

Глава 9. НАБЛЮДЕНИЕ ЗА ДЕФОРМАЦИЯМИ СООРУЖЕНИЙ ГЕОДЕЗИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

9.1. Общая характеристика деформаций

9.1.1. Виды деформаций

Сооружения в целом и их отдельные элементы испытывают различного вида деформации вследствие разных причин (рис. 9.1).

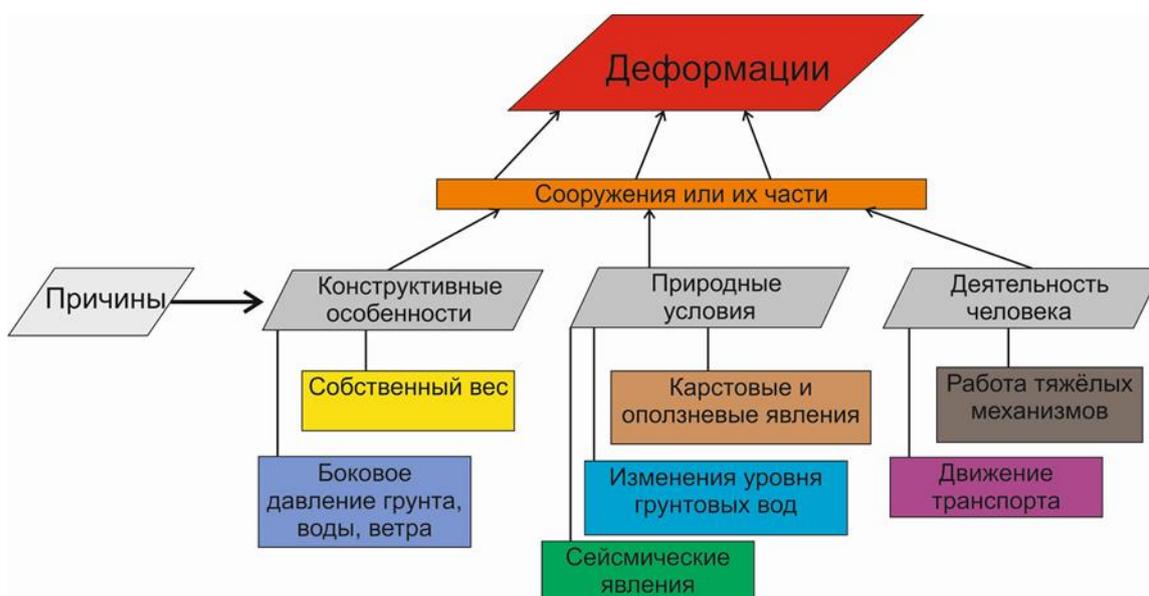


Рис. 9.1. Причины деформаций сооружений

В общем случае под термином *деформация* понимают изменение формы объекта наблюдений. В геодезической же практике принято рассматривать деформацию как изменение положения объекта относительно какого-либо первоначального положения [6].

Нормативный документ [5] определяет следующие виды деформаций:

- вертикальные перемещения (осадки, просадки, подъемы);
- горизонтальные перемещения (сдвиги);
- крены.

Осадка – смещение сооружения в вертикальной плоскости; *просадка* – быстро протекающая осадка сооружения при коренном изменении структуры пористых и рыхлых грунтов; *сдвиг* – смещение сооружения в горизонтальной плоскости; *крен* – неравномерная осадка сооружения.

Для определения деформаций сначала фиксируют точки в характерных местах сооружения. Далее определяют изменение пространственного положения зафиксированных точек за выбранный промежуток времени относительно начального положения объекта.

9.1.2. Параметры оценки деформаций

Деформация сооружений характеризуется параметрами, показанными на рис. 9.2.



