

Наблюдения за деформациями сооружений геодезическими методами

- **Лекция 12.**

План

- 1. Виды деформаций инженерных сооружений
- 2. Организация наблюдений
- 3. Точность и периодичность наблюдений
- 4. Основные типы геодезических знаков и их размещение
- 5. Наблюдения за осадками сооружений
- 6. Наблюдения за горизонтальными смещениями сооружений



1. Виды деформаций инженерных сооружений

1. Виды деформаций инженерных сооружений



1. Виды деформаций инженерных сооружений

Принцип определения деформаций



Для изучения деформаций в характерных местах сооружения фиксируют точки и определяют изменение их пространственного положения за выбранный промежуток времени. При этом определенное положение и время принимают за начальные.

Абсолютная или полная осадка S

Средняя осадка $S_{\text{ср}}$

Наибольшая осадка

Наименьшая осадка

Неравномерность осадки

Величина крена K

Относительный крен

Горизонтальное смещение q

Кручение изменение углового положения радиуса фиксированной точки, проведенного из центра исследуемого горизонтального сечения

Скорость деформации $v_{\text{ср}}$

$$S_{\text{ср}} = \sum_1^n S/n$$

$$S = H_{\text{тек}} - H_{\text{нач}}$$

$$\Delta S_{1,2} = S_2 - S_1$$

$$K = (S_2 - S_1)/l.$$

$$q_x = X_{\text{тек}} - X_{\text{нач}}$$

$$q_y = Y_{\text{тек}} - Y_{\text{нач}}$$

$$v_{\text{ср}} = (S_j - S_i)/t$$



2. Организация наблюдений

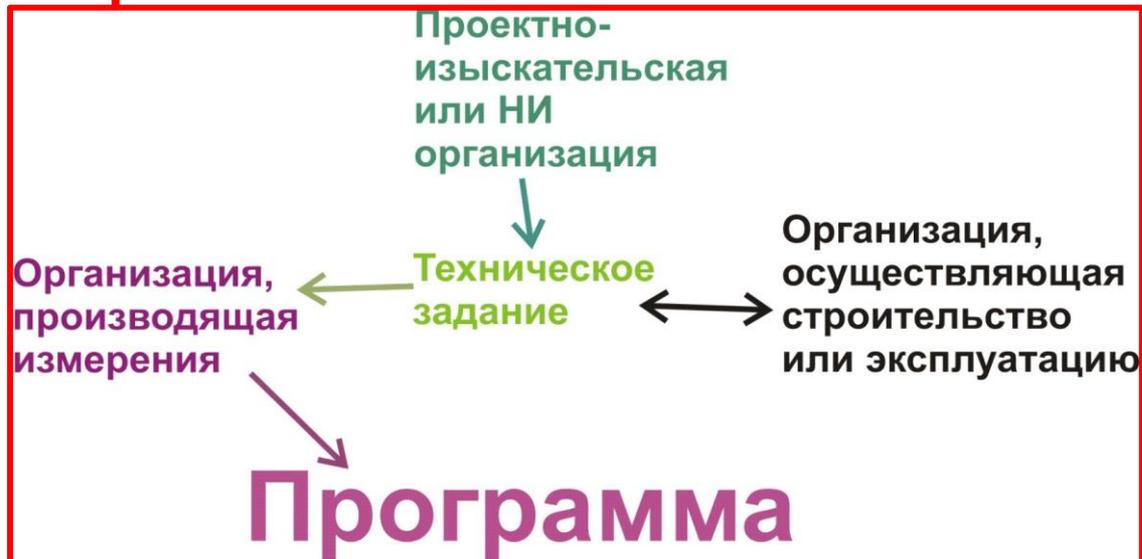
2. Организация наблюдений

- Наблюдения за деформациями сооружений представляют собой комплекс измерительных и описательных мероприятий по выявлению величин деформаций и причин их возникновения

Цели организации наблюдений (ГОСТ):

- определения абсолютных и относительных величин деформаций и сравнения их с расчетными;
- выявления причин возникновения и степени опасности деформаций для нормальной эксплуатации зданий и сооружений; принятия своевременных мер по борьбе с возникающими деформациями или устранению их последствий;
- получения необходимых характеристик устойчивости оснований и фундаментов;
- уточнения расчетных данных физико-механических характеристик грунтов;
- уточнения методов расчета и установления предельных допустимых величин деформаций для различных грунтов оснований и типов зданий и сооружений.

2. Организация наблюдений



В программе должны быть приведены:

- техническое задание на производство работ;
- общие сведения о сооружении, природных условиях и режиме его работы;
- схему размещения опорных и деформационных знаков; принципиальную схему наблюдений; расчет необходимой точности измерений;
- методы и средства измерений;
- рекомендации по методике обработки результатов измерений и оценке состояния сооружения;
- календарный план (график) наблюдений; состав исполнителей, объемы работ и смету.

Последовательность работ



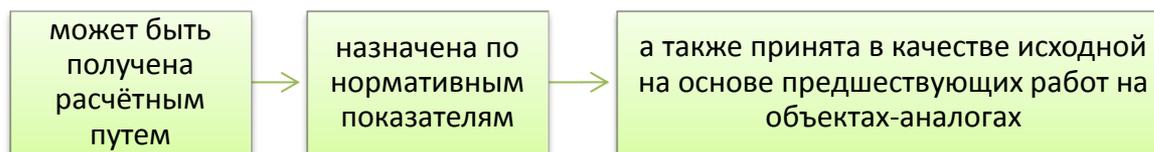


3. Точность и периодичность наблюдений

Определение точности измерений

Расчетная величина вертикальных или горизонтальных перемещений, предусмотренная проектом	Допускаемая погрешность измерения перемещений для периода			
	строительного		эксплуатационного	
	Грунты			
	песчаные	глинистые	песчаные	глинистые
До 50	1	1	1	1
Св. 50 до 100	2	1	1	1
Св. 100 до 250	5	2	1	2
Св. 250 до 500	10	5	2	5
Св. 500	15	10	5	10

Точность измерений



3. Точность и периодичность наблюдений

Класс точности измерений	Допускаемая погрешность измерения перемещений	
	вертикальных	горизонтальных
I	1	2
II	2	5
III	5	10
IV	10	15

3. Точность и периодичность наблюдений

При отсутствии данных по расчетным величинам деформаций оснований фундаментов класс точности измерения вертикальных и горизонтальных перемещении допускается устанавливать:

- I — для зданий и сооружений: уникальных; длительное время (более 50 лет) находящихся в эксплуатации; возводимых на скальных и полускальных грунтах;
- II — для зданий и сооружений, возводимых на песчаных, глинистых и других сжимаемых грунтах;
- III — для зданий и сооружений, возводимых на насыпных, просадочных, заторфованных и других сильно сжимаемых грунтах;
- IV — для земляных сооружений.

