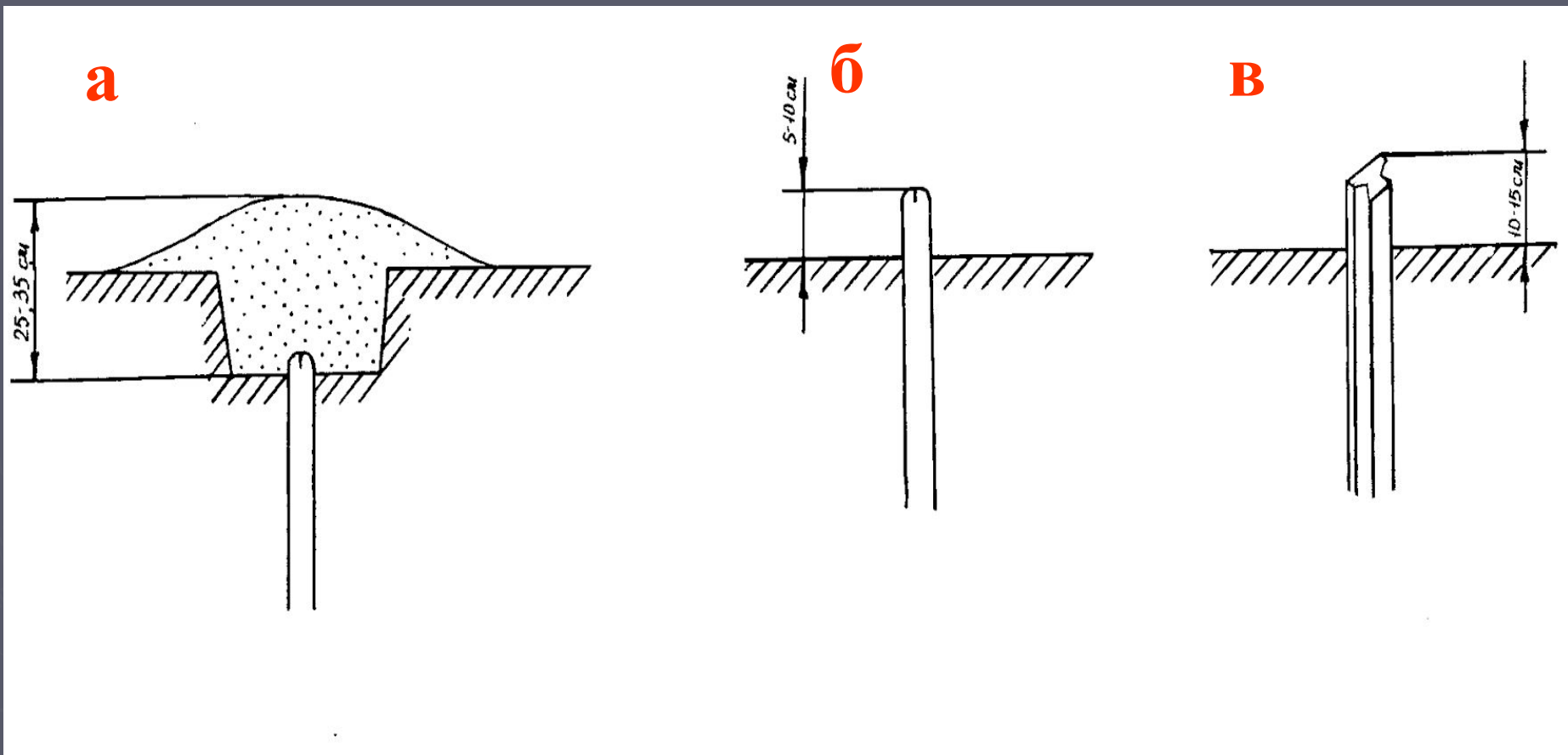
Конструкция реперов и способы их закладки должны обеспечить:

- удобство производства наблюдений;
- прочную связь реперов с грунтом и неподверженность влиянию сезонного промерзания и оттаивания грунта;
- надёжную сохранность на весь период наблюдений;
- простоту конструкции и дешевизну изготовления.

Грунтовые реперы могут изготавливаться из металлических труб диаметром 30-50мм, стержней диаметра 16-30мм, обрезков рельс, деревянных кольев и т.д. Длина реперов устанавливается в зависимости от глубины промерзания почвы. Головки металлических реперов обрабатываются на полусферу, в центре которой высверливаются углубления диаметром 1,0 - 1,5 мм глубиной до 5мм. В деревянные колья вбиваются кованые гвозди со сферическими шляпками, на которые наносятся керн или насечки.

Различают **скрытые** и **открытые реперы** (рисунок 6.4).

# Схема закладки реперов



**а** - скрытые

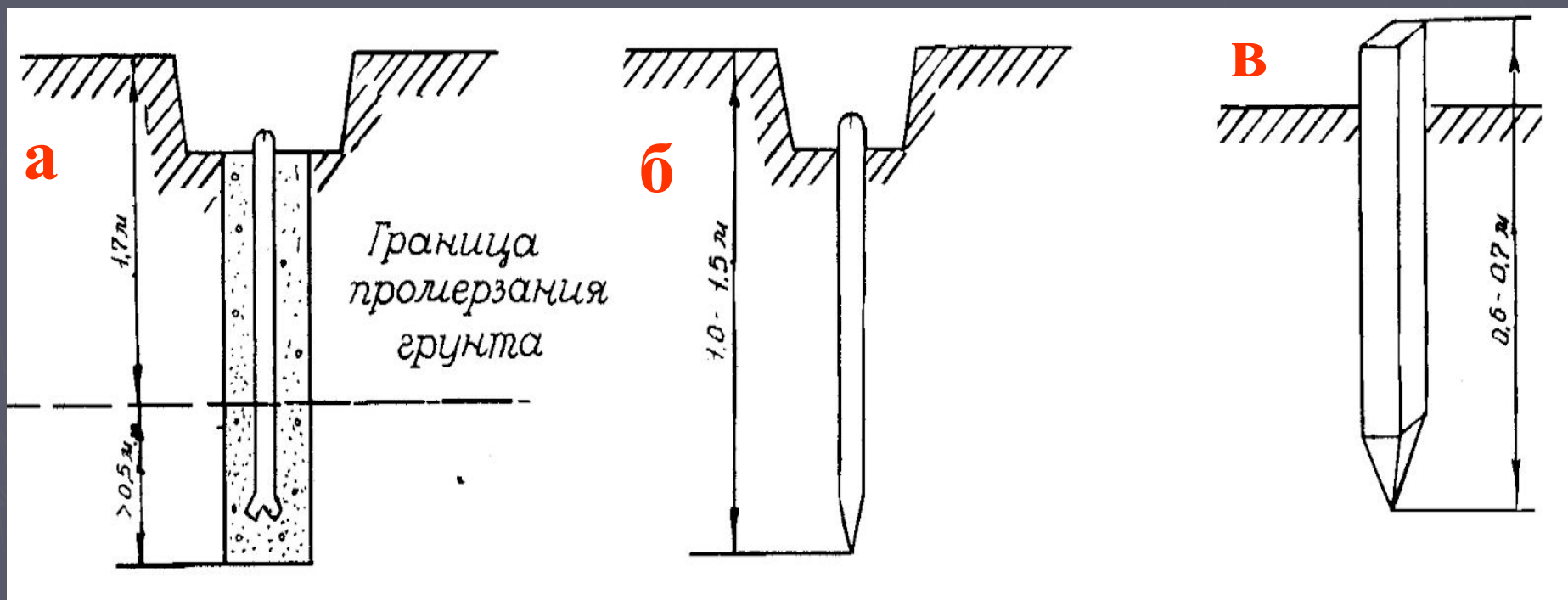
**б, в** - открытые

Рисунок 6.4

По способу закладки реперы бывают бетонированные и забивные. Бетонированные реперы закладываются в скважинах диаметром 100-120мм и в специальных котлованах. Нижняя часть репера должна быть ниже глубины промерзания грунта (рисунок 6.5,а).

На кратковременных наблюдательных станциях применяют забивные металлические и деревянные реперы длиной 0,6-0,7м и более. Разрешается закладка реперов открытого типа (рис.6.4,б, в).

# Схемы закладки бетонированных и забивных реперов



а - бетонированные

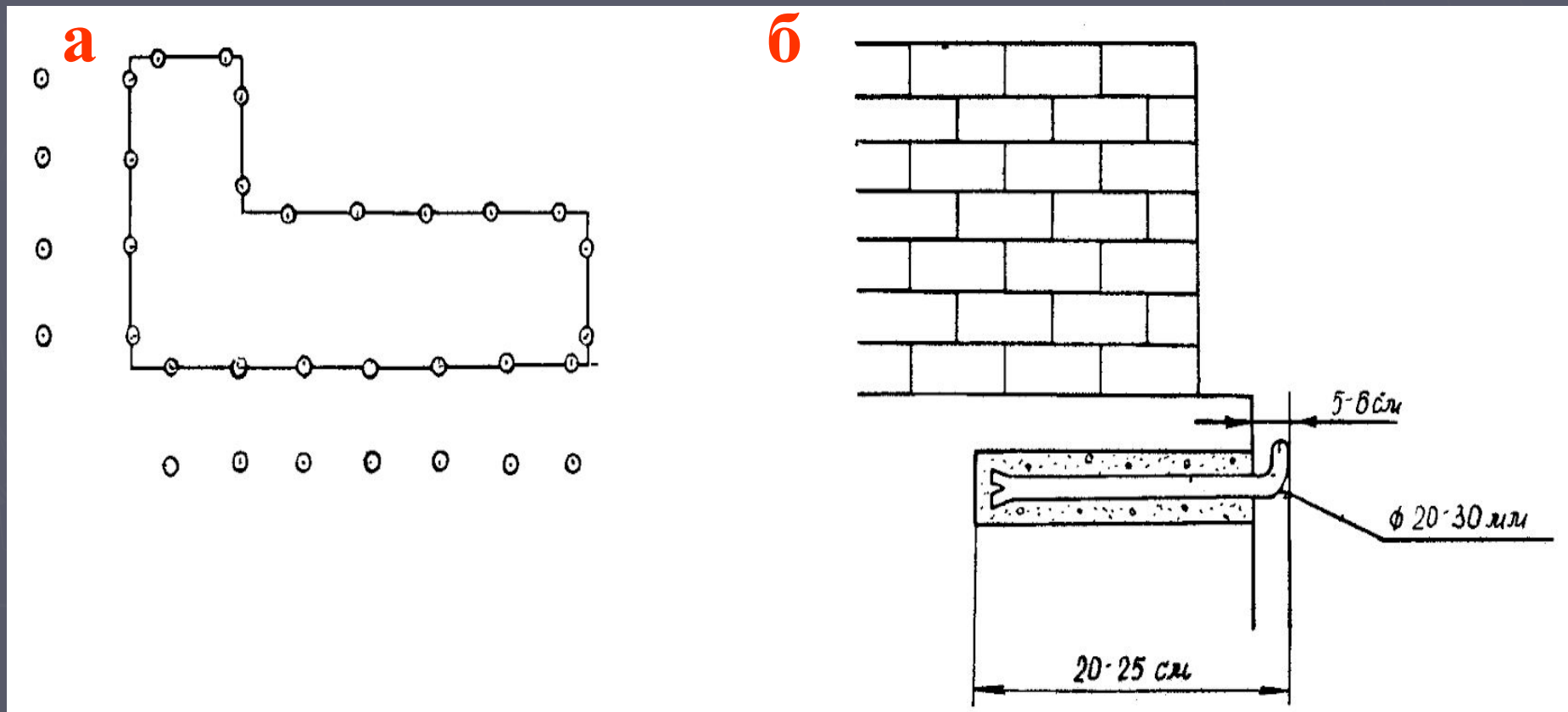
б, в - забивные

Рисунок 6.5

При наблюдениях за подработкой зданий и сооружений наблюдательные станции должны состоять из совокупности грунтовых и стенных реперов (рис.6.6, а).

Стенные реперы закладываются в уровне цоколя по периметру зданий. На каждой стороне здания закладывают не менее трёх реперов. Типовая конструкция и схема закладки стенного репера представлена на рис.6.6, б.

# План наблюдательной станции за подработкой здания и схема стенного репера

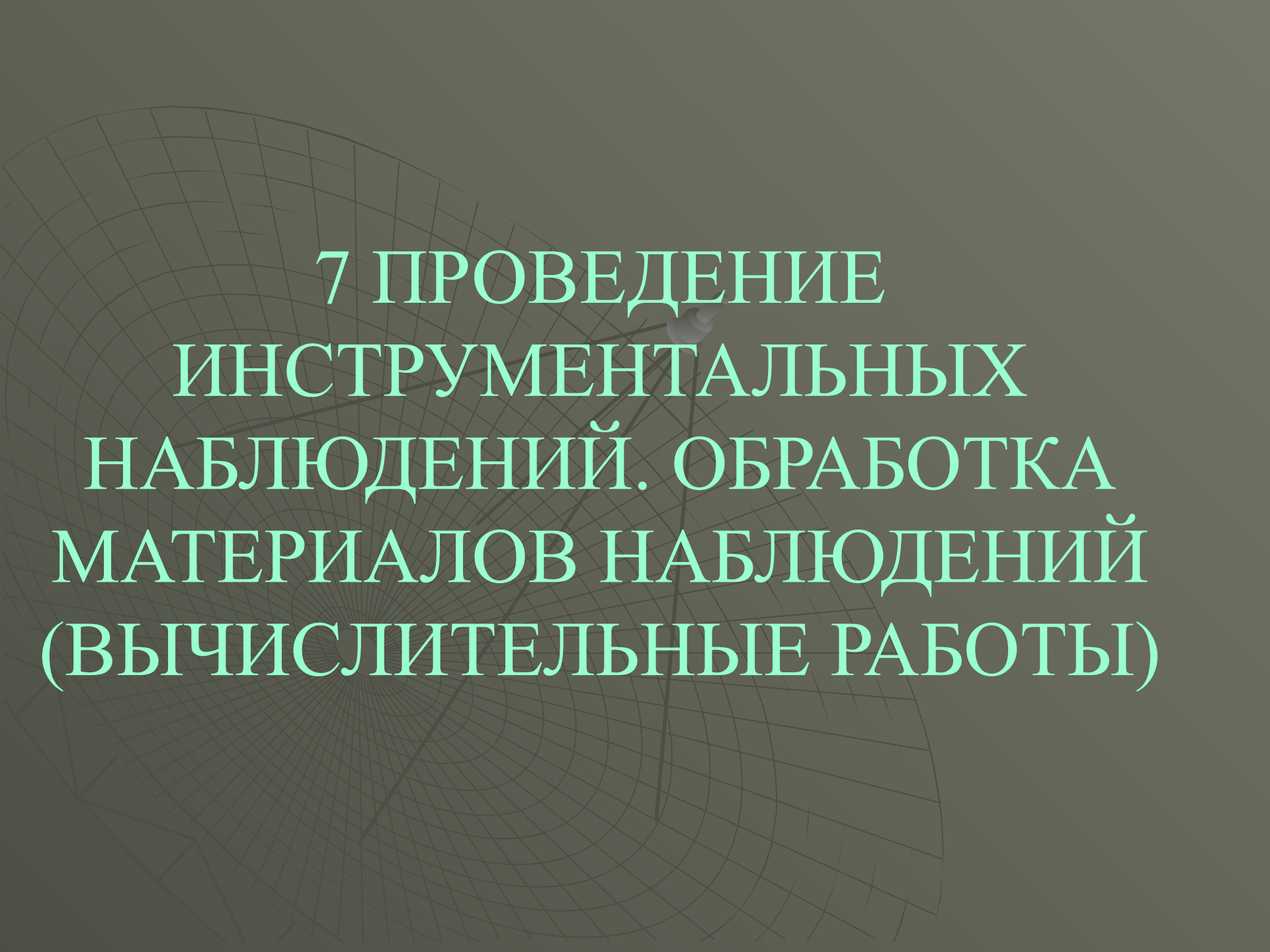


**а** — наблюдательная станция


**б** — схема стенного репера

Рисунок 6.6





7 ПРОВЕДЕНИЕ  
ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ  
НАБЛЮДЕНИЙ. ОБРАБОТКА  
МАТЕРИАЛОВ НАБЛЮДЕНИЙ  
(ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ РАБОТЫ)

The background features a faint, light-colored grid pattern on a dark gray background, resembling a map or technical drawing. A small, light-colored pushpin is pinned to the grid, with its point resting on a line. The text is overlaid on this background.

# 7.1 Привязка профильных линий к пунктам маркшейдерско- геодезической сети

Измерения на наблюдательной станции начинаются через 7 - 10 дней после бетонирования реперов. В первую очередь производится привязка (т.е. определение координат  $x, y, z$ ) опорных реперов к ближайшим пунктам маркшейдерско-геодезической сети.


Плановая привязка опорных реперов осуществляется путём выполнения вставок в существующую сеть, прямых и обратных засечек, либо прокладкой теодолитных ходов точности не менее 1: 2000.

Передача отметок от пунктов государственной нивелирной сети на исходные реперы производится геометрическим нивелированием IV класса, а с исходных на опорные - III класса в прямом и обратном направлениях. Невязка в превышениях между прямым и обратным ходами не должна превышать:

- в первом случае -  $\pm 20$  , мм;

- во втором случае -  $\pm 15\sqrt{L}$  , мм,

где  $L$  - длина хода в одном направлении, км.



## 7.2 Проведение инструментальных наблюдений за сдвижением земной поверхности

После привязки опорных реперов производятся начальные наблюдения в виде полной серии измерений.

Наблюдения за сдвижением земной поверхности и деформациями подрабатываемых сооружений заключается в инструментальном определении перемещения реперов во времени и в пространстве с одновременным фиксированием всех факторов, влияющих на величины и характер сдвижения, а также в замерах деформаций конструкций подрабатываемых сооружений. Сдвижения реперов в вертикальной плоскости определяют с помощью нивелирования, а в горизонтальной плоскости - измерением интервалов между реперами.