Рис. 9.2. Параметры оценки деформаций сооружений

Абсолютная или полная осадка. Абсолютной или полной осадкой S определенного фундамента или строительного блока называют разность абсолютных высот (отметок) начального и текущего цикла наблюдений, определенных относительно исходной точки [12]:

$$s = H_{\text{нач}} - H_{\text{тек}}. \quad (9.1)$$

Средняя осадка (наибольшая и наименьшая). Средняя осадка $s_{\text{ср}}$ всего сооружения или отдельных его частей вычисляется как среднее арифметическое из суммы осадок всех n его точек, т. е.

$$s_{\text{ср}} = \sum_1^n s / n. \quad (9.2)$$

Одновременно со средней осадкой для полноты общей характеристики указывают наибольшую $s_{\text{наиб}}$ и наименьшую $s_{\text{наим}}$ осадки точек сооружений [6].

Неравномерность осадки (относительный крен) может быть определена по разности осадок Δs каких-либо двух точек 1 и 2, т. е. [6]

$$\Delta S_{1,2} = s_2 - s_1 \quad (9.3)$$

Крен или *наклон* сооружения определяют как разность осадок двух точек, расположенных на противоположных краях сооружения, или его частей вдоль выбранной оси. Наклон в направлении продольной оси называют *завалом*, а в направлении поперечной оси – *перекосом*. Величина крена, отнесенная к расстоянию l между двумя точками 1 и 2, называется *относительным креном* K , который вычисляется по формуле [6]

$$K = (s_2 - s_1) / l. \quad (9.4)$$

Горизонтальное смещение q отдельной точки сооружения характеризуется разностью ее координат $x_{\text{тек}}$, $y_{\text{тек}}$ и $x_{\text{нач}}$, $y_{\text{нач}}$ полученных в текущем

и начальном циклах наблюдений. Положение осей координат, как правило, совпадает с главными осями сооружения. Вычисляют смещения в общем случае по формулам

$$q_x = x_{\text{тек}} - x_{\text{нач}}; q_y = y_{\text{тек}} - y_{\text{нач}}. \quad (9.5)$$

Аналогично можно вычислить смещения между предыдущим и последующим циклами наблюдений. Горизонтальные смещения определяют и по одной из осей координат [6].

Угол закручивания сооружения. Кручение относительно вертикальной оси характерно в основном для сооружений башенного типа. Оно определяется как изменение углового положения радиуса фиксированной точки, проведенного из центра исследуемого горизонтального сечения [6].

Относительным прогибом фундамента называют отношение стрелы прогиба фундамента к длине однозначно изгибаемого участка сооружения L [12]

$$\frac{f}{L} = \frac{2s_2 - (s_1 - s_3)}{2L} = \frac{2s_2 - s_1 - s_3}{2L}, \quad (9.6)$$

где s_1 и s_3 – осадки концов рассматриваемого участка сооружения; s_2 – наибольшая осадка на том же участке.

Средняя скорость деформации, среднемесячная, среднегодовая. Изменение величины деформации за выбранный интервал времени характеризуется *средней скоростью деформации* $v_{\text{ср}}$. Так, например, средняя скорость осадки исследуемой точки за промежуток времени t между двумя циклами i и j измерений будет равна

$$v_{\text{ср}} = (S_j - S_i)/t. \quad (9.7)$$

Различают среднемесячную скорость, когда t выражается числом месяцев, и среднегодовую, когда t – число лет, и т. д. [6].

9.2. Организация наблюдений за деформациями

Основной целью наблюдений является определение величин деформации для оценки устойчивости сооружения и принятия своевременных профилактических мер, обеспечивающих нормальную работу сооружения [5]. Решаемые задачи:

- определение абсолютных и относительных величин деформаций и сравнения их с расчетными;
- выявление причин возникновения и степени опасности деформаций для нормальной эксплуатации зданий и сооружений; принятие своевременных мер по борьбе с возникающими деформациями или устранению их последствий;
- получение необходимых характеристик устойчивости оснований и фундаментов;
- уточнение расчетных данных физико-механических характеристик грунтов;

- уточнение методов расчета и установления предельных допустимых величин деформаций для различных грунтов оснований и типов зданий и сооружений.

9.2.1. Последовательность наблюдений

Наблюдения за деформациями оснований фундаментов производят в следующей последовательности [5]:

- разработка программы измерений;
- выбор конструкции, места расположения и установка исходных геодезических знаков высотной и плановой основы;
- осуществление высотной и плановой привязки установленных исходных геодезических знаков;
- установка деформационных марок на зданиях и сооружениях;
- инструментальные измерения величин вертикальных и горизонтальных перемещений и кренов;
- обработка и анализ результатов наблюдений.