Крен

- 0,0001Н (для гражданских зданий и сооружений);
- 0,00001Н (для фундаментов под машины и агрегаты);
- 0,0005Н (для промышленных зданий и сооружений, мачт, дымовых труб, башен и др.)

Периодичность

- В среднем в строительный период систематические наблюдения выполняют 1 — 2 раза в квартал,
- в период эксплуатации — 1 — 2 раза в год
- При срочных наблюдениях их выполняют до и после появления фактора, резко изменяющего обычный ход деформации

Другим показателем, определяющим необходимую периодичность наблюдений, является скорость изменения вертикальных смещений

Скорость вертикальных смещений, мм/сут	1	2	5	10	20
Периодичность наблюдений, дни	75	40	15	7	Ежедневно

Наблюдения

Систематические наблюдения проводятся через определенные промежутки времени (систематически)



Срочные наблюдения проводятся в случае появления фактора, приводящего к резкому изменению хода деформации



4. Основные типы геодезических знаков и их размещение

Геодезические знаки, применяемые для наблюдений за деформациями сооружений

Опорные знаки

Вспомогательные знаки

Деформационные знаки

Опорные знаки служат исходной основой, относительно которой определяются смещения деформационных знаков

Вспомогательные знаки являются связующими в схеме измерений и используются для передачи координат от опорных знаков к деформационным

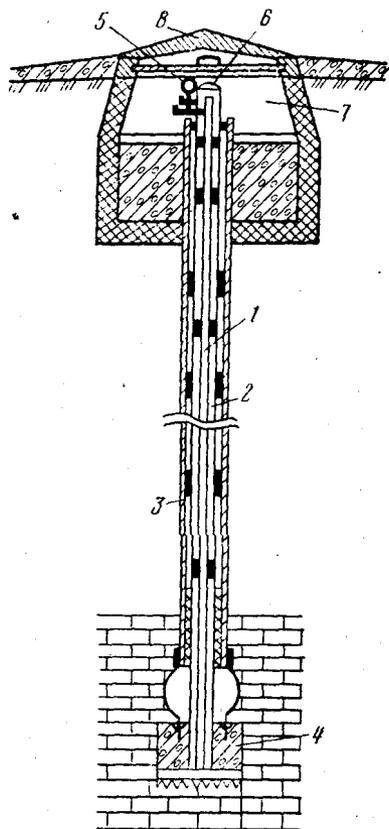
Деформационные знаки закрепляются непосредственно на исследуемом сооружении и, перемещаясь вместе с ним, характеризуют изменение его положения в пространстве

Геодезические знаки, применяемые для наблюдений за деформациями сооружений

Плановые

Высотные

Биметаллический репер



Репер в основном состоит из дюралюминиевой трубы 1, помещенной в основную стальную трубу 2. Обе трубы помещаются в защитную трубу 3, крепятся к общему башмаку 4 и бетонируются в твердых породах. Дюралюминиевая труба оборудуется базовой поверхностью, а стальная — кронштейном для отсчетного приспособления 5 (обычно часового индикатора). На стальную трубу навинчивается головка 6 для установки рейки. Защитная труба бетонируется в смотровом колодце 7 с крышкой 8.

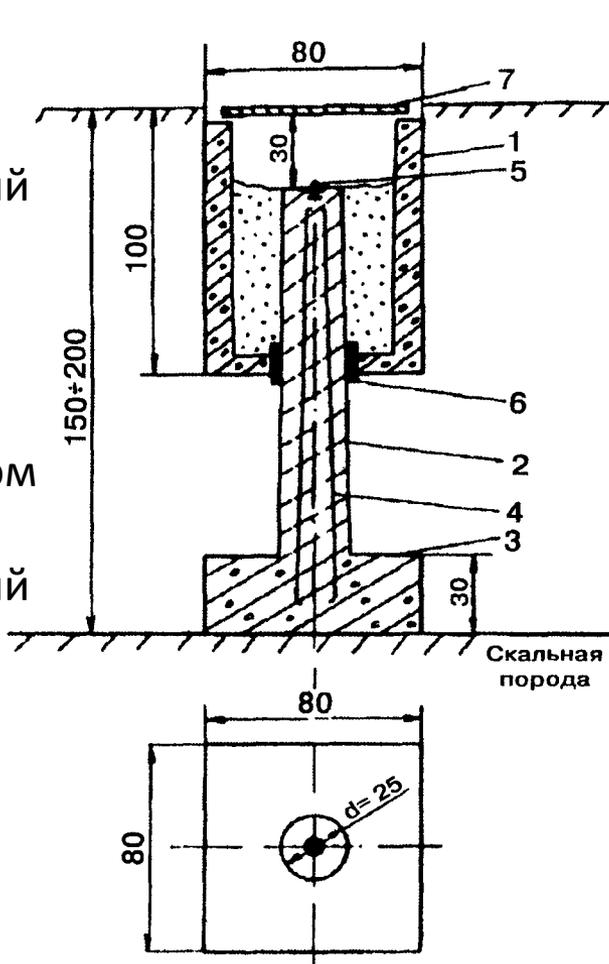
трубчатые

свайные

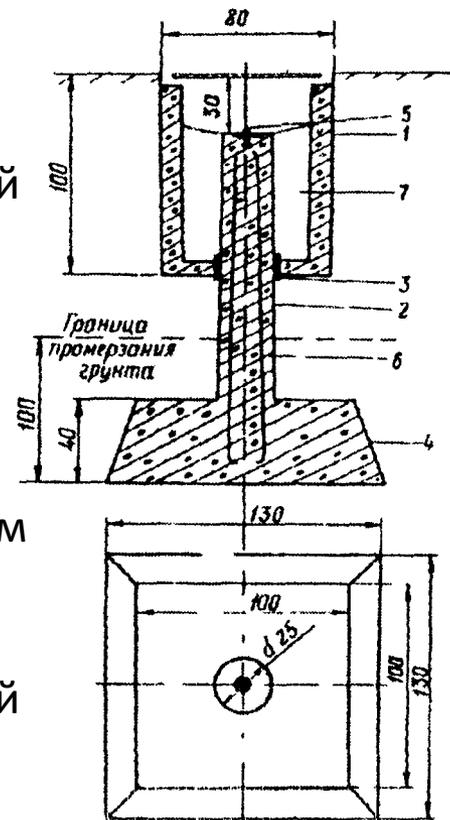
МОНОЛИТНЫЕ

Исходный репер для скальных грунтов и грунтов средней плотности

1 - железобетонный или металлический колодец; 2 - асбоцементная труба диаметром 250 мм; 3 - железобетонный пилон; 4 - арматура; 5 - нивелирная марка; 6 - сальник; 7 - крышка



1 - железобетонный или металлический колодец с крышкой; 2 - асбоцементная труба диаметром 250 мм; 3 - сальник; 4 - железобетонный монолит; 5 - нивелирная марка; 6 - арматура, 7 - шлак, песок



Трубчатый глубинный репер

Деформационные знаки, применяемые для наблюдений за горизонтальными смещениями, — это в основном визирные цели, закрепляемые или непосредственно на конструкциях, или на кронштейнах. В полу сооружений — это металлические пластины с перекрестием.