## Нивелирование реперов профильных линий

Нивелирование реперов всех наблюдательных станций (кроме специальных) производится замкнутыми ходами в одном направлении (когда с обоих концов профильной линии имеются опорные реперы), либо висячими ходами а прямом и обратном направлениях. Нивелирование выполняется методом из середины: максимальное расстояние до рейки - 50м, неравенство плеч - не более 2-3м.

Отсчеты на промежуточных и связующих точках берутся по средней нити по двум сторонам рейки. Расхождение в превышениях на станции, полученных по черной и красной сторонам рейки (либо при 2 ГИ) не должно быть более  $\pm 3$ мм. Допустимая невязка хода -  $\pm 15 \sqrt{L}$ , м

Определение вертикальных сдвижений стенных и грунтовых реперов при исследовании взаимосвязи деформаций земной поверхности и подрабатываемых сооружений производится нивелированием III класса ( $fh_{доп} = \pm 10 \sqrt{L}$ , мм).

В гористой местности при углах наклона интервалом более  $15^\circ$  применяется тригонометрической нивелирование.

# Измерение длин интервалов между реперами профильных линий

Расстояния между реперами измеряются обычно стальными компарированными рулетками на весу с постоянным натяжением (10 кг) и с измерением температуры на каждом интервале с точностью до  $1^\circ$ .

На каждом интервале отсчёты берут 3 раза с точностью до 1 мм, смещая каждый раз рулетку на 1-2 см.

Вынос центров скрытых реперов производится с помощью шнуровых отвесов ОЖ-3.

Измерение длин интервалов профильной линии производится в двух направлениях - прямом и обратном. Расхождение в длинах одного и того же интервала не должно превышать  $\pm 2$  мм. Расхождение горизонтальных расстояний между крайними реперами профильной линии из прямого и обратного ходов не должно превышать  $1:10000$  длины профильной линии.

Начальное наблюдение состоит из двух серий, промежутки времени между которыми не должен превышать 5 суток.

Сроки последующих наблюдений устанавливаются в каждом конкретном случае в зависимости от поставленных задач. Так, для получения детальных данных о процессе сдвижения, кроме начальных и конечных наблюдений, проводится не менее 4 серий наблюдений через интервал

$$t = \frac{H}{6c}, \text{ сутки,}$$

где  $H$  - глубина разработки у нижней границы выработки, м;

$c$  - скорость подвигания забоя, м/сут.





## 7.3 Вычислительные работы при обработке материалов наблюдений

Обработка результатов наблюдений складывается из вычислений, построений графиков и определения основных параметров процесса сдвижения.

Прежде всего проверяют все вычисления в полевых журналах, чтобы убедиться в правильности средних значений и допустимости возникших невязок. Затем вычисляют координаты  $(x, y, z)$  опорных реперов всех профильных линий.

Результаты геометрического нивелирования обрабатываются обычным способом. Уравнивание замкнутых нивелирных ходов производится упрощенным способом, а при необходимости - способами проф. В.В.Попова или узловых точек.

## Расчет вертикальных сдвижений и деформаций

Для каждого опорного и рабочего репера на каждую дату наблюдений определяются отметки, которые заносятся в ведомость вычисления оседаний реперов.

### Профильная линия I-I

№ реперов	1-е набл. 1.IX.84г	2-е набл. 15.IX.84г	Оседание , мм (1) - (2)	3-е набл. 30.IX.84 г	Оседание, мм	
					(2) - (3)	(1) - (3)
	532.190	532.190	0	532.190	0	0
1	531.895	531.890	5	531.870	20	25
2	531.816	531.802	14	531.768	34	48
3	531.842	531.807	35	531.720	87	122

Оседания вычисляются по формуле

$$\eta = z_1 - z_i,$$

где  $z_1$  - отметка репера на начальную серию наблюдений;

$z_i$  - отметка того же репера на  $i$ -ю серию наблюдений

Скорость оседания определяется как отношение величины оседания между двумя сериями наблюдений к промежутку времени между ними:

$$v = \frac{\eta_i}{\Delta t_i}.$$

Рассчитанные величины оседаний заносятся в ведомость вычисления вертикальных деформаций наклонов и кривизны ( $i, K, R$ ).

Величины наклонов и кривизны на каждую дату наблюдений рассчитывается по формулам:

$$i = \frac{\eta_n - \eta_{n-1}}{l} = \frac{\Delta\eta}{l},$$

где  $\eta_n, \eta_{n-1}$  - оседания концов интервала, мм;  
 $l$  - длина интервала, м;

$$K = \frac{i_n - i_{n-1}}{l'_{cp}} = \frac{\Delta i}{l'_{cp}}$$

где  $i_n, i_{n-1}$  - наклоны смежных интервалов,  $1 \cdot 10^{-3}$ ;  
 $l'_{cp}$  - средняя длина интервалов, м.

Радиус кривизны  $R = \frac{1}{k}$ , км.

# Профильная линия I-I

№ реперов	Гориз. дли на интервала, м	(2) - (1) наблюдения 15.IX.84 - 01.IX.84г.					
		Оседа ния $\eta$ , мм	Разность оседаний, $\eta_n - \eta_{n-1}$ , мм	Наклон ы $i$ , $1 \cdot 10^{-3}$	Разность наклонов $\Delta i$ , $1 \cdot 10^{-3}$	Кривизна $11 \cdot 10^{-3}$ м <sup>-1</sup> , К	Радиус кривизны $R$ , км
1		5					
	10,12		+9	+0,9			
2		14			+1,2	+0,12	8,3
	10,05		+21	+2,1			
3		35			+0,8	+0,08	12,5
	10,10		+29	+2,9			
4		64					

## Расчёт горизонтальных сдвижений и деформаций

Для определения горизонтальных расстояний между реперами на каждую дату наблюдений в измеренные длины интервалов вводят следующие поправки:

- а) за компарирование  $\Delta l_k$  - в соответствии с паспортом компарирования;
- б) за температуру

$$\Delta l_t = \alpha l_{изм.} (t_{изм.} - t_o),$$

где  $\alpha$  - коэффициент линейного расширения стали, =0,0000115;

$t_{изм}$  - температура измерений;

$t_o$  - температура компарирования;

$l_{изм}$  - измеренная длина интервала;

в) за наклон

$$\Delta l_n = -\left(\frac{h^2}{2l_{изм.}} + \frac{h^4}{8l_{изм.}^3} + \dots\right)$$

где  $h$  - превышения между концами интервала,

$$l = l_{изм.} + \Sigma \Delta l = l_{изм.} + \Delta l_r + \Delta l_t + \Delta l_n$$

При определении превышений  
тригонометрическим нивелированием

$$l = l' \cos \delta$$

где  $l'$  - наклонная длина с поправками на  
компарирование и температуру;

$\delta$  - измеренный угол наклона.



Горизонтальные сдвигения реперов  
определяются по формуле

$$\xi = D_i - D_1$$

где  $D_1$  - расстояние от опорного репера до  
данного на начальную дату наблюдений;  
 $D_i$  - то же, на рассматриваемую  $i$ -ую  
дату наблюдений.

# Профильная линия I-I

№ р е п е р о в	1-е наблюдение 01.IX.84г.		2-е наблюден. 15.IX.84г.		Горизонтальное сдвигение $\xi = D_2 - D_1$ , мм	3-е наблюден. 30.IX.84г.		$\xi$ , мм
	Длина ин тер вал а $l_1$ , м	Расстояние до опорно го репера $D_1$ , м	$L_2$ , м	$D_2$ , м		$L_3$ , м	$D_3$ , м	
Rp I		0		0	0		0	0
	50.002		50.002			50.002		
1		50.002		50.002	0		50.002	0
	10.121		10.125			10.131		
2		60.123		60.127	+5		60.133	+10
	10.052		10.065			10.078		
3		70.175		70.192	+17		70.211	+38

## Профильная линия I-I

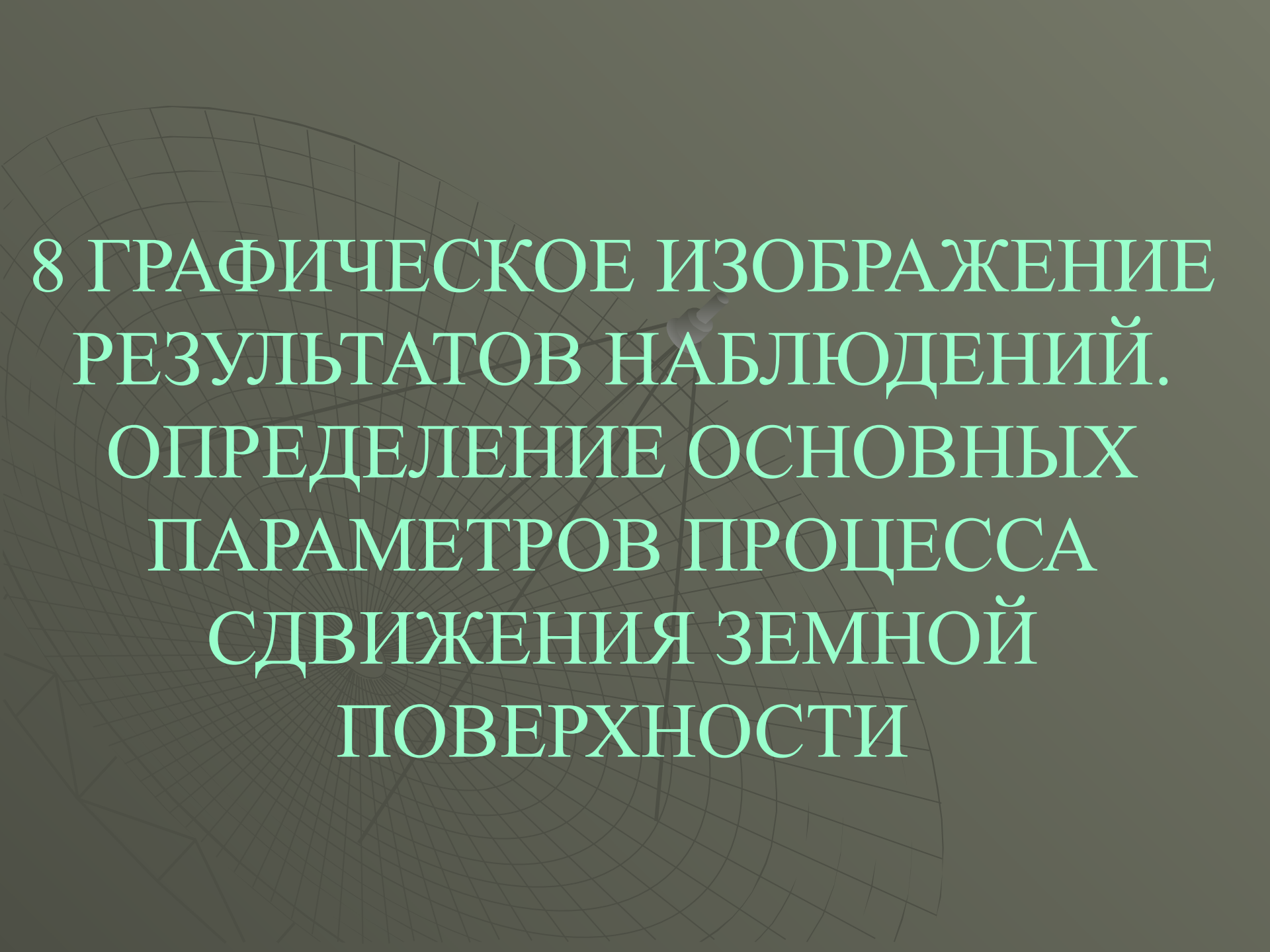
Интервалы	1-е набл. 01.IX. .84Г $l_1, \text{ м}$	2-е набл. 15.IX. 84Г $l_2, \text{ м}$	$\Delta l = l_2 - l_1$ , мм	ε, $1 \cdot 10^{-3}$	3-е набл. 30-09-8 4Г $l_3, \text{ м}$	$\Delta l = l_3 - l_1$ , мм	ε, $1 \cdot 10^{-3}$
1-2	10.121	10.125	+4	+0.4	10.131	+10	+1.1
2-3	10.052	10.065	+13	+1.3	10.078	+26	+2.6
3-4	10.098	10.118	+20	+2.0	10.141	+43	+4.3

Относительные горизонтальные деформации

$$\varepsilon = \frac{l_i - l_1}{l_1},$$

где  $l_1$  - длина интервала на первоначальное наблюдение;  
 $l_i$  - то же, на последующее  $i$ -ое наблюдение.

Полученные результаты наблюдений изображают на специальных графиках.



8 ГРАФИЧЕСКОЕ ИЗОБРАЖЕНИЕ  
РЕЗУЛЬТАТОВ НАБЛЮДЕНИЙ.  
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ  
ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА  
СДВИЖЕНИЯ ЗЕМНОЙ  
ПОВЕРХНОСТИ



# 8.1 Графическое изображение результатов наблюдений

Изображение результатов наблюдений складывается из составления следующих чертежей:

1. Плана наблюдательной станции в масштабе 1:1000 или 1:2000 с изображением на нём рельефа земной поверхности, профильных линий и сооружений, видимых трещин и провалов, контуров горных выработок;
2. Вертикальных разрезов по каждой профильной линии в масштабе 1:1000 или 1:2000 с изображением на них профиля земной поверхности, реперов, геологического строения толщи пород, мощности и угла падения пластов. В этом же разрезе строится кривая оседаний. Выше разрезов строятся кривые сдвижений и деформаций земной поверхности по профильным линиям (рисунок 8.1).
3. Кривых деформаций наклонов кривизны, горизонтальных сдвижений, относительных горизонтальных деформаций ( $i$ ,  $\xi$ ,  $K$ ,  $\varepsilon$ ).

При построении кривых сдвижений и деформаций следует учитывать их знаки.

Знаки (+) приписывают величинам:

оседания;

горизонтального сдвижения в сторону восстания и в сторону простирания пласта;

наклонов в сторону восстания и в сторону простирания пласта, т.е. в полумульде по падению и в полумульде по простиранию, расположенной справа относительно направления падения пласта;

кривизны выпуклости (+);

относительных горизонтальных деформаций растяжения (+).

# График сдвижения и деформации земной поверхности

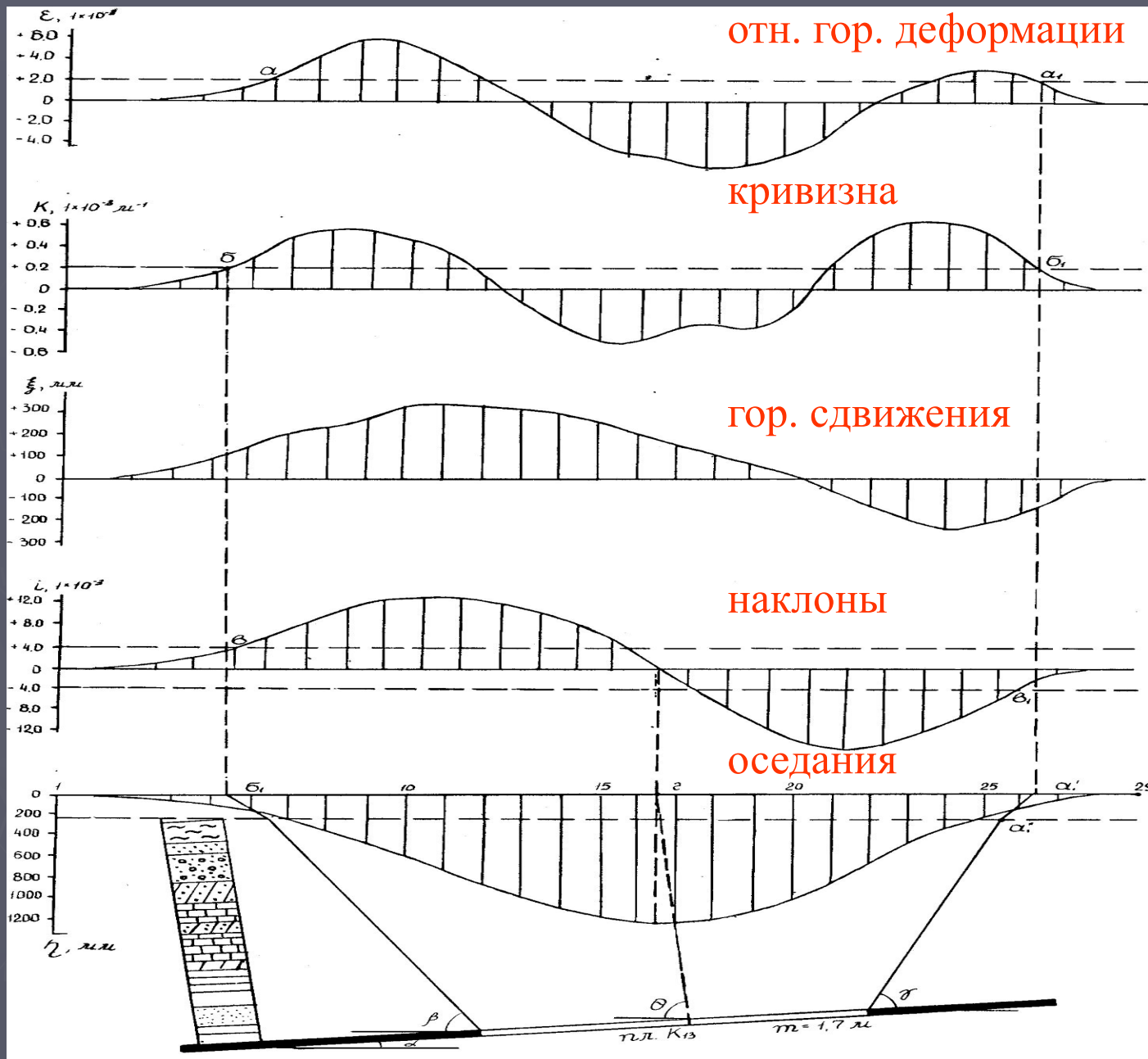


Рисунок 8.1



Все величины сдвижений и деформаций со знаком (+), кроме величин оседаний, при построении графиков откладываются от горизонтальной линии вверх.

Величины оседаний и остальные величины сдвижений и деформаций со знаком (-) откладываются вниз от горизонтальных линии.