9.2.2. Программа наблюдений

Программа проведения измерений составляется организацией, производящей измерения, на основе технического задания, выдаваемого проектно-изыскательской или научно-исследовательской организацией по согласованию с организациями, осуществляющими строительство или эксплуатацию (рис. 9.3) [5].

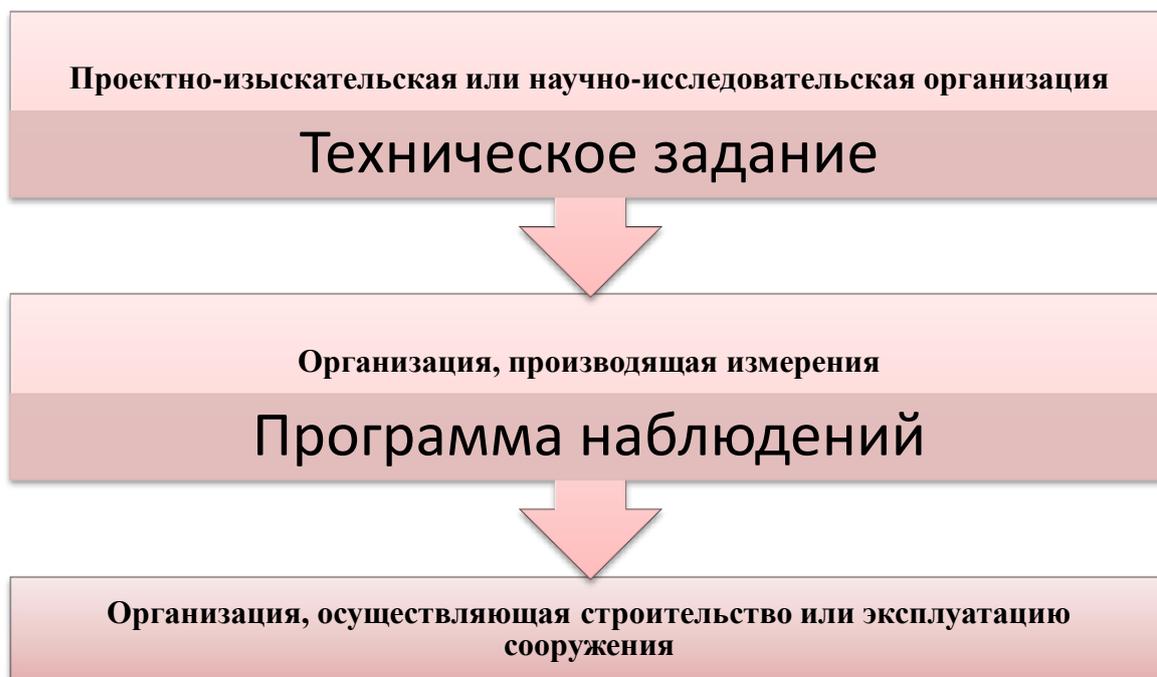


Рис. 9.3. Составление программы наблюдений

В программе проведения измерений деформации оснований фундаментов зданий и сооружений должны быть приведены (согласно [5]):

- техническое задание на производство работ;
- общие сведения о сооружении, природных условиях и режиме его работы;
- схема 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 смета.

Для сложных и ответственных сооружений наблюдения начинают одновременно с проектированием. На площадке будущего строительства изучают влияние природных факторов и создают систему опорных знаков для определения степени их устойчивости.

9.3. Точность и периодичность наблюдений

Предварительное определение точности измерения вертикальных и горизонтальных деформаций необходимо выполнять в зависимости от ожидаемой величины перемещения, установленной проектом, в соответствии с табл. 9.1 [5].

На основании определенной по табл. 9.1 допускаемой погрешности, устанавливается *класс точности* измерения вертикальных и горизонтальных перемещений фундаментов зданий и сооружений согласно табл. 9.2 [5].