1 - железобетонный или металлический колодец с крышкой; 2 - труба диаметром 80-150 мм; 3 - защитная труба диаметром 150-200 мм; 4 - грунт (песок, лесс); 5 - сальники; 6 - муфта; 7 - ограничительное кольцо; 8 - скважина диаметром 250 мм; 9 - бетон; 10 - металлический диск; 11 - цементный раствор

установка реперов в особых грунтовых условиях

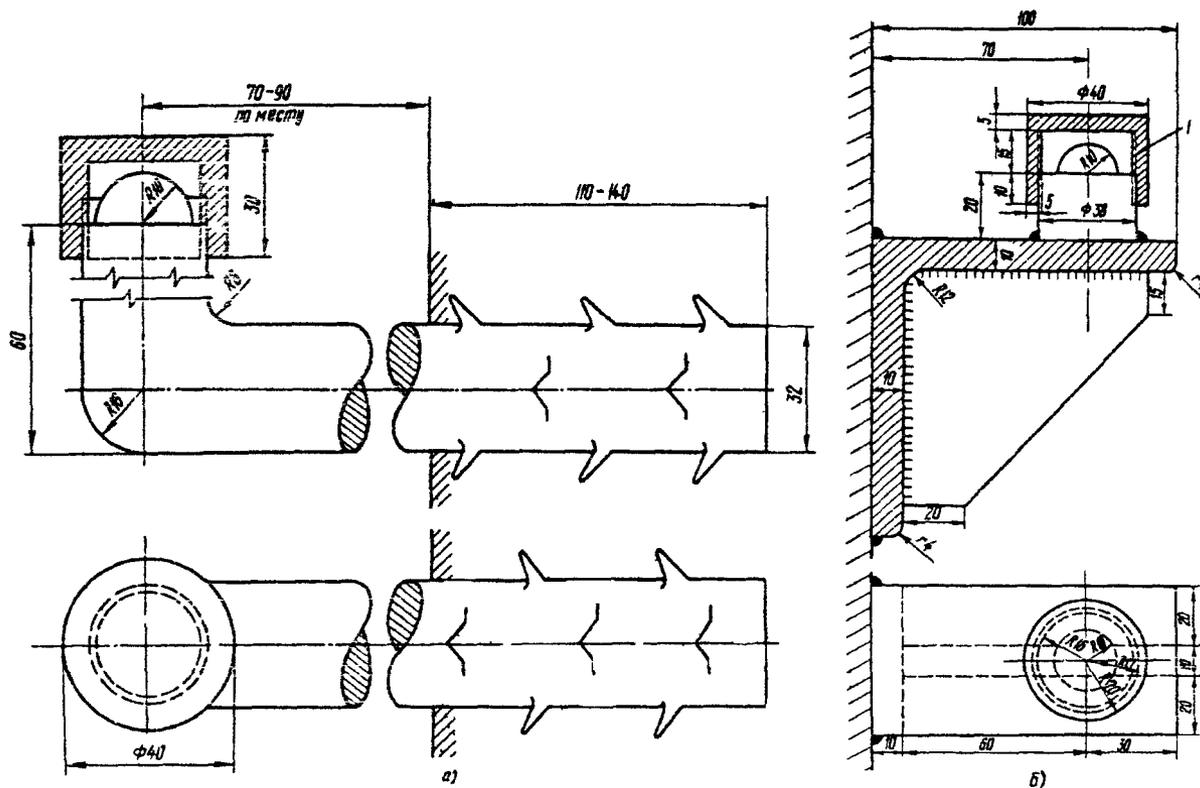
- в насыпных неоднородных по составу грунтах, процесс уплотнения которых не закончен
 - в просадочных грунтах
 - в заторфованных грунтах
 - в вечномерзлых грунтах
 - в набухающих грунтах
- применять реперы, заанкеренные или забитые в коренные грунты на глубину не менее 1,5 м ниже насыпной толщи, защищенные колодцами и предохраненные от смерзания с окружающим грунтом;
- заделывать нижний конец репера на глубину не менее 1 м в песчаные или не менее 2 м в глинистые подстилающие грунты, а также не менее 5 м при толщине слоя просадочного грунта более 10 м;
- применять забивные сваи, погруженные до плотных малодеформируемых грунтов;
- заделывать нижний конец репера на глубину не менее 1 м ниже подошвы залегания набухающих грунтов. При значительной толщине набухающего слоя грунта башмак репера должен располагаться на глубине, где природное давление превышает давление набухания.
-

Реперы должны размещаться:

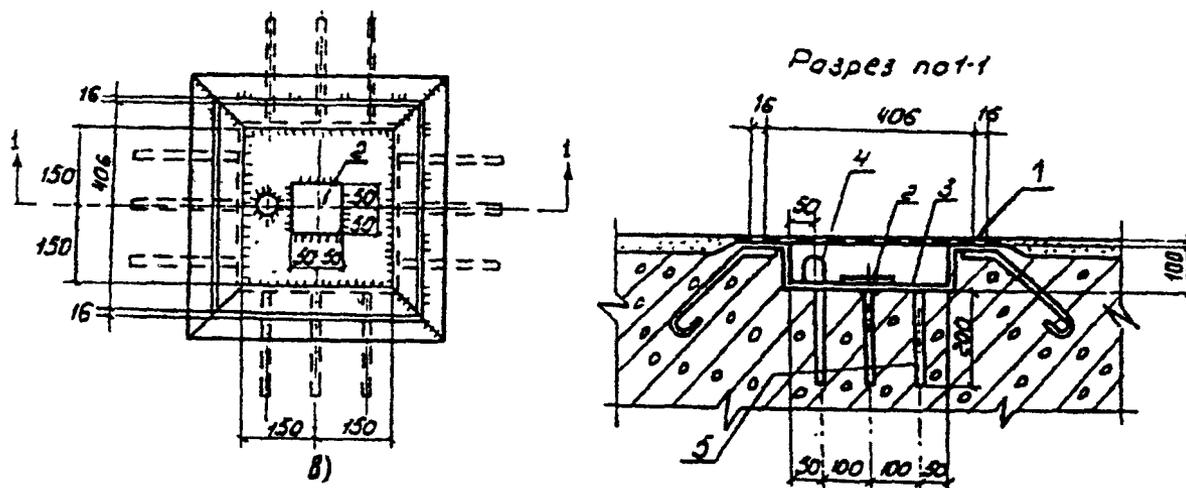
- в стороне от проездов, подземных коммуникаций, складских и других территорий, где возможно разрушение или изменение положения репера;
- вне зоны распространения давления от здания или сооружения;
- вне пределов влияния осадочных явлений, оползневых склонов, нестабилизированных насыпей, торфяных болот, подземных выработок, карстовых образований и других неблагоприятных инженерно-геологических и гидрогеологических условий;
- на расстоянии от здания (сооружения) не менее тройной толщины слоя просадочного грунта;
- на расстоянии, исключающем влияние вибрации от транспортных средств, машин, механизмов;
- в местах, где в течение всего периода наблюдений возможен беспрепятственный и удобный подход к реперам для установки геодезических инструментов

- После установки репера на него должна быть передана высотная отметка от ближайших пунктов государственной или местного значения геодезической высотной сети. При значительном (более 2 км) удалении пунктов геодезической сети от устанавливаемых реперов допускается принимать условную систему высот.
- На каждом репере должны быть обозначены наименование организации, установившей его, и порядковый номер знака.
- Установленные репера необходимо сдать на сохранение строительной или эксплуатирующей организациям по актам.