Значение наклонов и относительных горизонтальных деформаций при построении откладывают в середине соответствующих интервалов, а значения оседаний, горизонтальных сдвижений и кривизны - у соответствующих реперов.

4. Графики оседаний и скоростей оседаний отдельных реперов.

The background features a dark gray grid pattern on a circular, slightly curved surface. A small, light-colored pushpin is pinned to the grid, positioned near the top center of the text area. The grid lines are thin and light gray, creating a technical or scientific appearance.

## 8.2 Определение основных параметров процесса сдвижения земной поверхности

На основе результатов инструментальных наблюдений определяются следующие основные параметры процесса сдвижения земной поверхности:

- 1) углы сдвижений
- 2) граничные углы
- 3) углы максимального оседания
- 4) углы полных сдвижений
- 5) максимальное значение сдвижений и деформаций
- 6) продолжительность процесса сдвижений и его отдельных стадий и т.д.

## Определение углов сдвига и граничных углов

**Углы сдвига** определяются на вертикальных разрезах по профильным линиям с использованием графиков деформаций наклонов, кривизны и относительных горизонтальных деформаций. Для определения граничных точек пользуются значениями предельно допустимых деформаций для зданий и сооружений, принимаемых равными: - наклоны - 0,004; - кривизна - 0,0002 м<sup>-1</sup>;  
- относительные горизонтальные деформации растяжения - 0,002.

Для определения углов сдвига принимают точки б и а (рисунок 8.1), лежащие ближе к краю мульды сдвига. Найденные точки проектируются на профиль земной поверхности (точки б, а). Из этих точек проводят линию под углами сдвига в наносах до пересечения контакта наносов с коренными породами (точки б'', а''). Эти точки соединяются прямыми соответственно с нижней и верхней границами очистной выработки. Внешние, относительно выработанного пространства, углы, заключённые между горизонтальной линией и проведенными линиями, и будут углами сдвига и . Подобным образом находят и значения угла сдвига  $\delta$  .

Определение граничных углов производится аналогично определению углов сдвига, с той разницей, что линии в наносах под углом проводятся от крайних относительно выработанного пространства точек, соответствующих следующим критическим значениям сдвижений и деформаций земной поверхности:  $\eta = 15$  мм;  $\iota = 0,0005$ ;  $\varepsilon_p = 0,0005$ .

В ряде случаев обнаруживается большое несоответствие между значениями граничного угла, получаемыми по отдельным критическим сдвигениям и деформациям земной поверхности в мульде сдвига. Образование таких мульд объясняется вторичными явлениями, вызванными сдвижением горных пород (дренирование горных пород, изменения мерзлотного режима и т. д.). В таких случаях граничные углы целесообразно определять по критическим значениям наклонов и горизонтальных деформаций растяжения.

Для определения углов разрывов на вертикальных разрезах вкост простирания и по простиранию пласта границу очистной выработки соединяют с ближайшей к границе мульды сдвига трещиной на земной поверхности.

## Определение угла максимального оседания и углов полных сдвижений

**Угол максимального оседания** определяется (рисунок 8.1) как угол наклона (в сторону падения пласта) прямой, соединяющей середину выработанного пространства на вертикальном разрезе с точкой, занимающей среднее положение между максимального оседания и точкой нулевых наклонов в центре мульды сдвижения (точка в).

**Углы полных сдвижений** определяются как углы между плоскостью пласта и линией, соединяющей границы очистной выработки с границами плоского дна мульды сдвижения. Граничные точки плоского дна мульды сдвижения принимаются как среднее из определяемых по кривым оседаний, горизонтальных сдвижений, наклонов и относительных горизонтальных деформаций (рисунок 8.2). При значительном разбросе указанных точек предпочтение следует отдавать точкам, на основе кривых оседаний.

## Определение общей продолжительности процесса сдвижения и его отдельных стадий

Продолжительность процесса сдвижения и период опасных деформаций определяется на основе графиков оседания и скорости оседания отдельных реперов (рисунок 8.3).

**Общая продолжительность процесса** сдвижения земной поверхности находится как разность моментов начала и окончания процесса сдвижения.

За начало процесса сдвижения принимается дата, когда оседание репера достигло 15 мм. Для ее установления на графике оседания репера во времени (рис.8.3,а) проводят горизонтальную линию, соответствующего оседания 15мм.

# К определению углов полных сдвижений

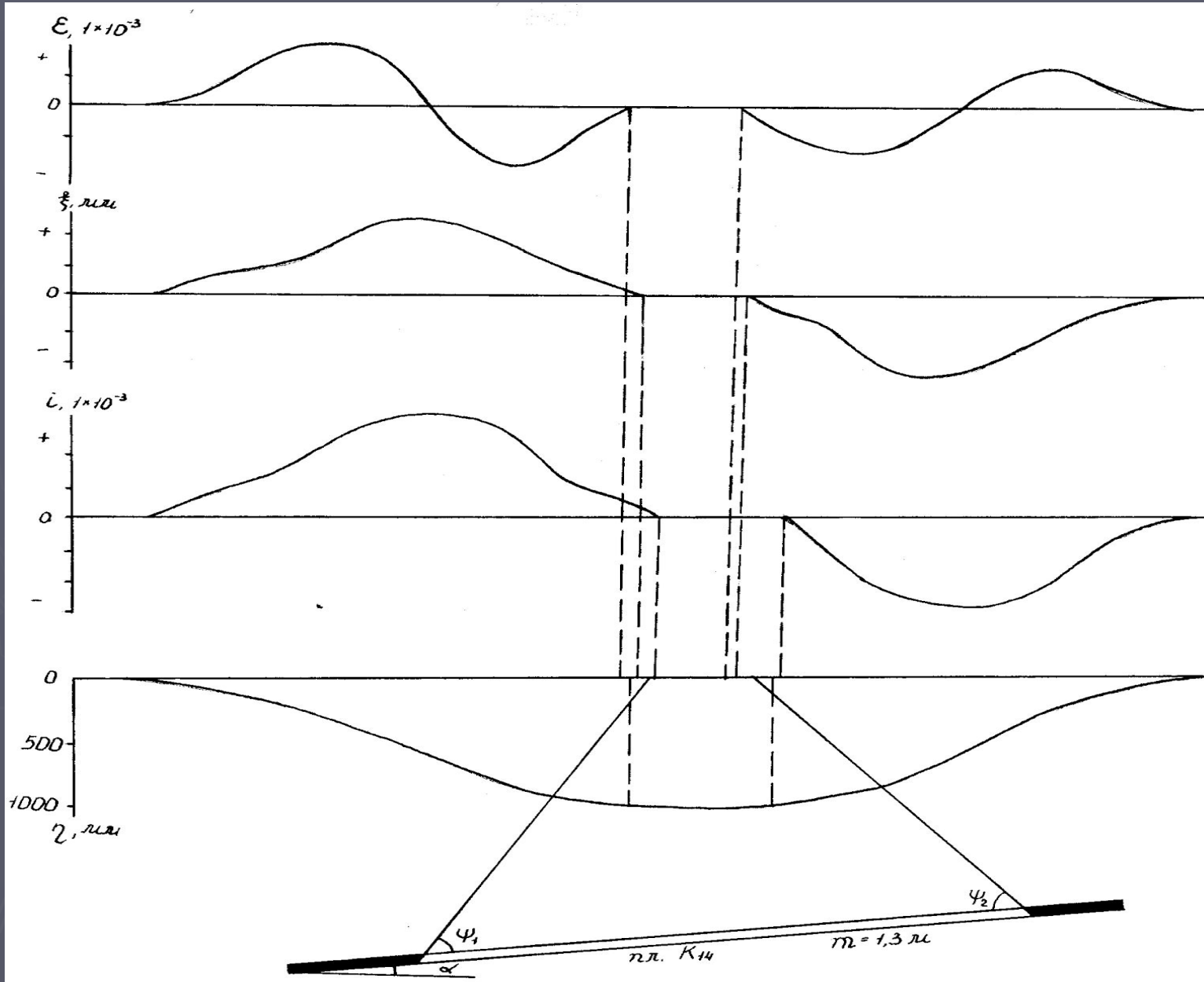


Рисунок 8.2



# К определению продолжительности процесса сдвижения и его отдельных стадий

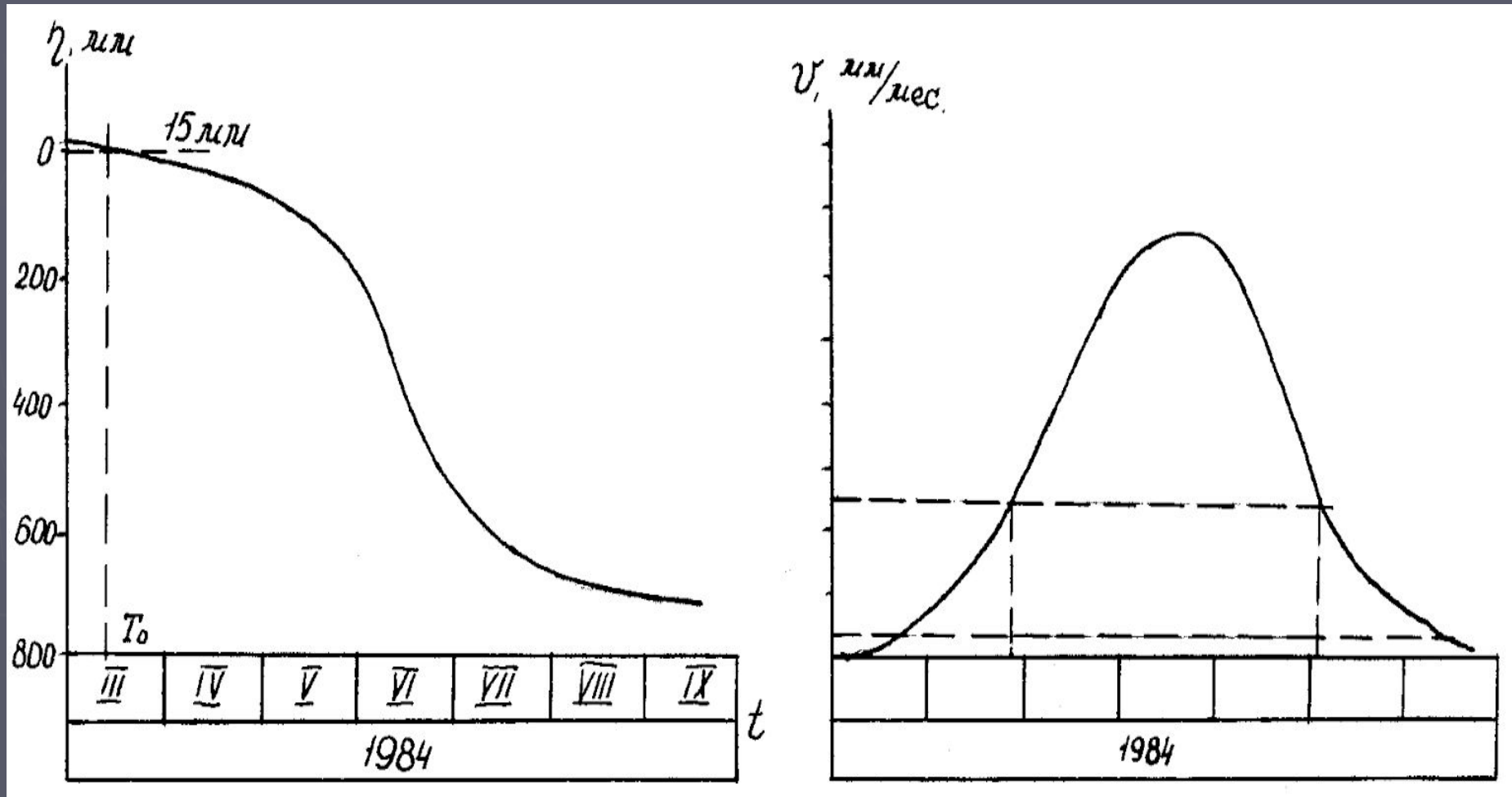


Рисунок 8.3

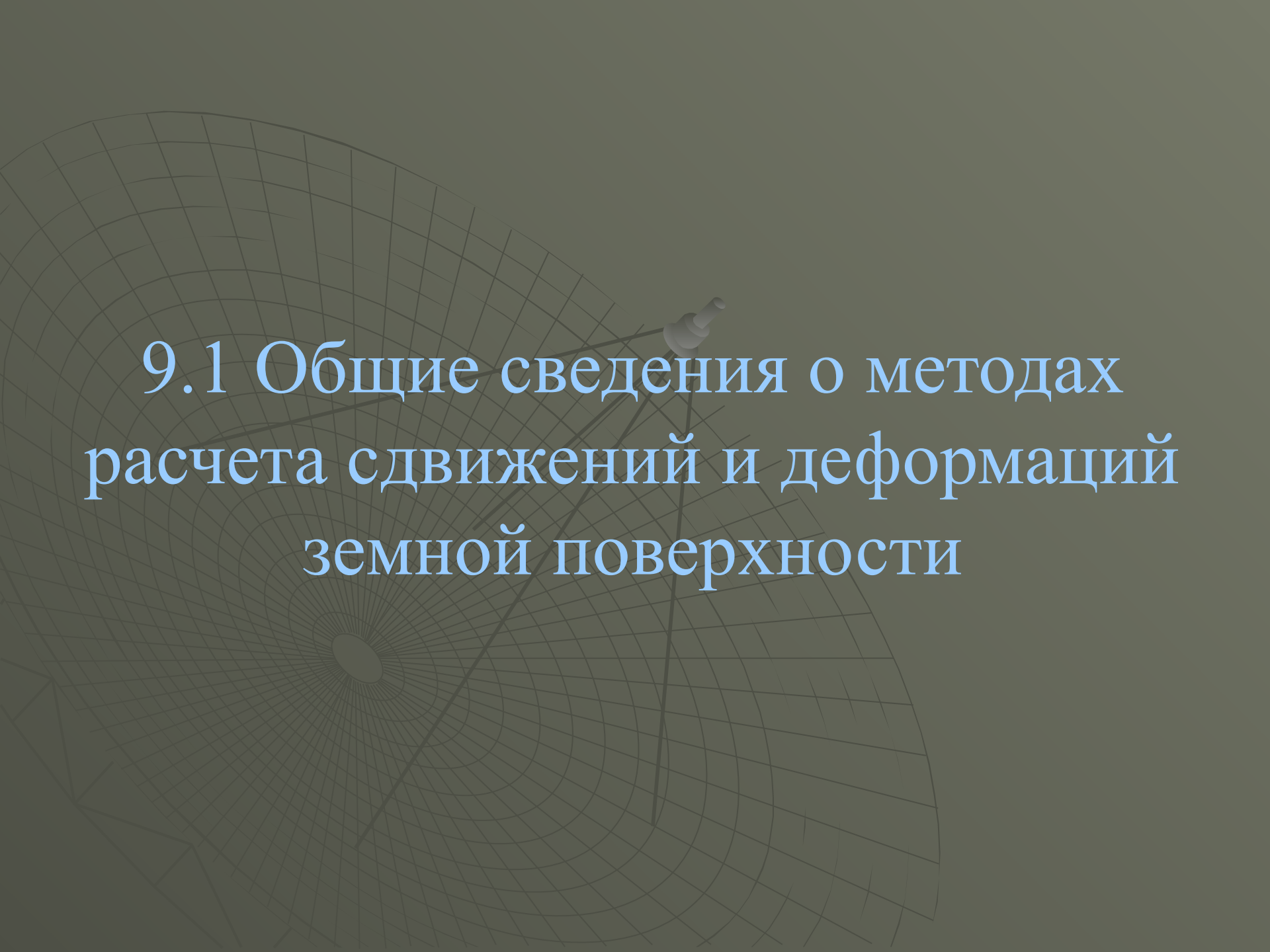
Точкой пересечения этой линии с кривой оседаний соответствует дате начала процесса сдвижения 0.

За окончание процесса сдвижения принимается дата, после которой средняя за 6 месяцев скорость оседания не превышала 5мм/мес. для этого на графике скорости оседания параллельно оси проводится (рис.8.3,б) линия, соответствующая скорости оседания 5мм/мес. Точка пересечения этой прямой с правой ветвью графика скорости оседания соответствует дате окончания процесса сдвижения к. Тогда общая продолжительность процесса сдвижения определится как  $T = T_k - 0$ .

Продолжительность активной стадии процесса сдвижения определяется как период, в течении которого скорость оседания составляла не менее 50мм/мес. при пологом и наклонном залегании пласта и не менее 30мм/мес. при крутом залегании. Для этого на графике оседания репера проводится (рис.8.3,б) линия, параллельная оси, соответствующая скорости оседания 50мм/мес. (либо 30мм/мес. - для крутого залегания пласта). Период времени, заключенный между точками пересечения этой прямой с графиком скорости оседания (точки в, г) и будет периодом опасных деформаций земной поверхности.

The background features a dark gray sphere with a white grid of latitude and longitude lines. A hand holding a pen is positioned on the right side, with the pen tip pointing towards the center of the sphere. The text is overlaid on this graphic.

# 9 МЕТОДЫ РАСЧЕТА СДВИЖЕНИЙ И ДЕФОРМАЦИЙ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ



# 9.1 Общие сведения о методах расчета сдвижений и деформаций земной поверхности

Расчет ожидаемых величин сдвижений и деформаций земной поверхности широко применяется в практике для решения следующих задач:

- 1) установление степени возможных повреждений сооружений, намеченных к подработке;
- 2) установление возможности отработки угольных пластов под эксплуатируемыми сооружениями и природными объектами;
- 3) назначение конструктивных и горных мер защиты подрабатываемых объектов и определения ориентировочных затрат на после осадочный ремонт;
- 4) обоснование возможности строительства зданий и сооружений на угленосных площадях.

Основоположником создания методов расчета сдвижений и деформаций земной поверхности в условиях угольных бассейнов СССР является профессор С.Г. Авершин. Предложенные отечественными авторами методы расчетов деформации земной поверхности при подземной разработке угольных пластов можно разделить на две группы:

1. Теоретические методы, полученные путем теоретических и аналитических исследований с учетом основных положений механики сплошной среды математических аналогий. Данные методы расчетов в настоящее время находятся в стадии разработки и совершенствования и не нашли еще широкого применения в практике.