Таблица 9.1

Допускаемая погрешность измерения перемещений (мм)

	Строительный период		Эксплуатационный период	
	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

Таблица 9.2

Определение класса точности измерений (мм)

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

При отсутствии данных по расчетным величинам деформаций оснований фундаментов класс точности измерения вертикальных и горизонтальных перемещений допускается устанавливать [5]:

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.

Измерения деформаций оснований фундаментов строящихся зданий и сооружений проводят в течение всего периода строительства и в период эксплуатации до достижения условной стабилизации деформаций. В случае появления недопустимых трещин, раскрытия швов, а также резкого изменения условий работы здания или сооружения измерения деформаций возобновляют [5].

Начальный *цикл наблюдений* проводят с целью определения исходных отметок опорных реперов и марок, которые будут являться эталонами на весь период наблюдений. Нивелирование проводят не ранее, чем через 10 дней установки реперов [30].

Второй цикл наблюдений осуществляют после возведения фундамента, а последующие проводят периодически через 10–30 дней до получения полной нагрузки на основание. Для удобства подсчёта давления на грунт измерение связывают с окончанием определенного этапа строительных работ (кладка цоколя, кладка стен по этажам и т.д.). Всего должно быть проведено не менее четырёх циклов наблюдений, каждый цикл приурочивают к периоду, когда нагрузка на основание достигает 25, 50, 75 и 100 % проектной мощности здания и сооружения [30].

Выбор времени между циклами измерений зависит от вида сооружения, периода его работы, скорости изменения деформации и других факторов. 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 [5]. Повторное нивелирование марок выполняют согласно принятой схеме ходов.

9.4. Основные типы геодезических знаков и их размещение

Применяемые для наблюдений геодезические знаки различают по назначению. Это опорные, вспомогательные и деформационные знаки. Знаки также делятся на плановые и высотные.

Опорные знаки служат исходной основой, относительно которой определяются смещения деформационных знаков. Закрепляются они с расчетом на устойчивость и длительную сохранность [35].

Вспомогательные знаки являются связующими в схеме измерений и используются для передачи координат от опорных знаков к деформационным [35].

Деформационные марки – контрольные геодезические знаки, размещаемые на зданиях и сооружениях, для которых определяются вертикальные перемещения [5]. Деформационные знаки закрепляются непосредственно на исследуемом сооружении и, перемещаясь вместе с ним, характеризуют изменение его положения в пространстве [35].

9.4.1. Геодезические знаки для измерения вертикальных перемещений

Глубинные и грунтовые реперы

В качестве опорных перед началом измерений вертикальных перемещений фундаментов устанавливают *реперы* – исходные геодезические знаки высотной основы (не менее трёх, чтобы обеспечить взаимный контроль за устойчивостью) [5]:

- для измерений I и II классов точности устанавливают *глубинные реперы*, основания которых закладываются в скальные, полускальные или другие коренные практически несжимаемые грунты [5];

- для измерений III и IV классов точности – *грунтовые реперы*, основания которых закладываются ниже глубины сезонного промерзания или перемещения грунта; *стенные реперы*, устанавливаемые на несущих конструкциях зданий и сооружений, осадка фундаментов которых практически стабилизировалась [5].

Реперы размещают [5]:

- 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, исключая 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.

Конкретное расположение и конструкцию реперов определяет организация, выполняющая измерения. После установки репера на него передают высотную отметку 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 [5].

Для опорных высотных реперов применяют *трубчатые биметаллические конструкции*, в которых для учета изменения длины репера вследствие изменения температуры используют две трубы из разного материала, например стальную и дюралюминиевую [6].

Репер (рис. 9.4) 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.

Деформационные марки

Деформационные марки (рис. 9.5) для определения вертикальных перемещений устанавливаются в нижней части несущих конструкций по всему периметру здания (сооружения), внутри его, в том числе на углах (рис. 9.6), на несущих колоннах, вокруг зон с большими динамическими нагрузками, на участках, с неблагоприятными геологическими условиями и т.д. [5].

Конкретное расположение деформационных марок на зданиях и сооружениях, а также конструкции марок определяет организация, выполняющая измерения. При этом должны быть учтены конструктивные особенности (форма, размеры, жесткость) фундамента здания или сооружения, статические и динамические нагрузки на отдельные их части, ожидаемая величина 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 [5].