Конструкции деформационных марок



Конструкции деформационных марок

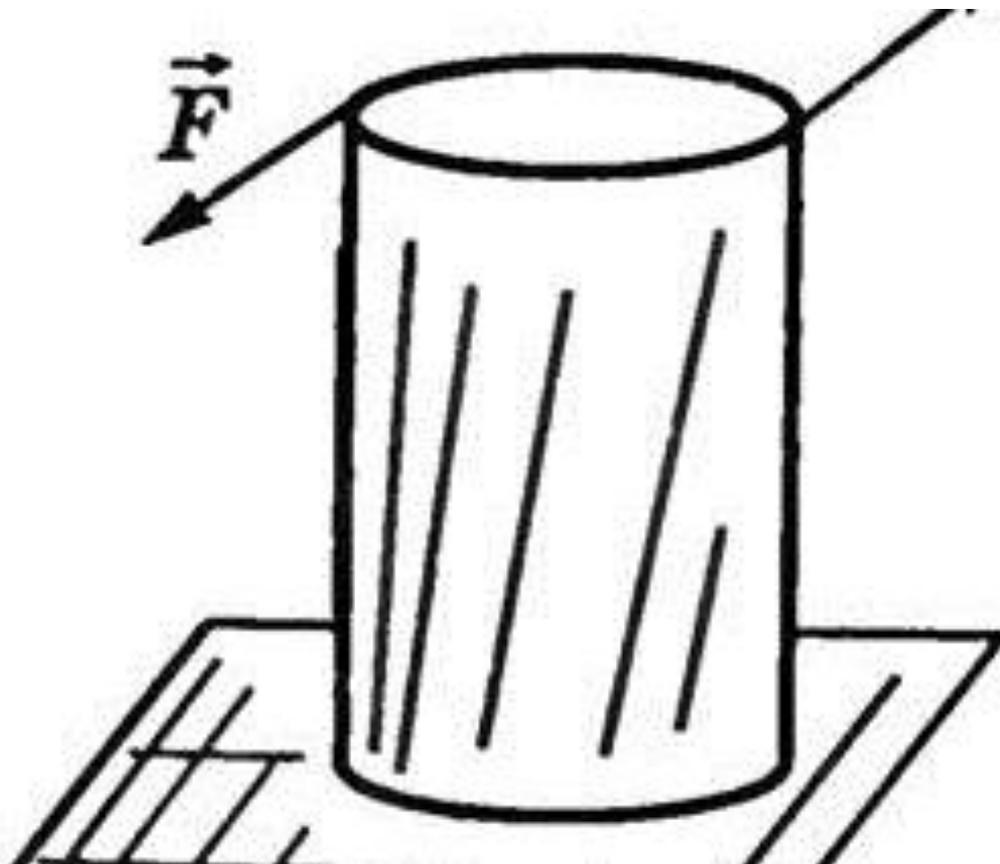


- а - тип «а» для кирпичных стен и железобетонных конструкций, материал - Ст 3, б - тип «б» для металлических колонн, материал - Ст 3 прокатная равнобокая (ГОСТ 8509-93 [2]); в - тип «в» - для фундаментов турбоагрегатов и гидротехнических сооружений; 1 - защитный колпак (крышка) осадочной марки, 2 - нивелирная марка (нержавеющая сталь); 3 - металлический короб; 4 - пластина для гидроуровня (нержавеющая сталь); 5 - штыри (Ст 3)
-

- Деформационные марки для определения вертикальных перемещений устанавливаются в нижней части несущих конструкций по всему периметру здания (сооружения), внутри его, в том числе на углах, на стыках строительных блоков, по обе стороны осадочного или температурного шва, в местах примыкания продольных и поперечных стен, на поперечных стенах в местах пересечения их с продольной осью, на несущих колоннах, вокруг зон с большими динамическими нагрузками, на участках, с неблагоприятными геологическими условиями (рекомендуемое приложение 4).
- Конкретное расположение деформационных марок на зданиях и сооружениях, а также конструкции марок должна определять организация, выполняющая измерения, по согласованию с проектной, строительной или эксплуатирующей организацией, учитывая конструктивные особенности (форму, размеры, жесткость) фундамента здания или сооружения, статические и динамические нагрузки на отдельные их части, ожидаемую величину осадки и ее неравномерность, инженерно-геологические и гидрогеологические условия строительной площадки, особенности эксплуатации здания или сооружения, обеспечение наиболее благоприятных условий производства работ по измерению перемещений.

Подготовка к измерениям горизонтальных перемещений и кренов

- Установить опорные знаки в виде неподвижных в горизонтальной плоскости столбов, снабженных центрировочными устройствами в верхней части знаков для установки геодезического инструмента; в качестве опорных знаков допускается использовать обратные отвесы и реперы;
- Установить деформационные марки, размещаемые непосредственно на наружных и внутренних частях зданий или сооружений;
- ориентирные знаки в виде неподвижных в горизонтальной плоскости столбов; в качестве ориентирных знаков допускается использовать пункты триангуляции или удобные для визирования точки зданий и сооружений.



5. Наблюдения за осадками сооружений

5. Наблюдения за осадками сооружений

- высокая точность и быстрота измерений,
- простое и недорогое стандартное оборудование,
- возможность выполнять измерения в сложных и стесненных условиях.