2. Эмпирические методы, основанные на выявленных по данным инструментальных наблюдений закономерностях процесса сдвижения толщи пород и земной поверхности.

В настоящее время в практике нашли применение следующие случаи расчета сдвижений и деформаций земной поверхности с использованием эмпирических методов:

1. Расчет ожидаемых сдвижений и деформаций земной поверхности в любой точке мульды сдвижений при выемке одного или свиты пластов (метод типовых кривых);
2. Упрощённый способ расчета, позволяющий рассчитать вероятные величины сдвижений и деформаций земной поверхности при отсутствии календарных планов отработки пластов. "Правилами охраны.." рекомендуется производить при отсутствии календарных планов отработки пластов.

"Правилами охраны..." рекомендуется производить расчет сдвижений и деформаций земной поверхности для следующих условий:

- 1) кратность подработки  $\frac{H}{m} \approx 20$  при углах падения пластов  $\alpha \approx 55^\circ$  а при  $\alpha \approx 55^\circ$  - за пределами зон провалов и трещин;
- 2) управление кровлей - полное обрушение или закладка выработанного пространства;
- 3) закончившийся процесс сдвижения.

Недостатком эмпирических способов расчёта является то, что их применение требует знания исходных параметров, определяемых по данным натуральных наблюдений в соответствующем угольном бассейне и различных его районах. Эмпирические способы не являются строгими, поэтому точность расчётных данных не всегда отвечает требованиям, вытекающим из характера решаемых задач.





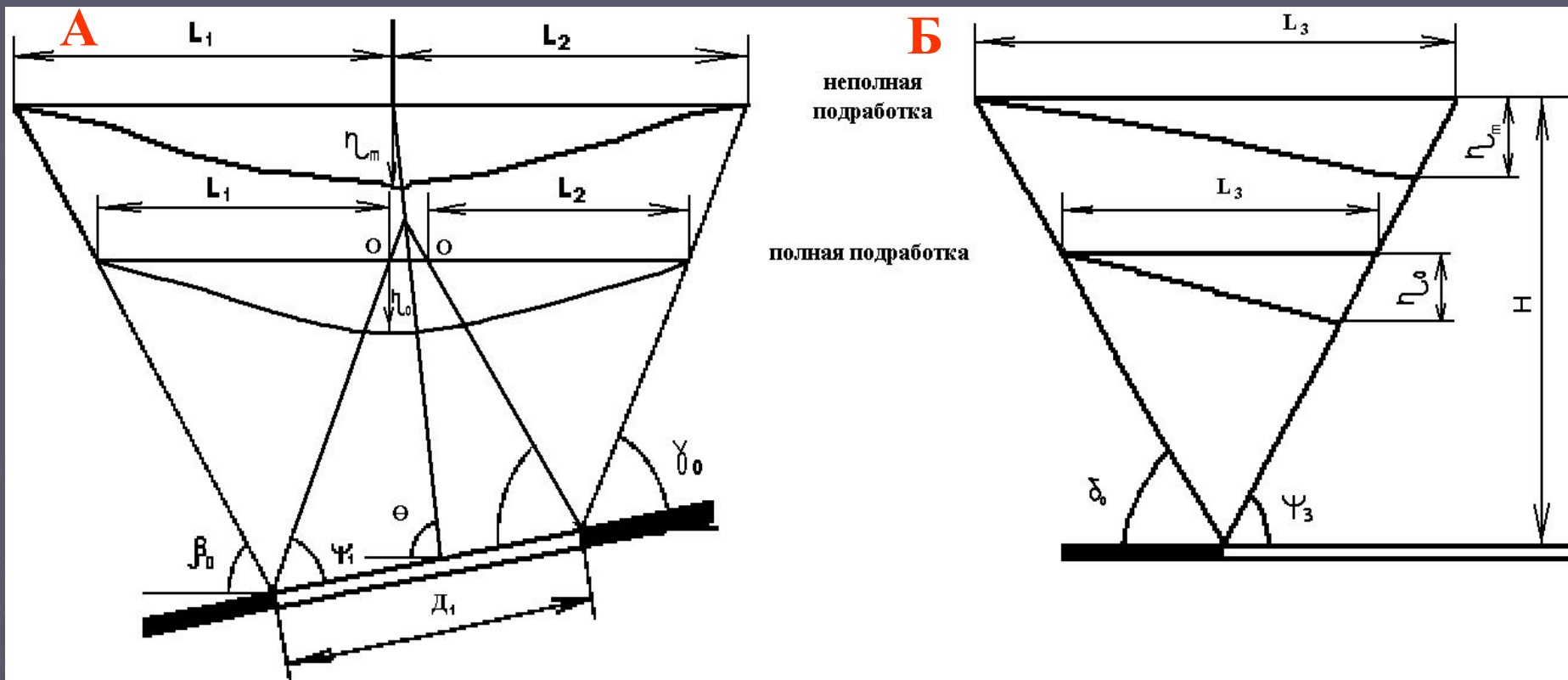
## 9.2 Исходные параметра для расчета сдвижений и деформаций земной поверхности

К параметрам процесса сдвижения земной поверхности, используемым при расчётах ожидаемых сдвижений и деформации земной поверхности относятся:

- 1) граничные углы  $\beta_0, \gamma_0, \delta_0$ ;
- 2) угол максимального оседания  $\theta$ ;
- 3) углы полных сдвижений  $\psi_1, \psi_2, \psi_3$ ;
- 4) относительные величины сдвижений и .

Схема исходных параметров, необходимых для расчёта сдвижений и деформации земной поверхности, представлена на рисунке 9.1.

# Схема исходных параметров расчёта сдвижения и деформации земной поверхности:

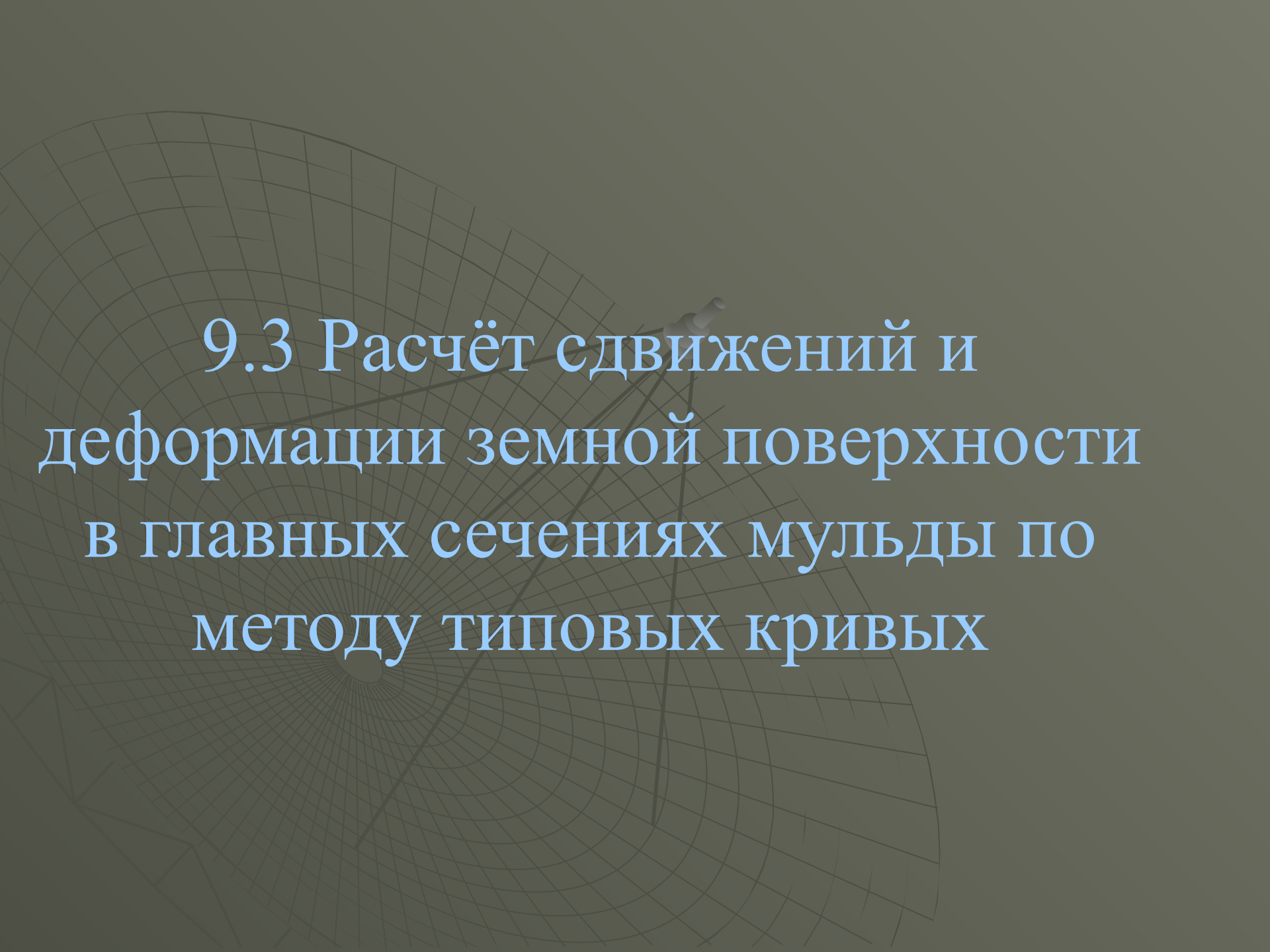


А – разрез вкрест простирания

Б – разрез по простиранию

Рисунок 9.1

Значения исходных параметров определяются для соответствующих бассейнов и месторождений по "правилам охраны...".



9.3 Расчёт сдвижений и деформации земной поверхности в главных сечениях мульды по методу типовых кривых

## Сущность метода типовых кривых

В настоящее время при расчётах деформаций в главных сечениях мульды сдвижения от одной выработки широкое применение получили так называемый **метод типовых** или **единичных кривых сдвижений**.

Сущность метода состоит в том, что для отдельных бассейнов (месторождений) получают или вычисляют типовые (единичные) кривые оседаний, наклонов, относительных горизонтальных деформаций и кривизны для заданных соотношений размера выработки с глубиной выработки. Типовые кривые сдвижений для различных величин коэффициента подработанности служат эталонами распределения деформаций между точкой максимального оседания и границей мульды (т.е. в мульде). Для этих кривых сдвижений максимальное оседание и длина полумульды принимаются равными единице ( $\eta_m = 1$ ), поэтому их называют единичными кривыми.

Типовые кривые сдвижений могут быть получены либо путём осреднения фактических данных, либо аналитическим путём, используя при этом интерполяционные и теоретические формулы. До сих пор предпочтение отдавалось типовым кривым, полученным путём осреднения фактических данных. Для примера рассмотрим порядок получения типовой кривой распределения оседаний в мульдe по данным натурных наблюдений (рисунок 9.2).

С этой целью для определённых горно-геологических и горно-технических условий по каждой наблюдательной станции строятся графики оседаний для каждой мульды (рисунок 9.2,а). Полумульда разбивается на 10 частей и для каждой точки полумульды с координатой

$$Z = X/L$$

вычисляется значение единичного коэффициента

$$S_{(z)} = \frac{\eta}{\eta_m} \cdot$$

По полученным данным строится безразмерная кривая

$$S_{(z)} = f\left(\frac{z}{L}\right) = \frac{\eta_x}{\eta_m}$$

(рисунок 9.2,б). Усредняя единичные кривые по большому числу полумульд, получают (рисунок 9.2,в) среднюю единичную кривую, которая принимается в качестве типовой кривой распределения оседания в мульде для определённых условий данного месторождения.

Аналогичным способом получают типовые кривые распределения и остальных сдвижений и деформаций в мульде. Для практического использования принято задавать типовые кривые в табличном виде.