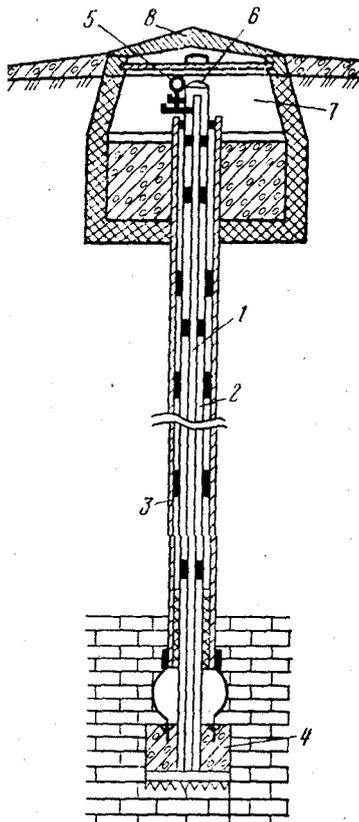


Рис. 9.4.
Биметаллический репер
(обозначения в тексте) [6]

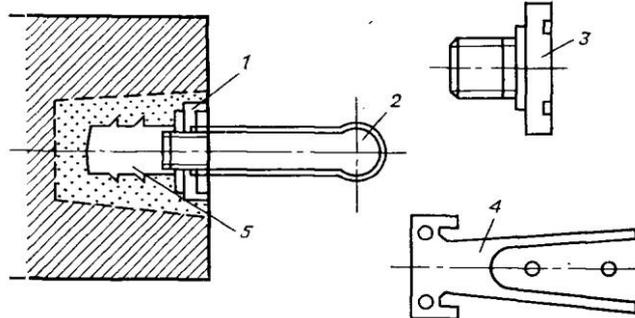


Рис. 9.5. Стенная закрытая марка: 1 –
головка, 2 – установочный марочный болт, 3 –
крышка, 4 – ключ, 5 – хвостовик [30]

марок на колоннах и углах здания [30]

Рис
9.6.
Схе
ма
раз
ме
ще
ния

9.4.2. Геодезические знаки для измерения горизонтальных перемещений

Для измерения горизонтальных перемещений и кренов фундаментов зданий (сооружений) используют три вида знаков [5]:

- 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;
- 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.

Для плановых опорных знаков широко применяют трубчатые конструкции. Основной деталью знака является стальная труба диаметром от 100 до 300 мм, заглубляемая и бетонируемая в грунте не менее чем на 1 м ниже верхней границы твердых коренных пород. Верхний конец трубы заканчивается фланцем, к которому крепится головка знака. Вокруг основной

трубы сооружается защитная труба. Пространство между основной и защитной трубами в нижней части заполняется битумом, а в верхней – легким теплоизоляционным материалом. Знак закрывается крышкой. Конструкция головки знака может быть разной и зависит от применяемых для наблюдений приборов [6].

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 [6].

Деформационные знаки для определения горизонтальных смещений гражданских и промышленных зданий размещаются по периметру, но не реже, чем через 15 – 20 м по углам и по обе стороны осадочных швов. На плотинах гидроузлов знаки устанавливаются в галереях и по гребню (верх плотины) не менее двух марок на секцию. На подпорных стенках, причальных сооружениях и т. п. размещают не менее двух марок на каждые 30 м [6].

9.5. Наблюдения за осадками сооружений

Согласно [5] вертикальные перемещения оснований фундаментов измеряют одним из следующих методов или их комбинированием (рис. 9.7).



Рис. 9.7. Методы наблюдений за осадками сооружений

9.5.1. Метод геометрического нивелирования

Этот метод применяют наиболее широко, так как он обладает рядом достоинств, а именно: высокая точность и быстрота измерений, простое и недорогое стандартное оборудование, возможность выполнять измерения в сложных и стесненных условиях [6].

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.