Программа
измерения
деформаций



Метод

Требуемая
точность
измерений

Конструктивные
особенности
фундамента

Инженерно-
геологические
и гидрологические
характеристики
грунтов
основания

Возможности
применения и
экономическая
целесообразность
метода в данных
условиях

- геометрическим нивелированием
- тригонометрическим нивелированием
- гидростатическим нивелированием
- фотограмметрии

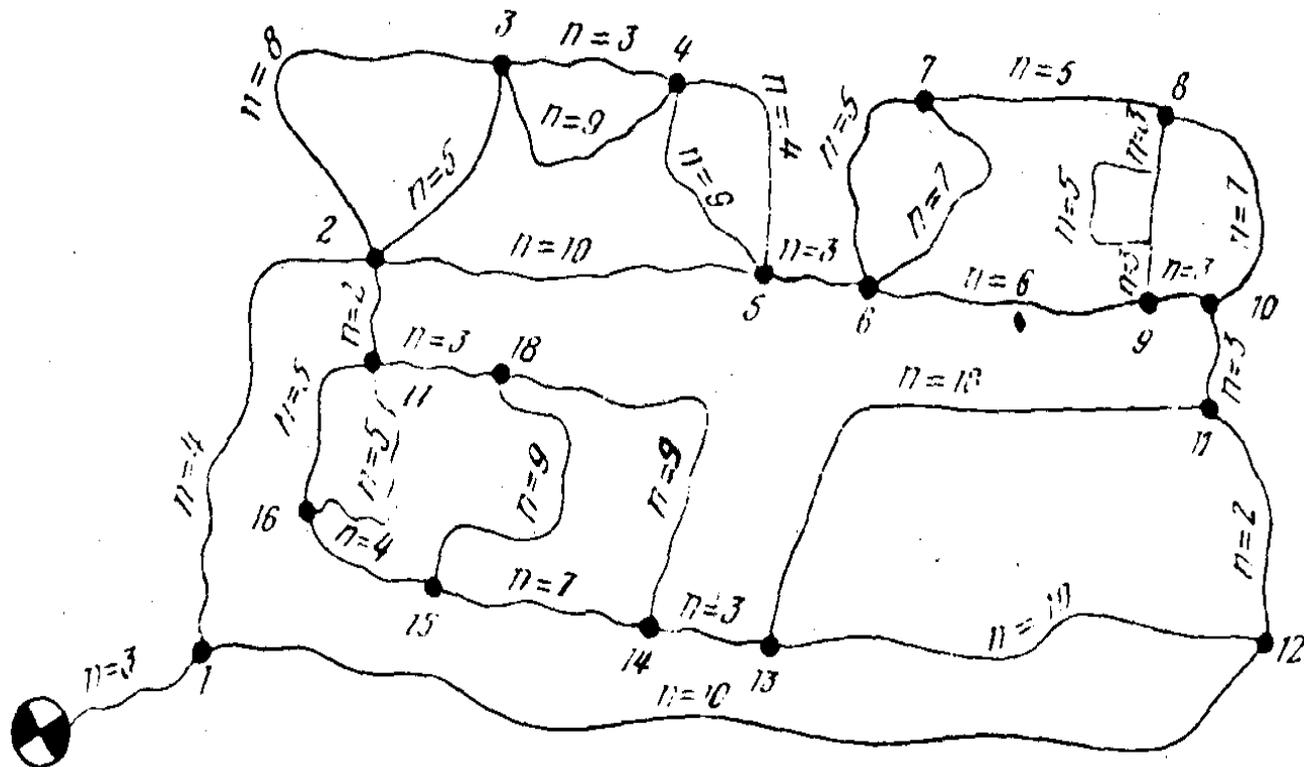
5. Наблюдения за осадками сооружений

Условия геометрического нивелирования		Основные технические характеристики и допуски для геометрического нивелирования классов			
		I	II	III	IV
Применяемые нивелиры \sqrt{n}		Н-05 и равноточные ему		Н-3 и равноточные ему	
Применяемые рейки		РН-05 (односторонние штриховые с инварной полосой и двумя шкалами)		РН-3 (двусторонние шашечные)	
Число станций незамкнутого хода, не более		2	3	5	8
Визирный луч	Длина, м, не более	25	40	50	100
	Высота над препятствием, м, не менее	1,0	0,8	0,5	0,3
Неравенство плеч (расстояний от нивелира до реек), м, на станции, не более		0,2	0,4	1,0	3,0
Накопление неравенств плеч, м, в замкнутом ходе, не более		1,0	2,0	5,0	10,0
Допускаемая невязка, мм, в замкнутом ходе (n — число станций)		$\square 0,15$	$\square 0,5$	$\square 1,5$	$\square 5$

продолжение

Расположение	По меридианам и параллелям	Вдоль жел и автомоб. дорог, больших рек	-	-
Класс нивелирования	1 кл	2 кл	3 кл	4 кл
Длина плеча, м	50	65	75	100
Неравенство расстояний от нивелира до реек, м	0,5	1,0	2,0	5,0
Невязка, мм	$\pm 0,5\sqrt{L}$	$\pm \sqrt{L}$	$\pm 10\sqrt{L}$	$\pm 20\sqrt{L}$

Схема нивелирных ходов для наблюдений за осадками ТЭЦ



- Способом геометрического нивелирования можно определять разности высот точек, расположенных на расстоянии 5 — 10 м, с ошибкой 0,05 — 0,1 мм, а на несколько сотен метров — с ошибкой до 0,5 мм.

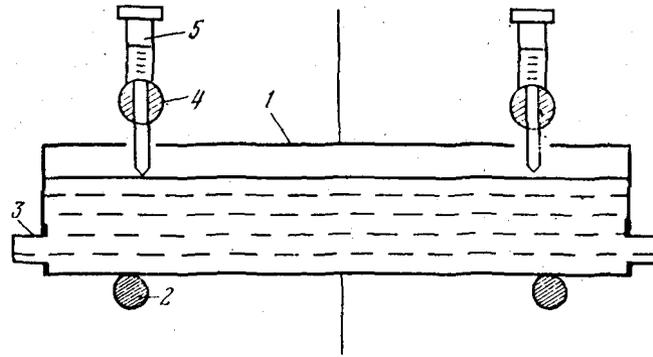
Метод тригонометрического нивелирования

- в условиях резких перепадов высот (больших насыпей, глубоких котлованов, косогоров и т. п.).
- следует выполнять короткими визирными лучами (до 100 м), точными (Т-2, Т-5 и им равноточными) и высокоточными (Т-0,5, Т-1 и им равноточными) теодолитами с накладными цилиндрическими уровнями
- Допускаемые погрешности измерения расстояний и вертикальных углов в зависимости от выбранного класса точности измерений не должны превышать величин, приведенных в табл.

Класс точности измерений	Допускаемая погрешность измерения			
	расстояний, мм, при значении вертикальных углов, град.		вертикальных углов, с, при их значениях, град.	
	до 10	св. 10 до 40	до 10	св. 10 до 40
II	7	1	2,5	1,5
III	15	3	5,0	3,0
IV	35	8	12,0	10,0

Метод гидростатического нивелирования следует применять

- для измерения относительных вертикальных перемещений большого числа точек, труднодоступных для измерений другими методами,
- а также в случаях, когда нет прямой видимости между марками
- или когда в месте производства измерительных работ невозможно пребывание человека



1 отрезок металлической трубы; 2 — стержень; 3 — шланг; 4 — марка; 5 — измеритель

Фото- и стереофотограмметрический способы

- В зависимости от решаемой задачи, условий фотосъемки, вида сооружения и т. д. применяют следующие способы:
- фотограмметрический. Деформации определяются в одной вертикальной плоскости, т. е. в плоскости, параллельной плоскости фотоснимка;
- стереофотографический. Деформации определяются по направлениям всех трех координат.