# Получение типовой кривой распределения оседаний в мульде сдвижения

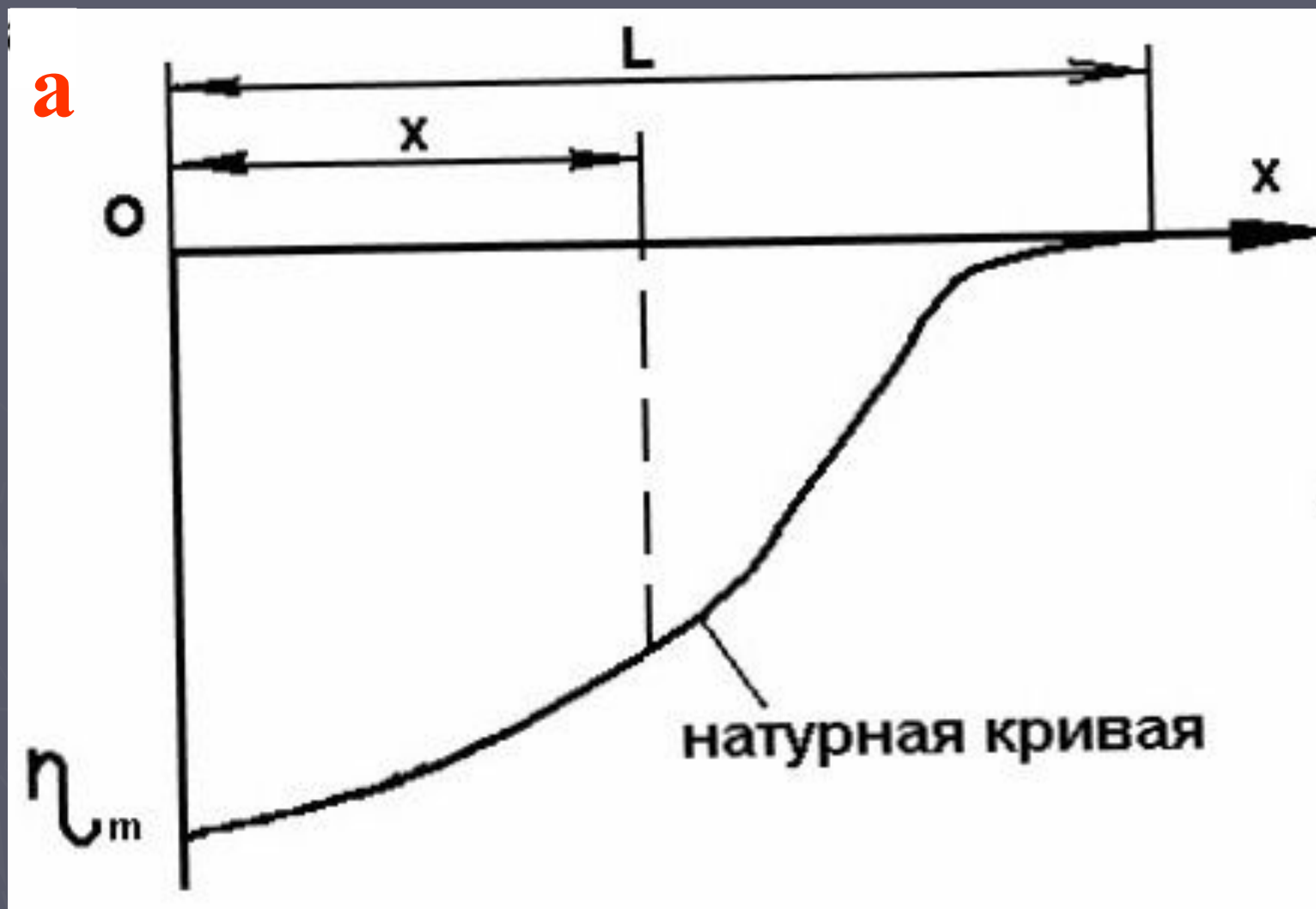


Рисунок 9.2 а



# Получение типовой кривой распределения оседаний в мульде сдвижения

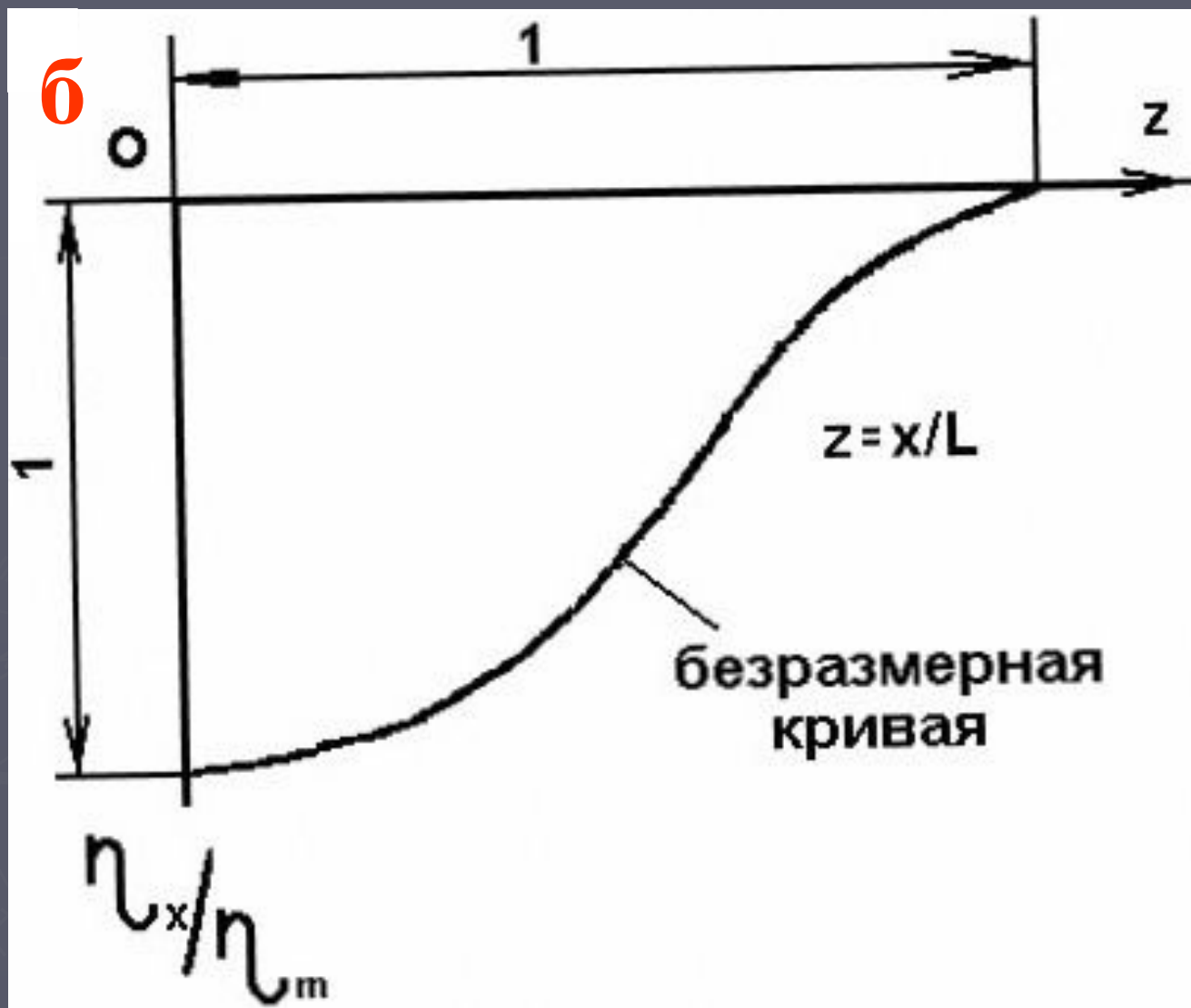


Рисунок 9.2 б

# Получение типовой кривой распределения оседаний в мульде сдвижения

**В**

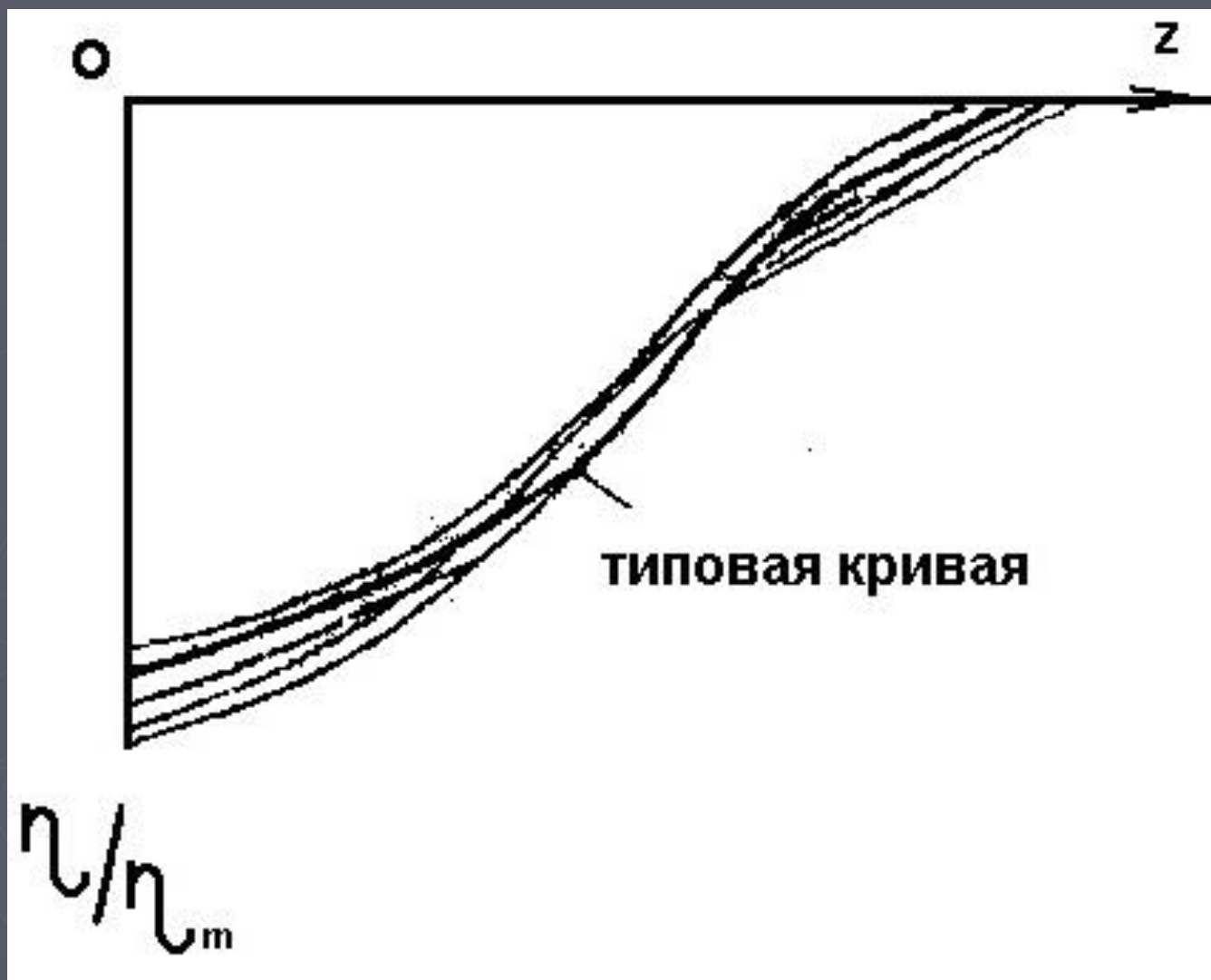


Рисунок 9.2 в

## Определение величины максимального оседания

Наиболее важное значение при расчётах имеет определение величины максимального оседания, так как по ней рассчитывают величины сдвижений и деформаций в мульде.

Согласно "Правилам охраны..." величина максимального оседания для всех угольных месторождений определяется по формуле

$$\eta_{\max} = q_0 m \cos \alpha N_1 N_2,$$

где  $q_0$  - относительная величина максимального оседания;

$m$  - вынимаемая мощность пласта (при закладке выработанного пространства - эффективная мощность);

$\alpha$  - угол падения пласта;

$N_1, N_2$  - коэффициенты, учитывающие степень подработанности толщи.

Для типовых условий Карагандинского бассейна: для необработанной ранее толщи -  $q_0 = 0,75$  ; для подработанной толщи -  $q_0 = 0,85$  . Коэффициенты  $N_1$  и  $N_2$  определяются в зависимости от отношения размера выработки соответственно вкрест простирания ( $D_1$ ) и по простиранию ( $D_2$ ) пласта к средней глубины разработки ( $H$ ) по таблице 9.1.

Таблица 9.1

$\frac{D}{H}$	$\geq 1,4$	1,2	1,0	0,90	0,80	0,70	0,60	0,50	0,40	0,30
$N_1,$ $N_2$	1,00	0,96	0,90	0,86	0,81	0,75	0,66	0,51	0,30	0,15



Расчёт выполняется в следующем порядке:

1. Пользуясь планом горных работ, в выбранном масштабе (1:1000, 1:2000) строят вертикальные разрезы по главным сечениям мульды по направлению вкрест простирания и по простиранию пластов.

Проведя графическое построение на основе исходных данных, по разрезам устанавливают:

а) граничные точки сдвижения мульды на поверхности;

б) местоположение точек  $\eta_m / \eta_0$ ;

в) вид подработки (полная, неполная);

г) длины полумульд:  $L_1$  - по падению;  $L_2$  - в сторону восстания;  $L_3$  - по простиранию пласта.



5. На основе величины максимального оседания  $\eta_m$  и размеров полумульд производится расчёт сдвижений и деформаций земной поверхности в точках, кратных  $0, 1L$ .

Расчёт ведётся отдельно для каждой полумульды.

Вычисления ведутся по следующим формулам.

Оседания земной поверхности в точках главных сечений мульды сдвижения определяются из выражения:

$$\eta_{(x,y)} = \eta_m S_{(z)} ,$$

где  $S_{(z)}$  - функция типовой кривой оседания, принимаемая в зависимости от коэффициентов  $N_1$  и  $N_2$ ;

$$z_x = \frac{x}{L_3}$$

сечении по простиранию пласта;



$z_{y_1} = \frac{y_1}{L_1}$  - для точек в полумульде по падению пласта;

$z_{y_2} = \frac{y_2}{L_2}$  - для точек в полумульде по восстанию пласта;

$x, y_1, y_2$  - расстояния от точки максимального оседания до рассматриваемой точки соответственно в полумульдах по простиранию, падению и восстанию.

Наклоны в главных сечениях мульды определяются:

в полумульде по простиранию  $i_x = \frac{\eta_m}{L_3} F(z_x)$ ;

в полумульде по падению  $i_{y_1} = \frac{\eta_m}{L_1} F(z_{y_1})$ ;

в полумульде по восстанию  $i_{y_2} = \frac{\eta_m}{L_2} F(z_{y_2})$ .

Кривизна в главных сечениях мульды  
определяются:

в полумульде по простиранию  $K_x = \frac{\eta_m}{L_3^2} F'(z_x) ;$

в полумульде по падению  $K_{y_1} = \frac{\eta_m}{L_1^2} F'(z_{y_1}) ;$

в полумульде по восстанию  $K_{y_2} = \frac{\eta_m}{L_2^2} F'(z_{y_2}) .$

Значение типовых коэффициентов  $F(z)$  и  $F'(z)$   
определяются в зависимости от коэффициентов  $N_1$  и  
 $N_2$  при  $B=0$ . При неполной подработке ( $N_1 < 1$ )  
кривизна в точке максимального оседания  
определяется по средней длине полумульды  
 $L_{cp} = 0,5(L_1 + L_2)$ .

Горизонтальные сдвигения точек в главных сечениях мульды определяются:

в полумульде по простиранию  $\varepsilon_x = 0,5a_0 \frac{\eta_m}{L_3} F'(z_x);$

в полумульде по падению  $\varepsilon_{y_1} = 0,5a_0 \frac{\eta_m}{L_1} F'(z_{y_1});$

в полумульде по восстанию  $\varepsilon_{y_2} = 0,5a_0 \frac{\eta_m}{L_2} F'(z_{y_2}).$

Значения типовых коэффициентов  $F(z_x)$  и  $F'(z_x)$  определяются в зависимости от коэффициента  $N_2$  при  $B=0$ , а  $F(z_x)$  и  $F'(z_x)$  - зависимости от коэффициента  $N_1$  и коэффициента  $B$ , определяемого по формуле:

$$B = \frac{1}{a_0} \left( \operatorname{tg} \alpha - \frac{h - h_m}{H_{cp.}} \right) \geq 0 ,$$

где  $a_0$  - относительная величина максимального горизонтального сдвижения (для карагандинского бассейна  $a_0=0,3$ );

$\alpha$  - угол падения пласта;

$h$  - мощность наносов;

$h_m$  - мощность горизонтально залегающих ( $\alpha \leq 5^\circ$ ) мезозойских отложений;

$H_{cp}$  - средняя глубина разработки.



Рассчитанные величины сдвижений и деформаций земной поверхности от выемки каждой лавы заносятся в **таблице 9.5**.

**Таблица 9.5**

Пласт, лава															
z=x/ L	полумульда по восстанию					полумульда по падению					полумульда по простиранию				
	$\eta$ , м м	$i$ , 1*1 0 <sup>-3</sup>	K, 1*1 0 <sup>-3</sup> м <sup>-1</sup>	$\xi$ , м м	$\varepsilon$ , 1*1 0 <sup>-3</sup>	$\eta$ , м м	$i$ , 1*1 0 <sup>-3</sup>	K, 1*1 0 <sup>-3</sup> м <sup>-1</sup>	$\xi$ , м м	$\varepsilon$ , 1*1 0 <sup>-3</sup>	$\eta$ , м м	$i$ , 1*1 0 <sup>-3</sup>	K, 1*1 0 <sup>-3</sup> м <sup>-1</sup>	$\xi$ , м м	$\varepsilon$ , 1*1 0 <sup>-3</sup>
0															
0,1															
0,2															
...															
1,0															

6. По полученным данным в выработанном масштабе последовательно (снизу вверх) строятся графики оседаний, наклонов, кривизны, горизонтальных сдвижений и относительных горизонтальных деформаций.

Все графики сдвижений и деформаций помещаются над вертикальным разрезом, на котором указывается стратиграфическая колонка, границы мульды, точки максимального оседания, расчётные точки полумульды, кратные 0.1L. Пример построения графиков на [рисунок 9.3](#).

Масштабы графиков выбираются в зависимости от величины сдвижений и деформаций. положительные величины сдвижений и деформаций (кроме оседаний) откладываются вверх, а оседания и отрицательные величины вниз от исходной горизонтальной линией графика.

При наличии нескольких влияющих выработок расчёт сдвижений и деформаций и построение графиков осуществляется для каждой выработки отдельно. Суммарные графики сдвижений и деформаций земной поверхности строятся алгебраическим суммированием (с учётом знаков) одномерных кривых.