В зависимости от требуемой точности определения осадок применяются различные классы нивелирование. Так, например, при определении осадок бетонных плотин гидроузлов применяют I и II классы, которые характеризуются средней квадратической ошибкой измерения превышения на одной станции соответственно 0,3 и 0,4 мм. При определении осадок промышленных и гражданских зданий чаще всего применяют II и III классы, для которых средние квадратические ошибки измерения превышения на станции соответственно равны 0,4 и 0,9 мм (рис. 9.8) [6].

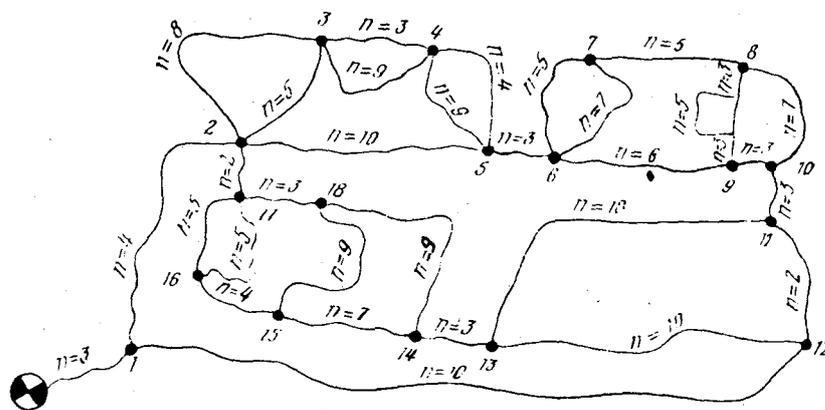


Рис. 9.8. Схема нивелирных ходов для наблюдений за осадками ТЭЦ [6]

Основные технические характеристики и допуски для геометрического нивелирования принимают в соответствии с табл. 9.3 [5].

Таблица 9.3

Основные технические характеристики и допуски для геометрического нивелирования

Условия геометрического нивелирования		Классы нивелирования			
		I	II	III	IV
Применяемые нивелиры		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,	1,0	0,8	0,5	0,3

Условия геометрического нивелирования	Классы нивелирования			
	I	II	III	IV
м, не менее				
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)	$\pm 0,15\sqrt{n}$	$\pm 0,5\sqrt{n}$	$\pm 1,5\sqrt{n}$	$\pm 5\sqrt{n}$

9.5.2. Метод тригонометрического нивелирования

Тригонометрическое нивелирование применяют при измерениях вертикальных перемещений фундаментов в условиях резких перепадов высот (больших насыпей, глубоких котлованов, косогоров и т. п.). Измерение вертикальных перемещений методом тригонометрического нивелирования выполняют 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. 9.4 [5].

Таблица 9.4

Допускаемая погрешность измерения при тригонометрическом нивелировании

Класс точности измерений	Расстояние, мм, при значении вертикальных углов, град.		Вертикальные углы, 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

9.5.3. Метод гидростатического нивелирования

Гидростатическое нивелирование (переносным шланговым прибором или стационарной гидростатической системой, устанавливаемой по периметру фундамента) применяют 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 по условиям техники безопасности [5].

Гидронивелирование обеспечивает такую же точность, как и геометрическое нивелирование, но применительно к наблюдениям за осадками позволяет создавать стационарные автоматизированные системы с дистанционным съемом информации [6].

Простейшая система, используемая на гидротехнических сооружениях (рис. 9.9), состоит из отрезков металлических труб, уложенных на стержнях, заделываемых в стену. Отрезки труб соединяются между собой шлангами. Над трубой в точках, между которыми систематически определяются превышения, в стену закладываются марки с посадочными втулками для переносного измерителя. При измерениях измеритель вставляется во втулку марки. Вращением микрометричного винта измерителя добиваются контакта острия штока с жидкостью, о чем свидетельствует загорание сигнальной лампочки. В этот момент берется отсчет по барабану микрометра. При привязке гидростатической системы к опорной нивелирной сети на марку вместо измерителя устанавливается нивелирная рейка. Существуют автоматизированные системы гидростатического нивелирования, в которых изменение положения уровня жидкости в сосудах определяется автоматически с помощью электрических или оптико-электронных датчиков [6].