Метод створных
наблюдений,
отдельных направлений

• — I — III классы

Триангуляция
Трилатерация

• — I — IV классы

Фотограмметрия

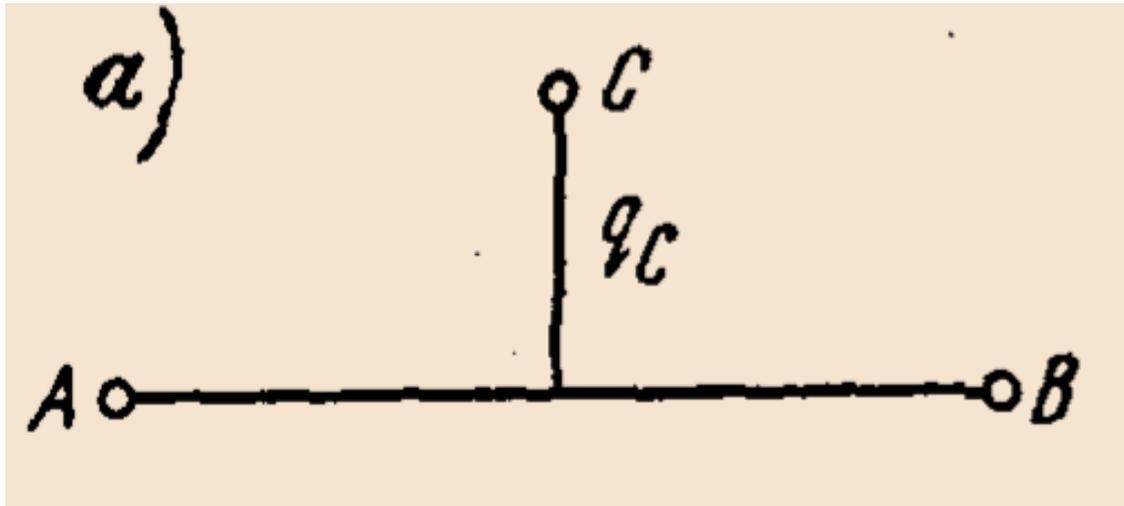
• — II — IV классы

Полигонометрия

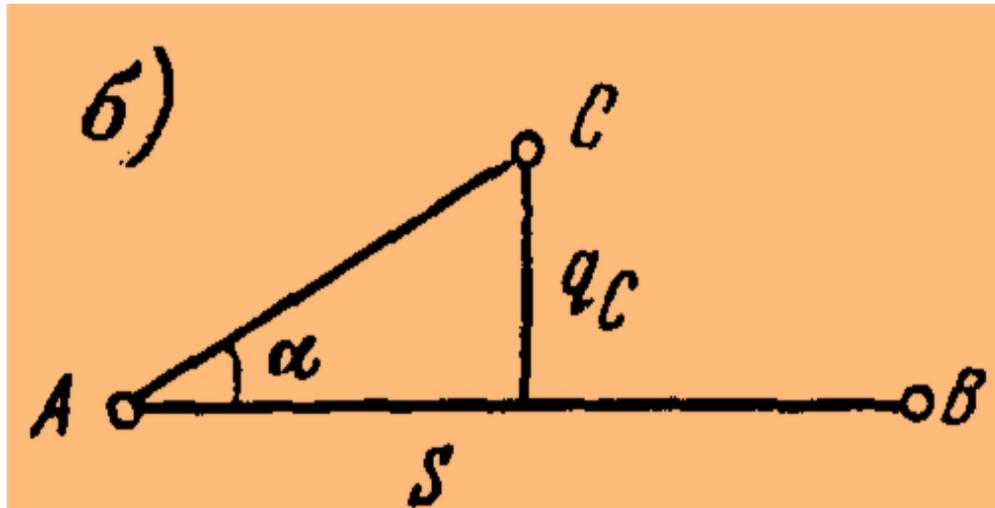
• — III — IV классы

- Отклонение деформационной марки от заданного створа во времени следует измерять **способами**:
 - подвижной визирной цели;
 - измерения малых (параллактических) углов при неподвижной визирной цели;
 - струны.

Способ подвижной визирной цели



Способ измерения малых углов

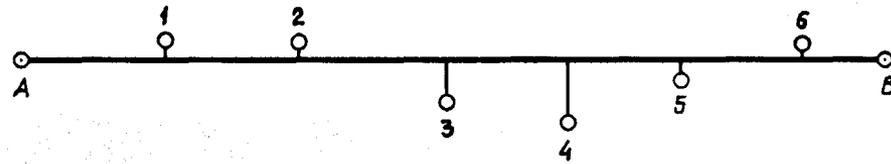


$$q_c = S\alpha / \rho$$

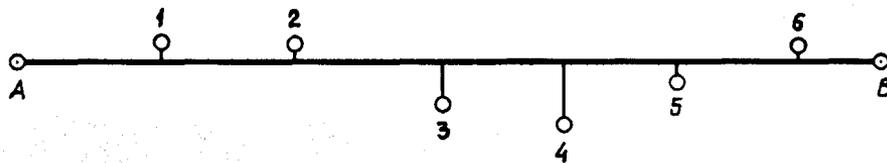
Число приемов и допускаемые средние квадратические погрешности измерения малых углов должны соответствовать приведенным в табл

Расстояние от опорного знака до марки, м	Допускаемая средняя квадратическая погрешность измерения угла, с	Число приемов для теодолита, снабженного	
		оптическим микрометром	окулярным микрометром
100 и менее	2,0	3	2
200	1,0	6	4
600 — 1000	0,5	12	6