# Графики ожидаемых сдвижений и деформаций земной поверхности

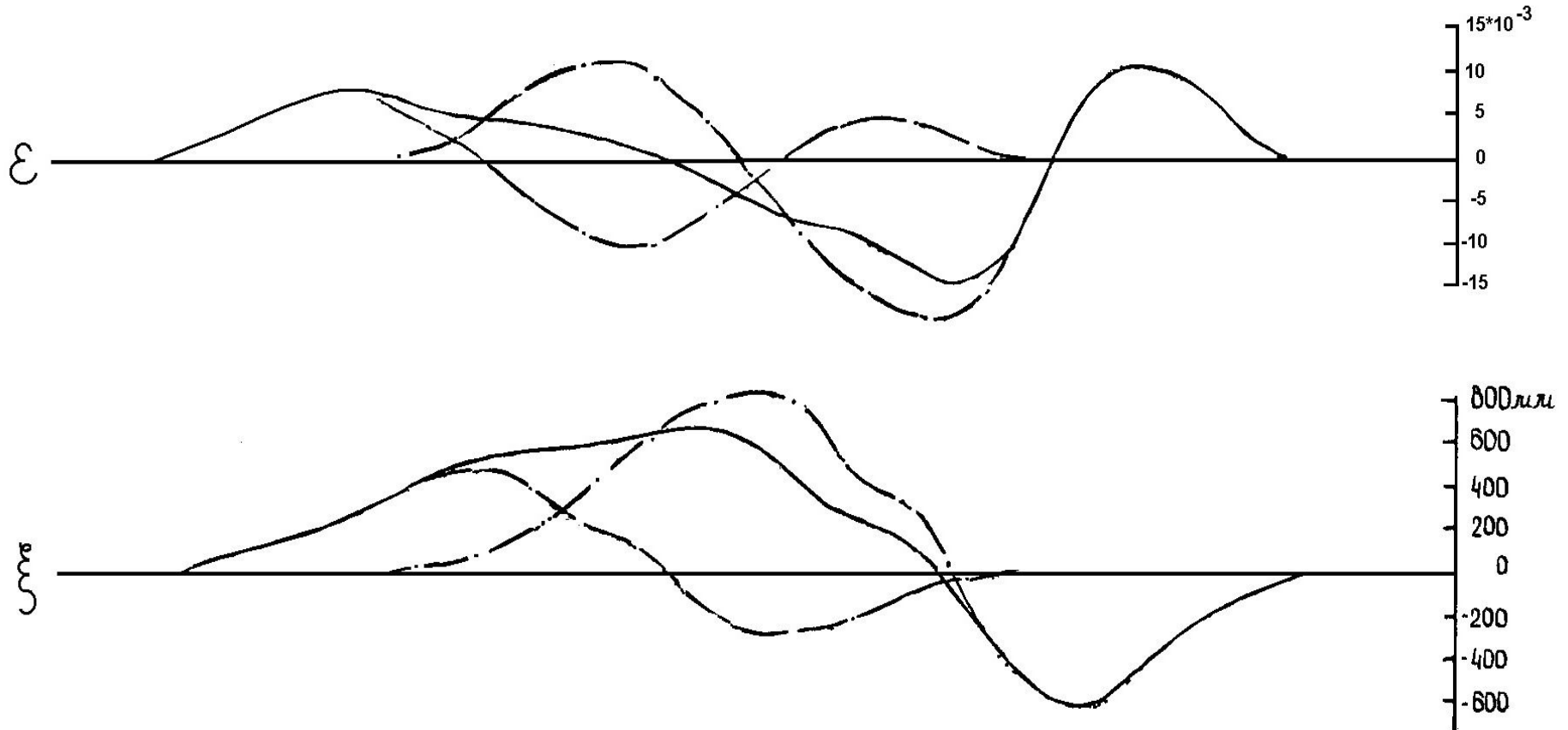


рисунок 9.3 а,б



# Графики ожидаемых сдвижений и деформаций земной поверхности

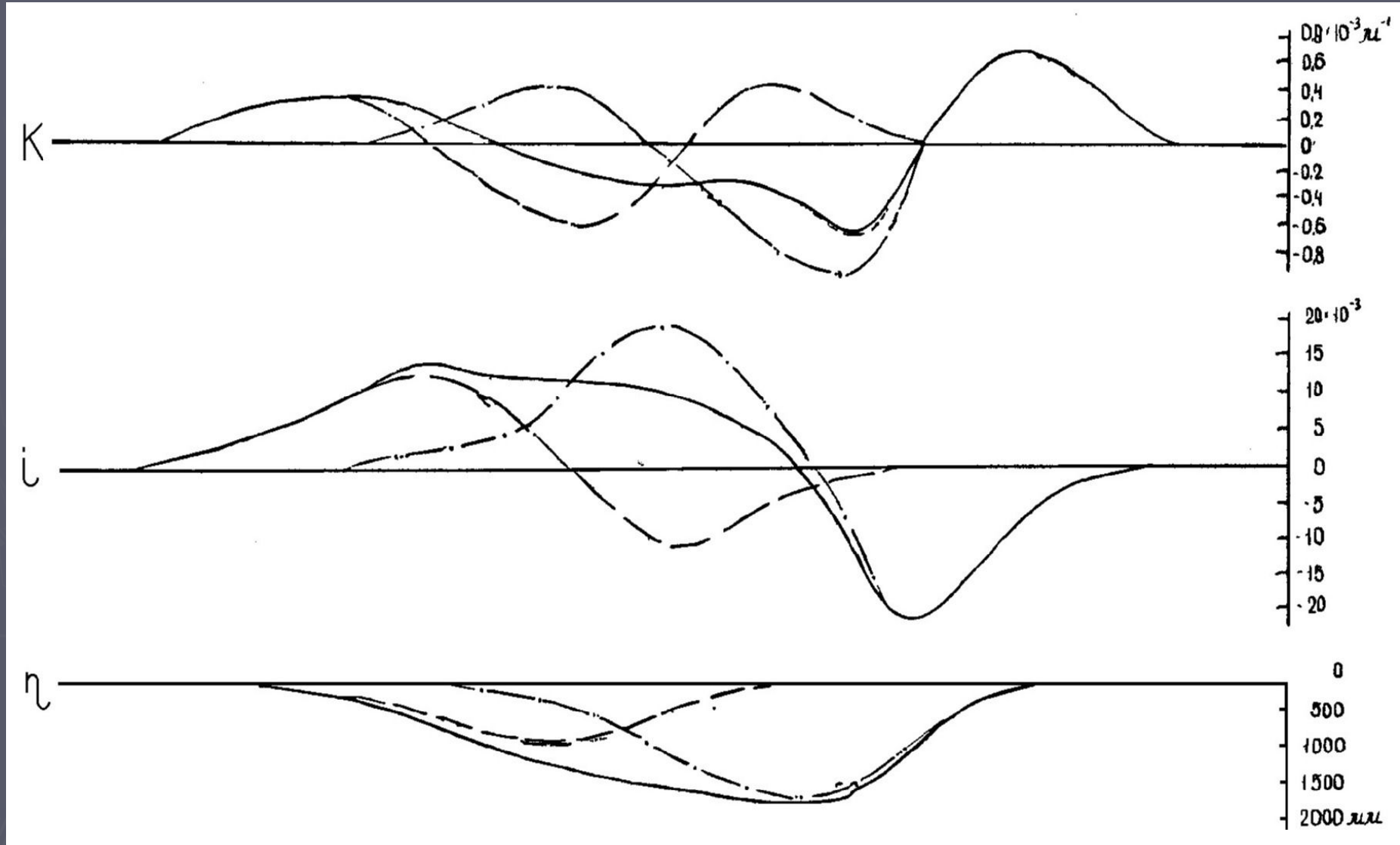


рисунок 9.3 в,г,д

# Графики ожидаемых сдвижений и деформаций земной поверхности

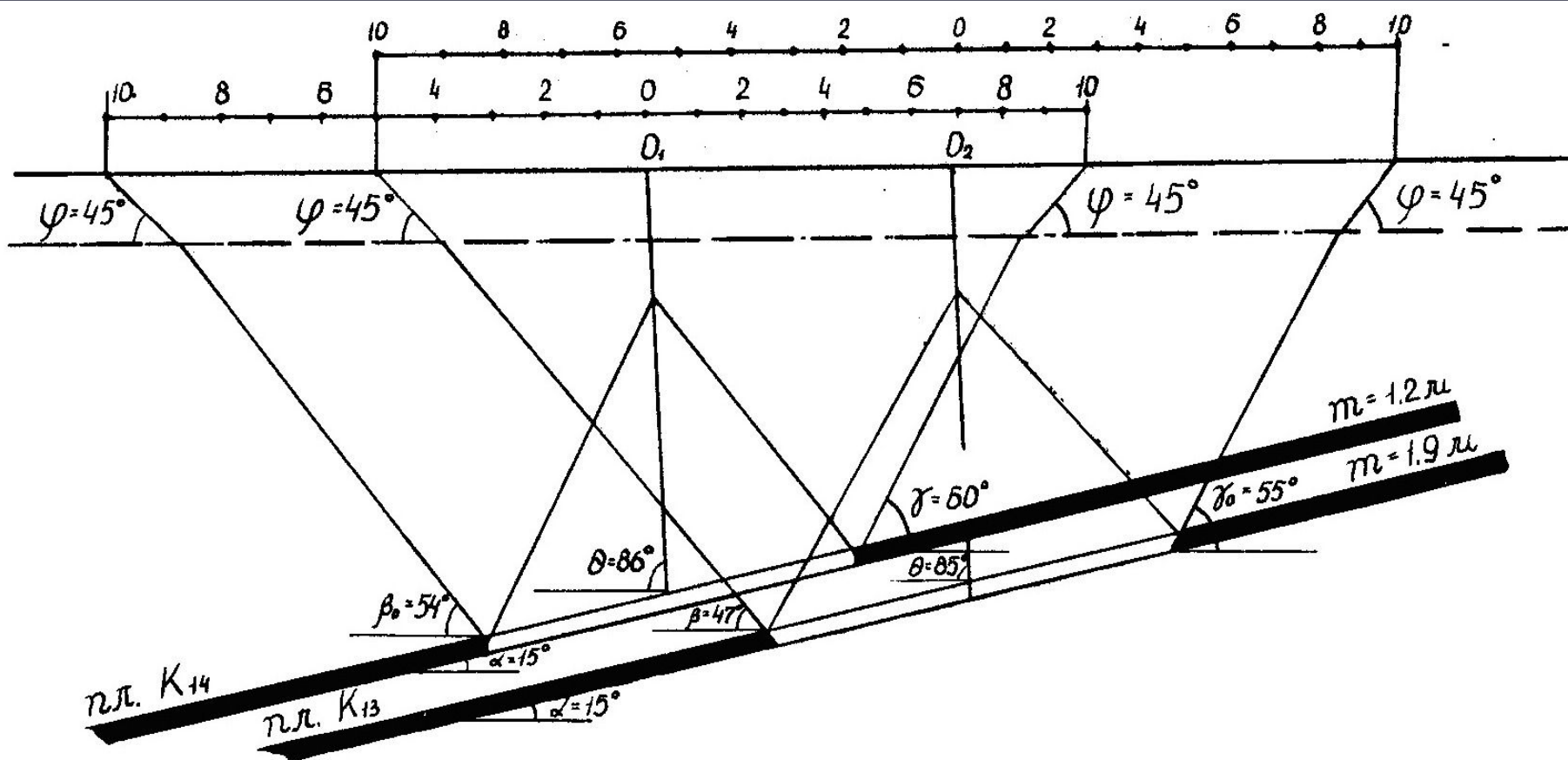


рисунок 9.3 е

The background features a dark gray grid pattern that resembles a map projection or a technical drawing. A white pushpin is pinned to the grid, with its point resting on a line. The text is overlaid on this background.

## 9.4 Расчет вероятных величин сдвижений и деформаций земной поверхности

В практике нередко возникают случаи, когда для назначения конструктивных мероприятий в возводимых на угленосных площадях зданиях и сооружениях требуется рассчитать сдвигения и деформации земной поверхности в перспективе на десятки лет вперед. При этом нет возможности иметь достаточно достоверные перспективные (календарные) планы отработки пластов. Поэтому в подобных случаях расчет сдвижений и деформаций земной поверхности выполняется по упрощенной методике «Правил охраны...» (при  $\alpha \leq 35^\circ$ ).

Согласно этой методике деформации земной поверхности от разработки свиты пластов определяются по мощностям и глубинам залегания пластов, определяемым с помощью линий максимального влияния (рисунок 9.4).

## 1. Оседание

$$\eta_B = 0,9(m_1 + m_2 + \dots + m_n) \cos \alpha ,$$

где  $m_1, m_2, \dots, m_n$  - мощность разрабатываемых пластов.

## 2. Наклоны:

### а) вкрест простирания

$$i_B = \pm 2 \cos^2 \alpha \sqrt{\left(\frac{m_1}{H_1}\right)^2 + \left(\frac{m_2}{H_2}\right)^2 + \dots + \left(\frac{m_n}{H_n}\right)^2} ,$$

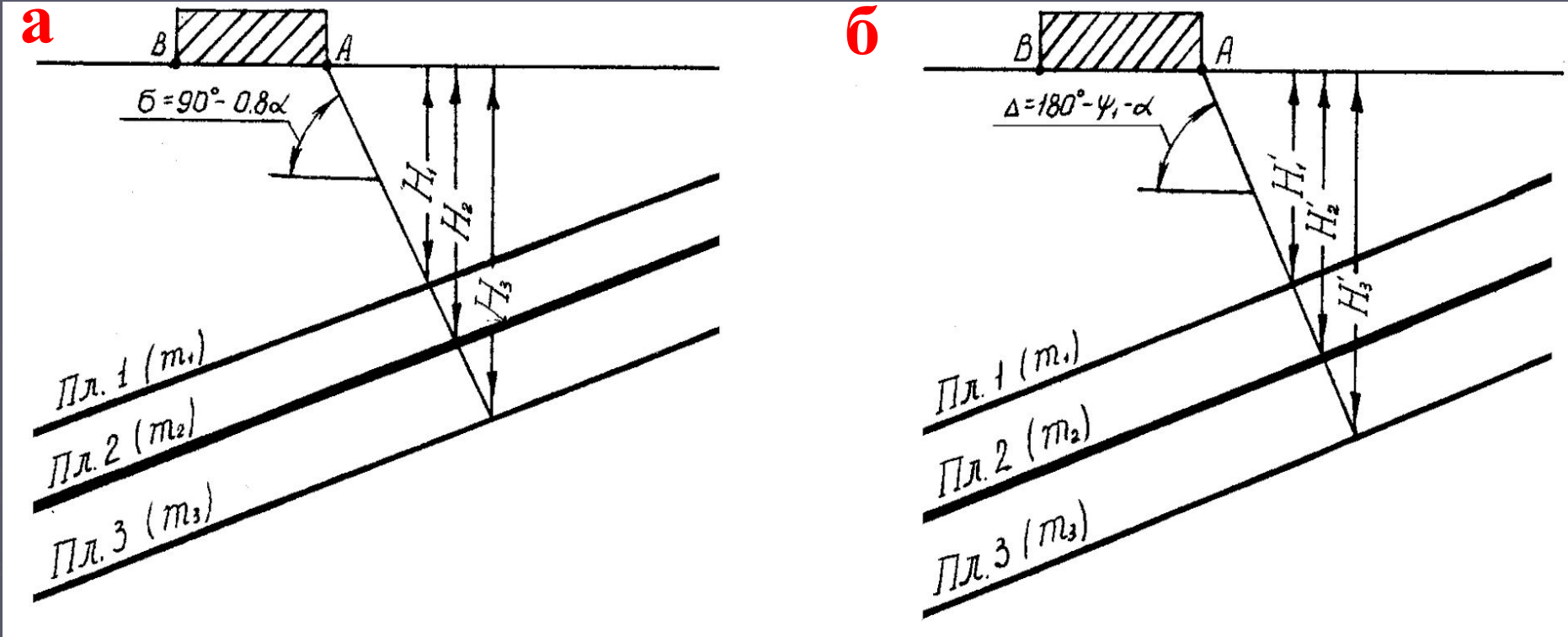
где  $H_1, H_2, \dots, H_n$  - глубина залегания пластов в точках их пересечения линией максимального влияния, проведенной из рассматриваемой точки А (на участке, для которого определяются вероятные сдвигения) под углом  $\sigma = 90^\circ - 0,8\alpha$  в сторону восстания пластов на разрезе вкрест простирания (рисунок 9.4,а);

б) по простиранию

$$i_B = \pm 2 \cos^2 \alpha \sqrt{\left(\frac{m_1}{H_1'}\right)^2 + \left(\frac{m_2}{H_2'}\right)^2 + \dots + \left(\frac{m_n}{H_n'}\right)^2},$$

где  $H_1', H_2', \dots, H_n'$  - глубина залегания пластов в точках их пересечения линией, проведенной на разрезе вкрест простирания пласта из рассматриваемой точки А под углом  $\Delta = 180^\circ - \psi_1 - \alpha \leq 90^\circ$ , где  $\psi_1$  - угол полных сдвижений (рисунок 9.4,б);

# Схемы к определению глубины залегания пластов при расчёте вероятных сдвижений и деформаций



а – в направлении вкрест простирания пластов

б – в направлении простирания пластов

Рисунок 9.4

### 3. Радиус кривизны:

а) вкрест простирания

$$R_B = \pm \frac{0,3}{\cos \alpha} \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{m_1}{H_1^2}\right)^2 + \left(\frac{m_2}{H_2^2}\right)^2 + \dots + \left(\frac{m_n}{H_n^2}\right)^2}} ;$$

б) по простиранию

$$R_B = \pm \frac{0,3}{\cos \alpha} \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{m_1}{(H_1')^2}\right)^2 + \left(\frac{m_2}{(H_2')^2}\right)^2 + \dots + \left(\frac{m_n}{(H_n')^2}\right)^2}} .$$



## 4. Горизонтальные сдвигения:

а) вкрест простирания

$$\xi_B = \pm(0,3 + \operatorname{tg} \alpha) \cos \alpha \sqrt{m_1^2 + m_2^2 + \dots + m_n^2};$$

б) по простиранию

$$\xi_B = \pm 0,3 \cos \alpha \sqrt{m_1^2 + m_2^2 + \dots + m_n^2}.$$

## 5. Горизонтальные деформации:


### а) вкрест простирания

$$\varepsilon_B = \pm 0,7 (\cos^2 \alpha + \sin 2\alpha) \sqrt{\left(\frac{m_1}{H_1}\right)^2 + \left(\frac{m_2}{H_2}\right)^2 + \dots + \left(\frac{m_n}{H_n}\right)^2};$$

### б) по простиранию

$$\varepsilon_B = \pm 0,7 \cos^2 \alpha \sqrt{\left(\frac{m_1'}{H_1'}\right)^2 + \left(\frac{m_2'}{H_2'}\right)^2 + \dots + \left(\frac{m_n'}{H_n'}\right)^2}.$$

При использовании данной методики в расчет принимаются пласты, которые могут быть отработаны под участком застройки в течении ближайших 15-20 лет.



## 9.5 Точность расчетов сдвижений и деформаций земной поверхности

Точность предрасчета величин сдвижений и деформаций земной поверхности зависит от погрешностей определения исходных параметров процесса сдвижения и соответствия принимаемых типовых функций распределения сдвижений и деформаций в мульде данным горно-геологическим условиям.

Погрешности расчетных величин сдвижений и деформаций земной поверхности определяют путем совмещения расчетных графиков с соответствующими графиками, полученных на основе данных натурных наблюдений. По данным С.П. Колбенкова средние квадратические отклонения расчетных величин *максимальных* сдвижений и деформаций от измеренных в натуре составляют: для оседания – 12%, горизонтальных сдвижений - 17%, наклонов - 14% и горизонтальных деформаций - 18%.

На погрешность рассчитываемых величин сдвижений и деформаций в определённой точке мульды сдвижения (например, под охраняемым сооружением) большое влияние оказывает погрешности нахождения положения точек центра и границ мульды сдвижения. Средние погрешности определения угловых параметров составляют: для граничных углов  $\beta_0$  и  $\delta_0$  -  $\pm(4^\circ-8^\circ)$ ,  $\gamma_0$  -  $\pm(7^\circ-13^\circ)$ ; углов полных сдвижений  $\psi_1, \psi_2, \psi_3$ , -  $\pm(5^\circ-7^\circ)$ ; угла максимального оседания  $\theta$  -  $\pm 4^\circ$ . С учетом погрешностей определения угловых параметров средние квадратические погрешности рассчитанных величин сдвижений и деформаций земной поверхности в точках мульды составляют: для оседания -  $\pm 18\%$ , горизонтальных сдвижений -  $\pm 32\%$ , наклонов -  $\pm 24\%$  и горизонтальных деформаций -  $\pm 49\%$ .

Как следует из представленных данных, существующие способы расчета сдвижений и деформаций земной поверхности нуждаются в дальнейшем совершенствовании.

Для учёта погрешностей определения ожидаемых и вероятных величин сдвижений и деформаций земной поверхности вводятся так называемые **коэффициенты перегрузки** ( $q$ ). С помощью этих коэффициентов при решении практических задач, связанных с разработкой мер охраны подрабатываемых объектов, переходят от ожидаемых (или вероятных) величин к расчетным величинам  $D_{расч}$  сдвижений и деформаций:

$$D_{расч} = D_{ож.} q.$$

Значения коэффициента перегрузки приведены в таблице 9.6.


Таблица 9.6

Параметры сдвижения	Обозначение коэффициентов в перегрузки	Значения коэффициентов перегрузки для расчёта сдвижений и деформаций	
		ожидаемые	вероятные
Оседание	$n_{\eta}$	1,2	1,1
Горизонтальное сдвижение	$n_{\xi}$	1,2	1,1
Наклон	$n_i$	1,4	1,2
Кривизна	$n_K$	1,8	1,4
Относительные горизонтальные деформации растяжения-сжатия	$n_{\varepsilon}$	1,4	1,2



# 10 УСЛОВИЯ БЕЗОПАСНОЙ ПОДРАБОТКИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ



The background of the slide features a faint, light-colored grid pattern that resembles a globe or a technical drawing of a sphere. The grid consists of concentric circles and radial lines, creating a sense of depth and curvature. The overall color scheme is dark and monochromatic, with the text standing out in a light, contrasting color.

# 10.1 Характер влияния деформаций земной поверхности на подрабатываемые сооружения и природные объекты

Сооружения, попадающие в зону горных работ, оказываются под воздействием вертикальных и горизонтальных земной поверхности. Последние вызывают появление дополнительных усилий в несущих конструкциях сооружений, что нередко приводит к существенным их повреждениям.

Величины дополнительных усилий и деформации сооружений зависят от величин деформаций земной поверхности, определяемых горно-геологическими и горнотехническими факторами, от физико-механических свойств грунтов оснований, размеров и конструктивных особенностей сооружений. Влиянию отдельных видов сдвижений и деформаций земной поверхности на напряженно-деформированное состояние конструкции подрабатываемых зданий и сооружений проявляется по-разному.

Равномерные вертикальные (оседания) и горизонтальные сдвиги земной поверхности не оказывают самостоятельного непосредственного влияния на сохранность сооружений и сами по себе не могут являться показателями возможных их повреждений. Однако оседания земной поверхности могут косвенным образом заметно отразиться на состоянии сооружений в связи с изменением уровня грунтовых вод.