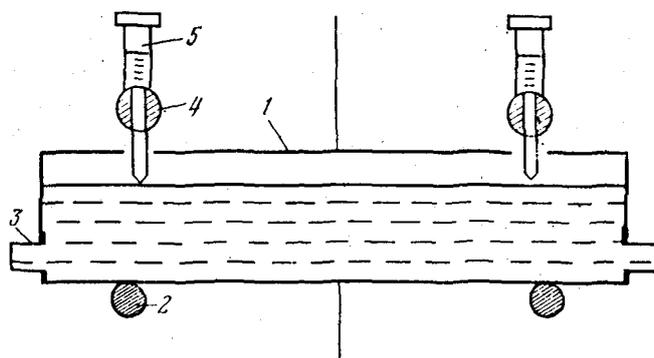


Рис. 9.9. Стационарная гидростатическая система: 1 – отрезок металлической трубы; 2 – стержень; 3 – шланг; 4 – марка; 5 – измеритель [6]

9.5.5. Фото- и стереофотограмметрический способы

Фото- и стереофотограмметрический способы предусматривают применение фототеодолита для фотосъемки исследуемого объекта. Определение деформаций вообще и в частности осадок этими способами заключается в измерении разности координат точек сооружения, найденных по фотоснимкам начального (или предыдущего) цикла и фотоснимках деформационного (или последующего) цикла [6].

В зависимости от решаемой задачи, условий фотосъемки, вида сооружения и т. д. применяют следующие способы [6]:

- ✓ *фотограмметрический*; деформации определяются в одной вертикальной плоскости ХОХ, т. е. в плоскости, параллельной плоскости фотоснимка;

- ✓ *стереофотографический*; деформации определяются по направлениям всех трех координат.

Тщательно выполненные измерения и соответствующий учет элементов ориентирования позволяет определять деформации сооружений фотограмметрическими способами со средней квадратической ошибкой менее 1,0 мм [6].

9.6. Наблюдения за горизонтальными смещениями сооружений

Организация наблюдений за горизонтальными смещениями объектов намного сложнее, чем при наблюдении за вертикальными перемещениями. Горизонтальные перемещения фундаментов зданий и сооружений измеряют одним из следующих методов или их комбинированием (рис. 9.10) [5].



Рис. 9.10. Методы наблюдения за горизонтальными смещениями сооружений

9.6.1. Метод линейно-угловых построений

Линейно-угловые построения используются для определения смещений по двум координатам; могут развиваться в виде микролокальных сетей триангуляции и трилатерации, комбинированных сетей, сетей полигонометрии, угловых и линейных засечек, ходов полигонометрии и др. Использование тех или иных сетей и способов определяется условиями измерений, характеристикой объекта и его сложностью, а также заданной точностью измерений. На рис. 9.11 показана схема линейно-угловых построений для регистрации оползневых процессов на карьере с некоторых базисов [6, 33].

Метод триангуляции применяют для измерения горизонтальных перемещений фундаментов зданий и сооружений, возводимых в пересечённой и горной местности, а также при невозможности обеспечить устойчивость концевых опорных знаков створа. Для метода триангуляции допускается применять условную систему координат. В этом случае оси координат X и Y должны совпадать с поперечной и продольной осями здания

(сооружения). Измерение горизонтальных углов следует выполнять с точностью согласно табл. 9.5 [5].

Таблица 9.5

Допускаемая средняя квадратическая погрешность измерения углов, с

Класс точности измерений	Расстояние, м					
	50	100	150	200	500	1000
I	8	4	3	2	1	-
II	20	10	7	5	2	1
III	40	20	14	10	4	2
IV	60	30	20	15	6	3

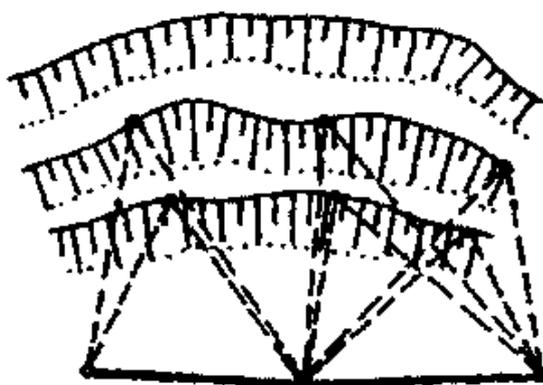


Рис. 9.11. Линейно-угловые построения [33]

9.6.2. Метод створных наблюдений

Створные наблюдения широко применяют для исследования деформаций сооружений прямолинейной формы, когда смещения достаточно знать по одному направлению, перпендикулярному линии створа. При этом координатную систему выбирают так, чтобы с направлением смещений совпадала ось ординат, а с направлением створа – ось абсцисс [6].