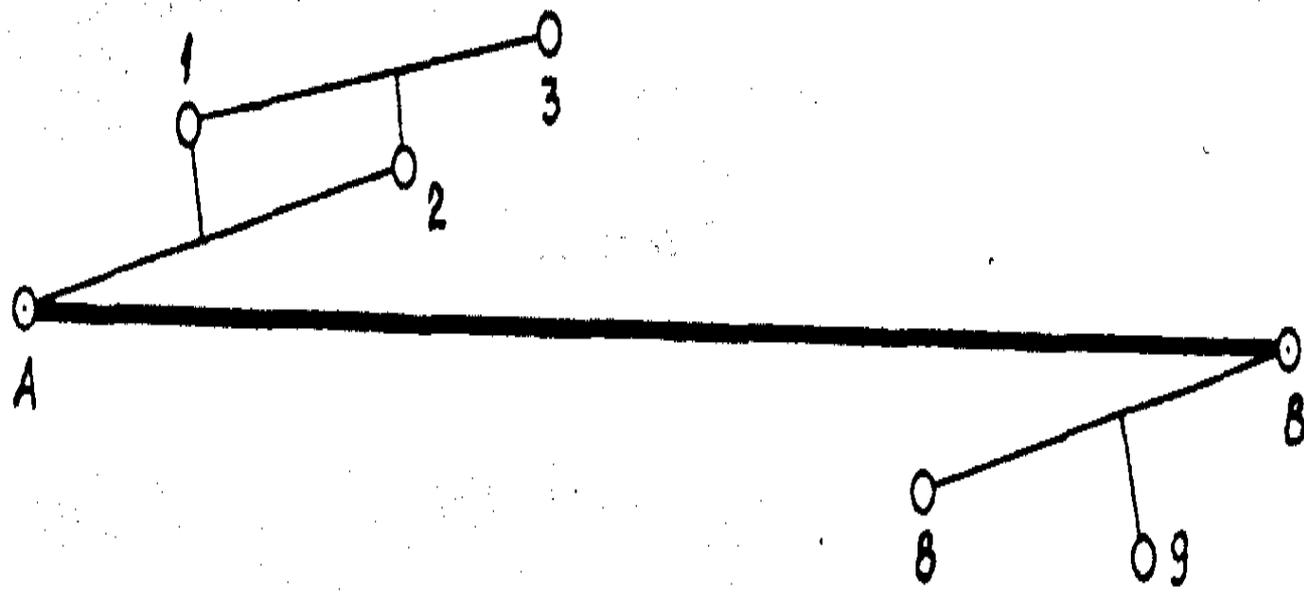
В схемах частных створов



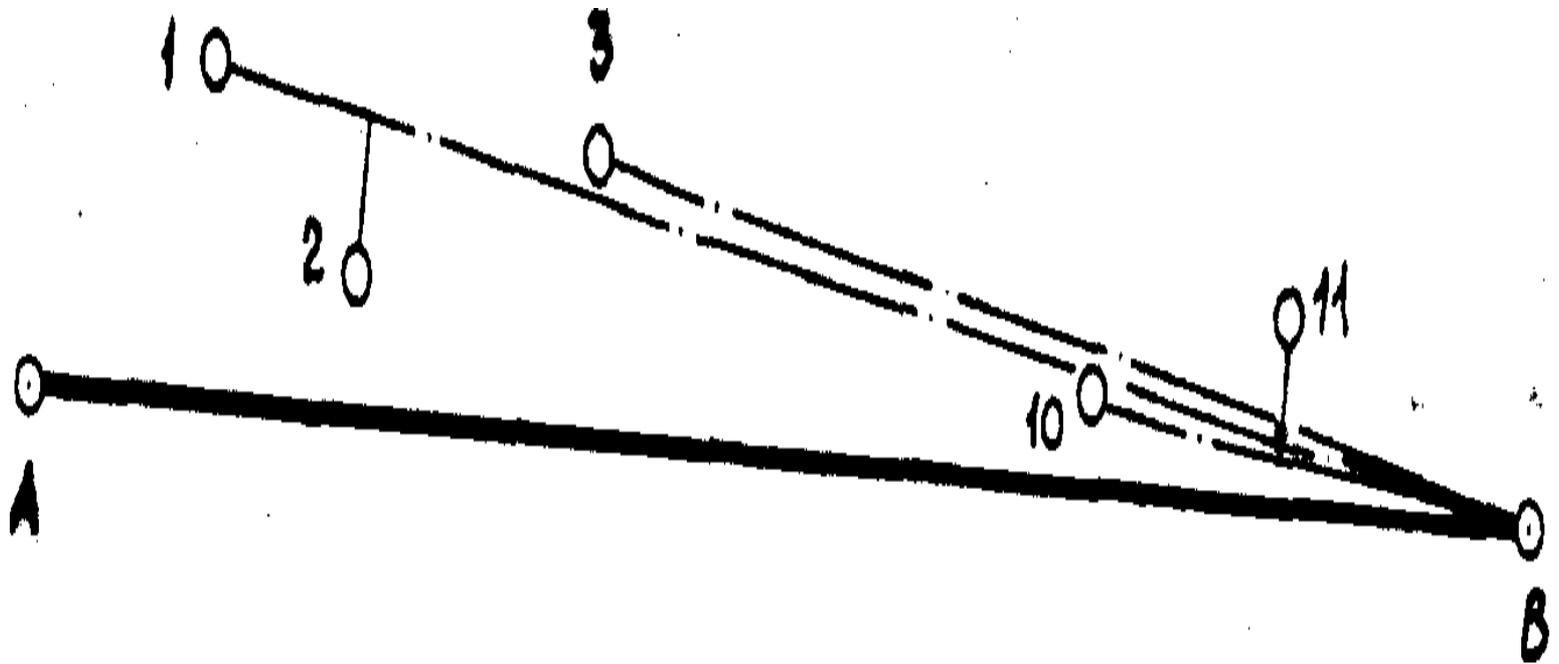
Общий створ



В схеме последовательных Створов



В схеме частных створов



для схемы последовательных
створОВ'

$$q_1 - \Delta_1 = 0;$$

$$q_2 - q_1 \frac{S_{2,\Pi}}{S_{1,\Pi}} - \Delta_2 = 0;$$

$$q_i - q_{i-1} \frac{S_{i,\Pi}}{S_{i-1,\Pi}} - \Delta_i = 0;$$

$$q_n - q_{n-1} \frac{S_{n,\Pi}}{S_{n-1,\Pi}} - \Delta_n = 0;$$

для схемы частных створов

$$q_1 - q_2 \frac{S_{I,1}}{S_{I,2}} - \Delta_1 = 0;$$

$$q_2 - q_1 \frac{S_{2,3}}{S_{1,3}} - q_3 \frac{S_{1,2}}{S_{1,3}} - \Delta_2 = 0;$$

$$q_i - q_{i-1} \frac{S_{i,i+1}}{S_{i-1,i+1}} - q_{i+1} \frac{S_{i-1,i}}{S_{i-1,i+1}} - \Delta_i = 0;$$

$$q_n - q_{n-1} \frac{S_{n,\Pi}}{S_{n-1,\Pi}} - \Delta_n = 0.$$

- На практике расстояния между точками створа стараются сделать равными. В этом случае нестворность q_i любой определяемой точки i в схемах последовательных и частных створов может быть вычислена соответственно по формулам

$$q_i = \sum_{k=1}^{k=i} \Delta_{i+1-k} \frac{n-i+1}{n-k+1};$$

$$q_i = \frac{2}{n+1} \left[(n-i+1) \sum_{k=1}^{k=i-1} k \Delta_k + i \sum_{k=i}^{k=n} (n-k+1) \Delta_k \right],$$

Метод отдельных направлений

Теодолит	Необходимое число круговых приёмов	Допускаемые погрешности измерений, с			
		Замыкание горизонта	Колебание направлений в отдельных приёмах	Колебание двойной коллимационной ошибки (2C) в приёме	Средняя квадратическая погрешность направления
T-05	9	3	3	10	0.5
T-1	12	4	4	10	1.0

Определение крена

- способы вертикального проектирования, координат, углов и др.