Повышение уровня стояния грунтовых вод может вызвать затопление подвалов зданий, траншей и сантехнических коммуникаций способствует заболачиванию обрабатываемого участка, а также активизации оползневых явлений. Кроме того, увеличение влажности грунтов вызывает резкое снижение сопротивляемости их сдвигу и уменьшает несущую способность основания.

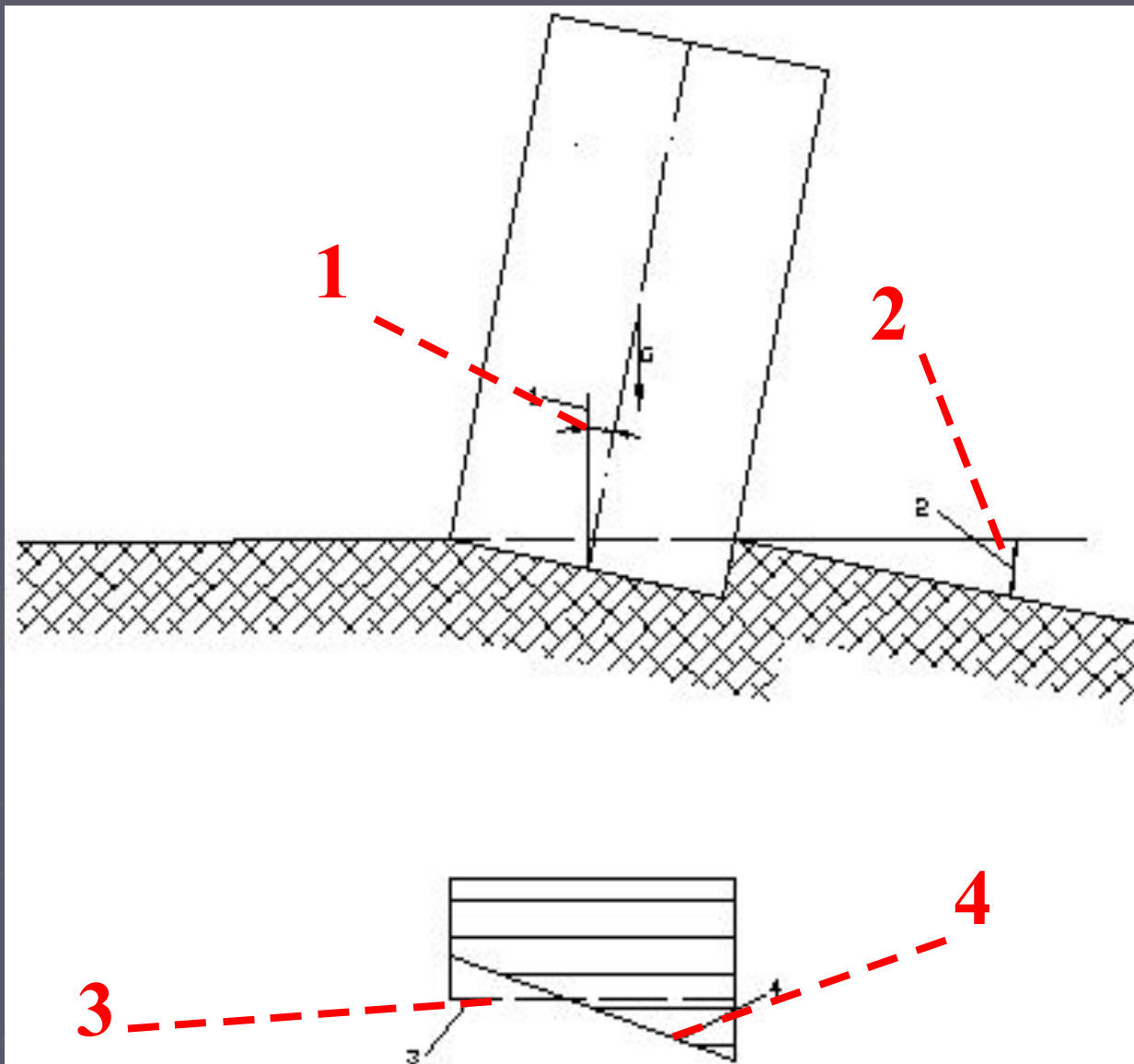
С другой стороны, понижение уровня грунтовых вод может привести к уменьшению влажности грунтов и их уплотнению, в результате чего развивается дополнительная осадка грунтов, способная вызвать увеличение деформаций и повреждений зданий.

Область вредного влияния наклонов земной поверхности распространяется в основном на сооружения точечного (башенного) типа.

Влияние наклона земной поверхности на сооружения башенного типа

В результате смещения центра тяжести сооружения от оси симметрии последнее испытывает (рисунок 10.1) воздействие опрокидывающего момента, величина которого пропорциональна величине угла наклона (крена) сооружения.

# Влияние наклона земной поверхности на сооружения башенного типа



1 – крен сооружения;

2 – наклон земной поверхности при подработке ;

3 – эпюра отпора грунта по подошве фундаментов до подработки;

4 – то же при подработке.

Рисунок 10.1

Первичный наклон сооружения от влияния подработки обуславливает обжатие грунтов основания, что в свою очередь приводит к дополнительному наклону сооружения и росту усилий в его конструкциях. Наклоны земной поверхности необходимо учитывать также при подработке промышленных сооружений с чувствительным к изменению уклонов технологическим оборудованием, железных дорог, самотечных трубопроводах и т.п.

Основное влияние на подрабатываемые здания и сооружения оказывают относительные горизонтальные деформации растяжения-сжатия и вертикальные деформации кривизны земной поверхности.

При попадании сооружения в мульду сдвигание вертикальные деформации кривизны основания в результате перераспределения отпора грунта под фундаментами вызывают появление в несущих конструкциях усилий в виде изгибающих моментов и поперечных сил, действующих в вертикальной плоскости.

Действие относительных горизонтальных деформаций земной поверхности передается на здание через силы трения и сцепления грунта с подошвой и боковыми стенками фундаментов, а также путем давления сдвигающегося грунта на заглубленные элементы фундаментно-подвальной части здания и вызывает в них дополнительные усилия в виде продольных растягивающих и сжимающих сил.

The background features a circular grid of concentric and radial lines, resembling a coordinate system or a map projection. A small, light-colored pushpin is pinned to the grid, with its point resting on a line. The overall color scheme is a dark, muted green.

## 10.2 Построение зоны влияния горных работ на земную поверхность

Для определения границ зоны опасных деформаций и границ мульды сдвижения на плане горных работ выбирают характерные направления вкрест простирания и по простиранию пласта.

По этим направлениям строят вертикальные разрезы, на которых с помощью граничных углов (углов сдвижения) получают точки, определяющие границы мульды сдвижений (зоны опасных деформаций).

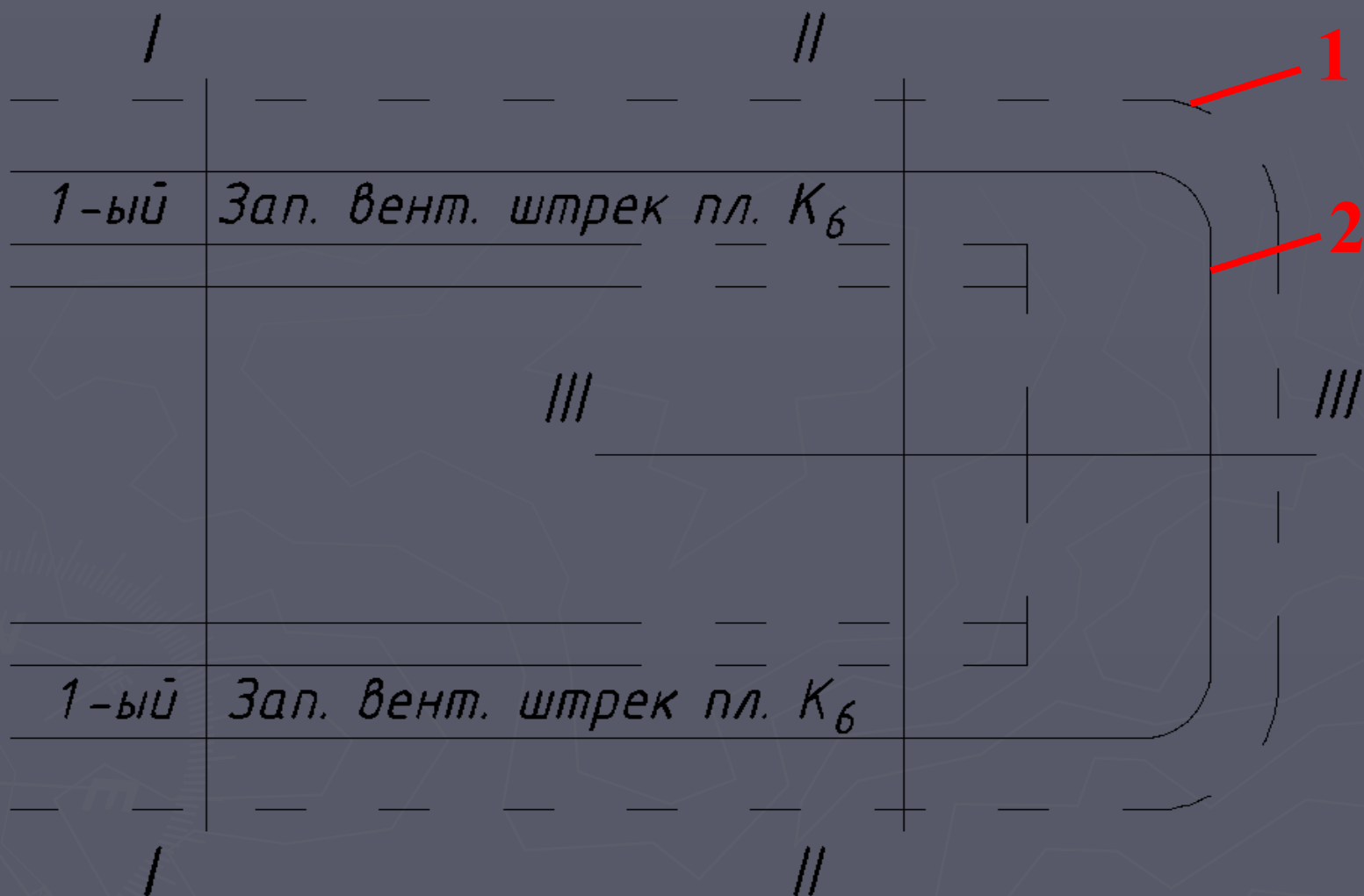
Проекции полученных точек переносят на планы и соединяют плавными кривыми, которые и будут являться границами границы мульды сдвижений (зоны опасных деформаций) на земной поверхности.

Сопоставляя границы этих зон с расположением подрабатываемых сооружений, решают вопрос о целесообразных способах их охраны.

При образовании на земной поверхности провалов границы ожидаемых провалов на плане горных работ показывает особо. В целях безопасности на поверхности зоны ожидаемых провалов ограждаются и устанавливаются таблички с предупреждающими надписями.



# Построение зон влияния горных работ на земную поверхность



1 – ожидаемая граница мульды сдвижения

– ожидаемая граница зоны опасной деформации

Рисунок 10.2 а

# Построение зон влияния горных работ на земную поверхность

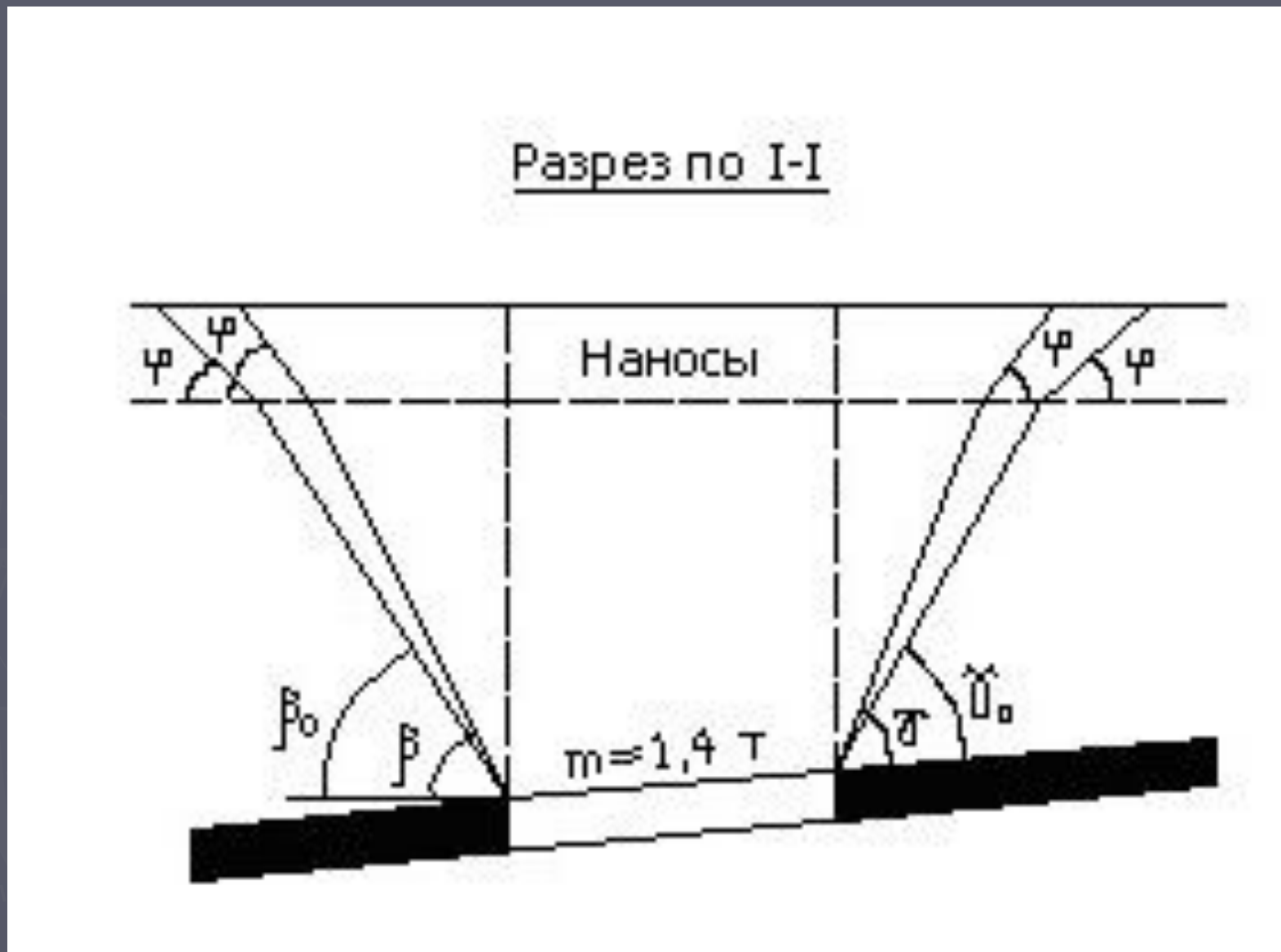
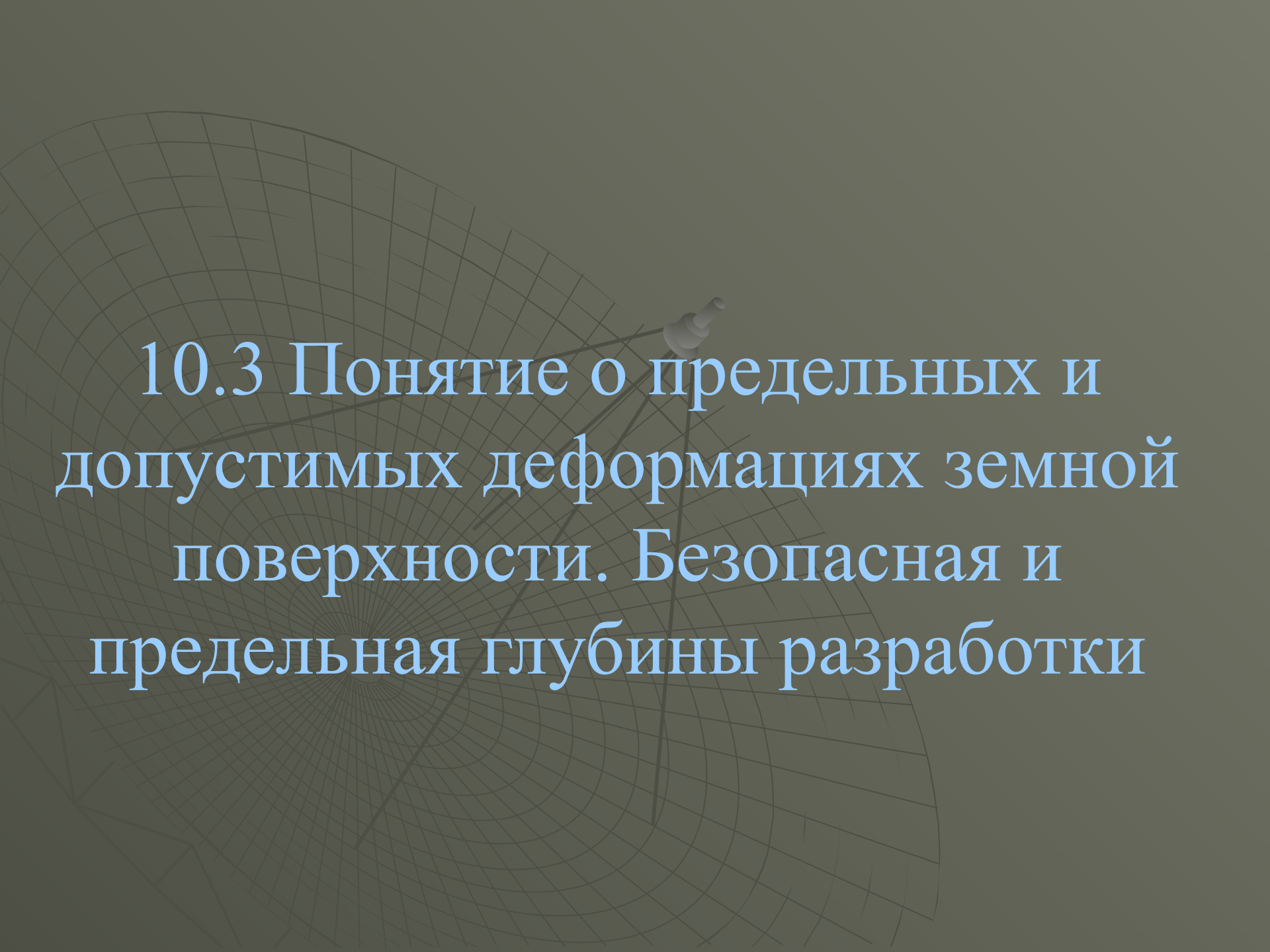


Рисунок 10.2 б



## 10.3 Понятие о предельных и допустимых деформациях земной поверхности. Безопасная и предельная глубины разработки

Здания, сооружения и природные объекты, попадающие в зону влияния горных работ, подвергаются в той или иной мере деформациям, причем степень их деформирования во многом определяется величинами деформаций земной поверхности. Установление условий безопасной подработки зданий и сооружений и выбор мер их охраны основывается на сравнении расчетной деформаций земной поверхности с допустимыми и предельными деформациями (либо соответствующими показателями суммарных деформаций) для различных типов подрабатываемых объектов.