В способе координат

- В *способе координат* вокруг сооружения на расстоянии, равном полутора-двум его высотам, прокладывают замкнутый полигонометрический ход и вычисляют в условной системе координаты его пунктов. С **этих** пунктов через определённые промежутки **времени** прямой засечкой определяют координаты точек на сооружении. По разностям координат в двух циклах наблюдений находят составляющие крена по осям координат, полную величину крена и его направление.

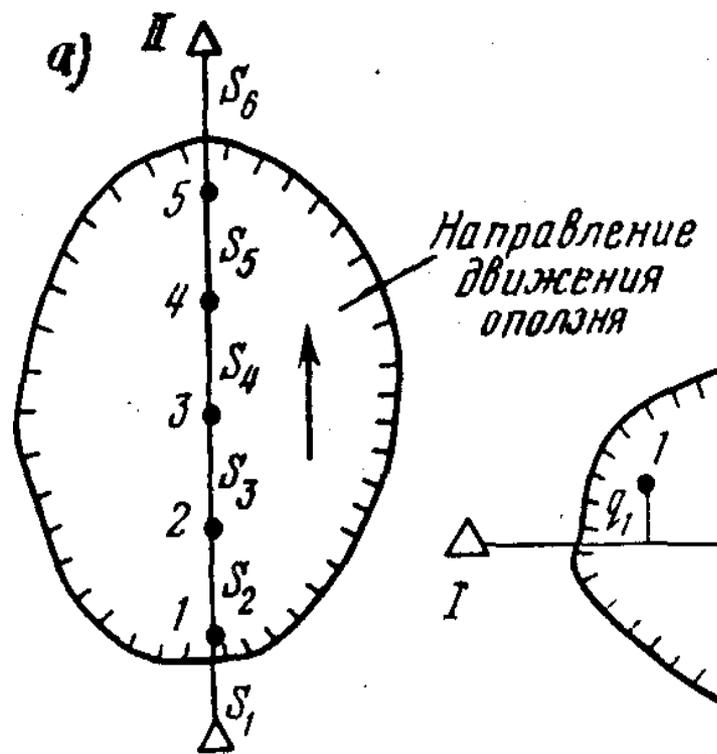
Способ горизонтальных углов

- применяют, если основание сооружения закрыто для наблюдений. При этом способе с опорных пунктов, расположенных на взаимно перпендикулярных осях, периодически измеряют углы между направлением на определяемую верхнюю точку и опорным направлением. По величине изменения наблюдаемых углов и горизонтальному проложению до наблюдаемой точки находят составляющие крена по осям и полную величину крена.

Наблюдения за оползнями выполняют различными геодезическими методами. В зависимости от вида и активности оползня, направления и скорости его перемещения эти методы подразделяют на четыре группы:

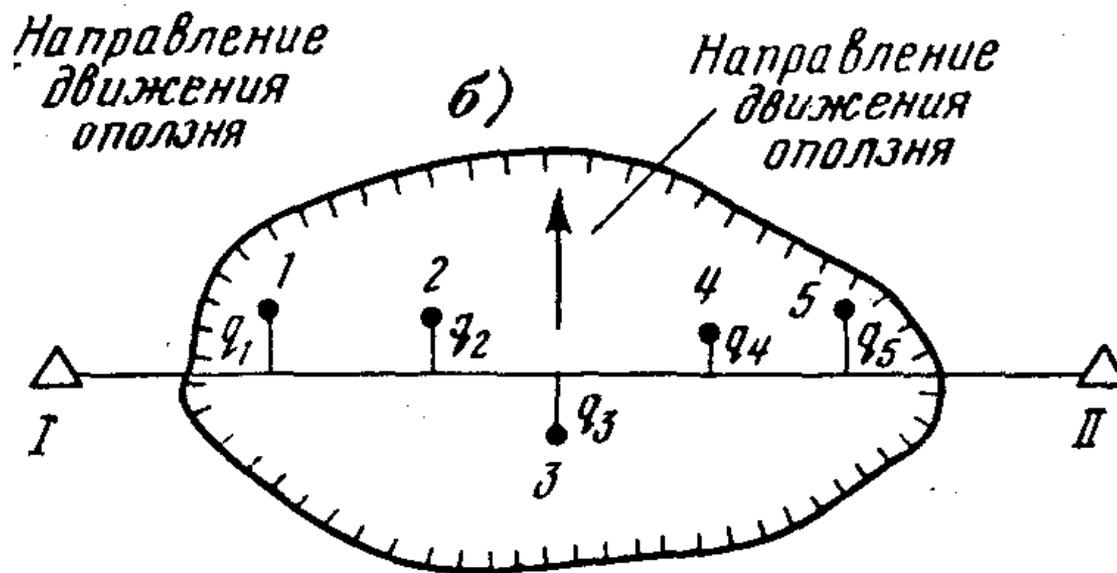
- осевые (одномерные), когда смещения фиксированных на оползне точек определяют по отношению к заданной линии или оси;
- плановые (двумерные), когда смещения оползневых точек наблюдают по двум координатам в горизонтальной плоскости;
- высотные — для определения только вертикальных смещений;
- пространственные (трехмерные), когда находят полное смещение точек в пространстве по трем координатам.

Осевые методы применяют в тех случаях, когда направление движения оползня известно.

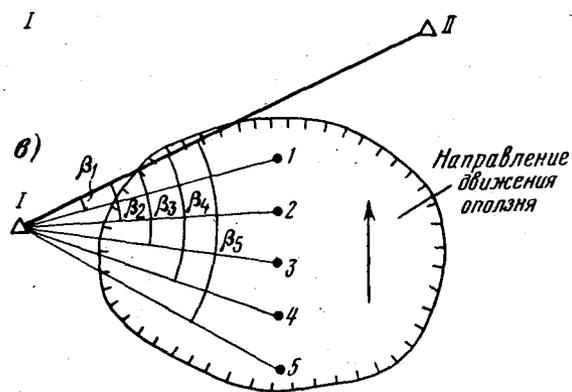


метод расстояний (рис. 24.8, а), заключающийся в измерении расстояний по прямой линии между знаками, установленными вдоль движения оползня;

метод створов (рис. 24.8, б), оборудованных в направлении, перпендикулярном движению оползня;



лучевой метод (рис. 24.8, в), заключающийся в определении смещения оползневой точки по изменению направления визирного луча с исходного знака на оползневой.



К плановым относятся

- методы прямых, обратных, линейных засечек,
- полигонометрии,
- комбинированный метод, сочетающий измерение направлений, углов, расстояний и отклонений от створов.