**Допустимыми деформациями** земной поверхности (основания сооружений) называют деформации, вызывающие такие повреждения в сооружениях, при которых для дальнейшей их эксплуатации по прямому назначению достаточно проведения текущих наладочных и ремонтных работ. **Предельными деформациями** земной поверхности называют деформации, превышение которых может вызвать аварийное состояние сооружения с угрозой для жизни людей.

Условия безопасной подработки объектов одиночным пластом или первым пластом свиты определяются безопасной глубиной разработки, которая устанавливается по допустимым деформациям земной поверхности для каждого вида сооружений.

**Безопасной глубиной** разработки называется такая глубина, ниже которой горные работы не вызывают в сооружениях деформаций, более допустимых. Безопасная глубина откладывается от охраняемого объекта по вертикали до разрабатываемого пласта. Выемка пласта ниже горизонта безопасной глубины может производиться без специальных мер охраны сооружений, однако при их подработке должны приниматься специальные меры предосторожности.

В случаях, когда в качестве допустимых для охраняемого сооружения приняты наиболее опасные горизонтальные деформации земной поверхности, безопасная глубина разработки определяется из выражения

$$H_{\delta} = K_{\varepsilon} \frac{m}{[\varepsilon_q]} \quad ; (10.1)$$

если же в к допустимых деформаций приняты наклоны, то

$$H_{\delta} = K_i \frac{m}{[i_q]} \quad , (10.2)$$

где  $m$  – вынимаемая мощность пласта, м;

$[\varepsilon_q], [i_q]$  – допустимые величины горизонтальных деформаций и наклонов земной поверхности;

$K_{\varepsilon}, K_i$  – коэффициенты, определяемые в соответствии с "Правилами охраны ..." для соответствующего бассейна.

Например, для Карагандинского бассейна:  
при первичной подработке  $K_{\varepsilon}=1.0$ ,  $K_i=1.5$  ;  
при повторной подработке  $K_{\varepsilon}=1.15$ ,  $K_i=1.75$  .

Для некоторых объектов (транспортные сооружения, ЛЭП, водные объекты и наклонные шахтные стволы), для которых значение коэффициента безопасности надёжно определены на основе многочисленных опытных данных, безопасную глубину разработки рекомендуется рассчитывать по формуле

$$H_{\delta} = K_{\delta} m \quad , (10.3)$$

где  $m$  – вынимаемая (или эффективная) мощность пласта;  
 $K_{\delta}$  – коэффициент безопасности, определяемый для первичной подработки по "Правилам охраны ..."; при повторных подработках его значение увеличивается на 15%.

Для водных объектов (водоемов, водотоков, водоносных горизонтов и обводненных зон) под безопасной глубиной разработки понимается глубина, при которой зона водопроводящих трещин, образующаяся над выработанным пространством, не достигает нижнего контура водного объекта.

При разработке свиты пластов безопасная глубина может рассчитываться отдельно для каждого пласта свиты по его мощности в следующих случаях:

- разрыв во времени между отработкой пластов превышает общую продолжительность процесса сдвижения, деформации от разработки каждого пласта меньше допустимых, а повреждения, вызванные предыдущей разработкой, полностью ликвидированы;
- принятая схема и порядок отработки пластов не дают однозначного накопления деформаций.



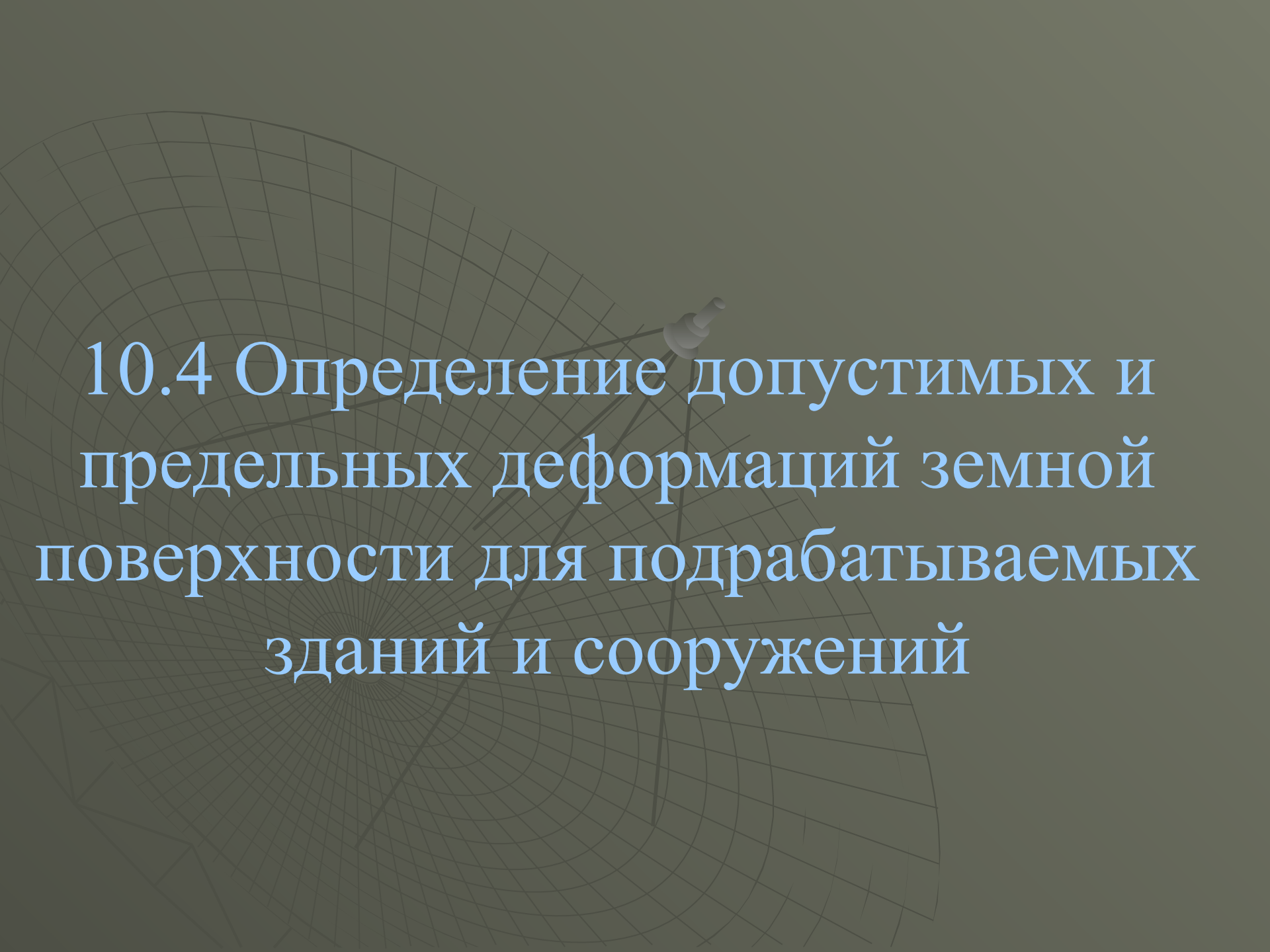
Если выше указанные условия не соблюдаются, то установление условий безопасной подработки зданий и сооружений вторым и последующими пластами производится на основании сравнения расчетных величин деформации земной поверхности (расчетного показателя суммарных деформаций) с допустимыми для подрабатываемого объекта.

Для определения ориентировочных условий применения горных и конструктивных мер охраны подрабатываемых объектов используется предельная глубина разработки.

**Предельная глубина** разработки называется такая глубина, выше горизонта которой горные работы могут вызвать появление предельных деформаций в зданиях и сооружениях. Предельная глубина определяется из выражений:

$$H_n = K_\varepsilon \frac{m}{[\varepsilon_n]} \quad \text{или} \quad H_n = K_i \frac{m}{[i_n]} \quad (10.4)$$

где  $[\varepsilon_n], [i_n]$  – соответственно предельные значения горизонтальных деформаций и наклонов земной поверхности.



# 10.4 Определение допустимых и предельных деформаций земной поверхности для подрабатываемых зданий и сооружений

Методика определения допустимых и предельных деформаций для гражданских зданий и промышленных сооружений отличается своеобразием.

**Гражданские здания.** Для оценки степени возможных повреждений жилых и общественных зданий используется расчетный **показатель суммарных деформаций**, определяемый из выражения

$$\Delta l = l \sqrt{(m_\varepsilon \varepsilon)^2 + \left( m_k \frac{H_{зд.}}{R} \right)^2}, \text{ мм (10.5)}$$

где  $l$  — длина здания (отсека), мм;

$H_{зд.}$  — высота здания от подошвы фундамента до верха карниза, м;

$\varepsilon$  — расчетная величина горизонтальной деформации;

$R$  — расчётный радиус кривизны земной поверхности, м;

$m_\varepsilon, m_k$  — коэффициент условий работы, усредняющие соответственно горизонтальные деформации и кривизну по длине здания; принимаются по **таблице 10.1**.

Таблица 10.1

Коэффициент	Длина (ширина) здания (отсека), м				
	< 15	15-30	31-45	46-60	>60
$m_{\varepsilon}$	1,00	0,85	0,70	0,60	0,50
$m_k$	1,00	0,70	0,55	0,55	0,50

Исходя из величины расчетного показателя суммарных деформаций по приложению 7 "Правилам охраны ..." определяют ожидаемые повреждения конструкций рассматриваемого здания. На основе анализа повреждений подрабатываемых зданий установлены нормативные величины допустимых и предельных показателей суммарных деформаций приведенные в **таблице 10.2**.

Допустимым и предельным деформациям земной поверхности для жилых и общественных зданий соответствуют допустимые и предельные величины показателя суммарных деформаций, определяемые по формулам:

$$[\Delta lg] = [\Delta lg]_н n_1 n_2 n_3 n_4 n_5; \quad (10.6)$$

$$[\Delta ln] = [\Delta lg]_н n_1 n_2 n_3 n_4 n_5, \quad (10.7)$$

где  $[\Delta lg]_н$ ,  $[\Delta ln]_н$  – нормативные допустимый и предельный показатели суммарных деформаций, определяемые по **таблице 10.2** в зависимости от назначения зданий и их этажности;

$n_1, n_2, n_3, n_4, n_5$ , – коэффициенты, величины которых учитывают соответственно грунтовые условия, материал и толщину стен, степень износа стен, наличие жестких перекрытий, форму здания в плане; определяются согласно «Правилам охраны...».

Таблица 10.2

Разряд	Назначение зданий	Этажность		
1	Общественные здания имеющие особую значимость, монументальные здания с большими залами пролётом более 18м.	1-3	90	160
		4-5	120	160
2	Детские школьные и дошкольные учреждения, больницы, поликлиники, школы, родильные дома, бани, театры, дворцы культуры	1-3	110	180
		4-5	140	180
3	Жилые здания, гостиницы	1-3	130	180
		4-5	150	180
4	Учреждения общественного обслуживания, вспомогательные здания	1-3	140	180
		4-5	170	180

Во всех случаях должно соблюдаться условие .  
Если произведение указанных коэффициентов менее 0,5, то оно принимается равным 0,5.

Допустимые и предельные горизонтальные деформации для гражданских зданий, используемые в дальнейшем для определения величин безопасной и предельной глубин разработки по формулам (10.1) и (10.4), находятся из выражения

$$\varepsilon = \frac{[\Delta l]}{1,2m_{\varepsilon}l} \quad (10.8)$$

где  $[\Delta l]$  - допустимая или предельная величины показателя суммарных деформаций, определяемые по формулам (10.6) и (10.7);

$m_{\varepsilon}$  - коэффициент условий работы для горизонтальных деформаций;

$l$  - длина здания (отсека).

**Промышленные здания** в зависимости от характера производственного процесса, чувствительности технологического оборудования и строительных конструкций к деформациям земной поверхности, а также их народнохозяйственной значимости разделяются на **пять разрядов**. К первому разряду отнесены наиболее важные объекты со сложным технологическим оборудованием, трехсменной работой и строгими требованиями к санитарным условиям, к пятому — вспомогательные производственные здания с эпизодическим пребыванием людей в течение рабочих смен.

Допустимые и предельные деформации для промышленных зданий с размещенным в них оборудованием определяются отдельно для зданий и оборудования. Меры охраны устанавливаются по наименьшим допустимым (предельным) деформациям для зданий или технологического оборудования.



Для промышленных зданий допустимые и предельные деформации определяются по формулам:


$$[\varepsilon_q] = [\varepsilon_q]_н n_1 N_1; \quad (10.9)$$

$$[\varepsilon_n] = [\varepsilon_n]_н n_1 N_1 \quad (10.10)$$

где  $n_1$  – коэффициент, зависящий от грунтовых вод;

$N_1$  – коэффициент, учитывающий состояние здания к моменту подработки;

$[\varepsilon_q]_н, [\varepsilon_n]_н$  – нормативные величины соответственно допустимых и предельно горизонтальных деформаций, устанавливаемых по «Правилам охраны...» с учетом конструктивных особенностей зданий. В качестве показателей допустимых и предельных условий подработки инженерных сооружений, технологического оборудования и санитарно-технических сетей принимаются горизонтальные и вертикальные (наклон, кривизна) деформации в зависимости от чувствительности обрабатываемого объекта к указанным деформациям земной поверхности. В отдельных случаях (для водопроводящих каналов) показателем допустимости подработки является величина оседания земной поверхности.

The background of the slide features a faint, light-colored grid pattern resembling a globe or a technical drawing. The grid consists of concentric circles and radial lines, creating a spherical or cylindrical perspective. The text is centered over this grid.

# 10.5 Установление условий безопасной выемки угля под зданиями, сооружениями и природными объектами

Подрабатываемые здания, сооружения и другие объекты до начала и после окончания влияния на них горных работ, а если нужно, то и в процессе подработки обследуются специальной комиссией. На каждом этапе обследования составляют акты, в которых указывают состояние объекта, его конструктивные особенности, процент износа, деформации объекта от подработки и степени их влияния на его эксплуатационную способность и при необходимости вносят предложения по дополнительным мерам охраны объекта.

Установление условий безопасной подработки зданий и сооружений и выбор меры охраны производятся в следующей последовательности.

При отработке одиночного пласта, либо первого пласта свиты с учетом конструктивных особенностей технического состояния сооружений определяют допустимые и предельные для подрабатываемого объекта деформации, а затем – безопасную и предельную глубины разработки. Ниже горизонта безопасной глубины сооружения могут быть подработаны без специальных мер их охраны.

При выемке пласта под объектом между горизонтами безопасной и предельной глубин разработки необходимо раздельное или совместное применение горных и конструктивных мер охраны, обеспечивающих безопасную эксплуатацию объекта. При решении вопроса о выемке пласта выше горизонта предельной глубины подработка сооружения допускается только при условии применения горных мер охраны, снижающих деформации земной поверхности до величин, при которых возможно применение дополнительно конструктивных мер охраны.

Установление условий безопасной подработки зданий и сооружений вторым и последующими пластами производится на основании сравнения расчетных величин деформаций земной поверхности (расчетного показателя суммарных деформаций) с допустимыми для подрабатываемого объекта. При наличии календарного плана развития горных работ по рассматриваемым пластам под зданиями и сооружениями рассчитываются **ожидаемые** деформации, а при отсутствии плана — **вероятные** деформации земной поверхности.

Если расчетные величины деформаций (показатели суммарных деформаций) менее или равны допустимым, то выемку пластов разрешается производить без применения горных-конструктивных мер охраны. Если расчетные деформации больше допустимых, но меньше предельных, то при подработке сооружений следует применять комплексно или отдельно горные и конструктивные меры охраны. В случае, когда расчетные деформации больше предельных, обязательно применение горных мер охраны, уменьшающих расчетные деформации (показатель суммарных деформаций) до величин, позволяющих применять конструктивные меры охраны.

К мерам охраны подрабатываемых объектов относятся также временное изменение характера эксплуатации сооружения на период опасных деформаций, а также заранее планируемые ремонтные и наладочные работы, выполняемые для приведения объекта в состояние, удовлетворяющее требованиям его нормальной эксплуатации (выравнивание опор и перепуск проводов ЛЭП, регулировка подкрановых путей, восстановительный ремонт зданий и другие).

Во всех случаях, когда применение горных и конструктивных мер охраны не целесообразно по технико-экономическим соображениям либо они не могут гарантировать нормальную эксплуатацию охраняемого объекта, принимается решение об оставлении под ним предохранительного целика.

При выемке угля под охраняемыми объектами с применением горных и конструктивных мер охраны либо с отступлениями от требований «Правил охраны...» необходимо производить специальные инструментальные наблюдения за сдвижением земной поверхности и деформациями объектов с целью своевременной корректировки применяемых мер охраны.