Разность значений текущего и исходного положения точки сооружения называют *нестворностью*. Нестворность может быть определена как по отношению к начальному (исходному) циклу наблюдений, так и при сравнении положения точки в двух любых циклах. Створную линию задают либо *стальной струной*, концы которой закрепляют на неподвижных опорных реперах, либо *оптическим способом*, используя в качестве линии створа визирную ось зрительной трубы теодолита, нивелира и др. При оптическом задании створа прибор центрируют над неподвижным опорным репером, а на другом конце линии, также над опорным репером, центрируют визирную марку (цель) [33].

Наиболее часто для определения нестворности используют способы подвижной марки и малых углов.

Способ подвижной марки

В способе подвижной марки величина нестворности определяется непосредственным измерением отклонения деформационной марки от створа в линейных величинах. Для этого в исходной точке A (рис. 9.12. а) центрируют прибор (теодолит, нивелир и др.), имеющий зрительную трубу большого увеличения (более 30^{\times}), и визируют им на точку B другого конца створа. В исследуемой точке C устанавливают подвижную марку с горизонтальным отсчетным устройством (шкалой). В разных циклах наблюдений искомая точка будет смещаться относительно неподвижной линии створа, в результате чего по шкале марки будут наблюдаться отсчеты, которых в сопоставляемых циклах наблюдений определит величину нестворности [33].

Измерения способом подвижной визирной цели необходимо проводить при двух кругах теодолита в прямом и обратном направлениях, при этом число приемов измерения должно быть не менее 5. Расхождения между отдельными приемами не должны превышать 1 мм. Отсчет положения подвижной визирной цели по микрометру теодолита производят не менее 3 раз, а расхождения в отсчетах не должны превышать 0,3 мм.

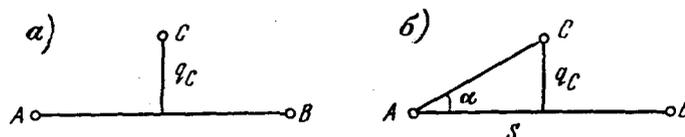


Рис. 9.12. Определение величины нестворности методами: подвижной марки (а), малых углов (б) [6]

Способ измерения малых (параллактических) углов

В методе малых углов нестворность q определяется путем измерения малого угла α (рис. 9.12, б) между линией створа и направлением на точку C и расстояния S . Величину нестворности вычисляют по формуле [6]

$$q_c = S\alpha / \rho. \quad (9.8)$$

Измерение угла отклонения марки от створа проводят точным или высокоточным теодолитами, снабженными окулярным или оптическим микрометрами. Число приемов и допускаемые средние квадратические погрешности измерения малых углов должны соответствовать приведенным в табл. 9.5 [5].

Таблица 9.5

Допускаемые средние квадратические погрешности измерения малых углов

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

9.6.3. Метод отдельных направлений

Метод отдельных направлений применяют для измерения горизонтальных перемещений зданий и сооружений при невозможности закрепить створ или обеспечить устойчивость концевых опорных знаков створа. При использовании этого метода устанавливают не менее трех опорных знаков, образующих треугольник с углами не менее 30°. Величина горизонтального перемещения q , мм, деформационной марки с каждого опорного знака определяется по расстоянию L , мм, от опорного знака до марки (измеряемого с погрешностью 1/2000) и изменению направления $\Delta\alpha$, с, между ориентирным знаком и маркой в двух циклах измерений по формуле [5]

$$q = \Delta\alpha \cdot L / \rho, \text{ где } \rho = 206265'''. \quad (9.9)$$

При измерении сдвигов методом отдельных направлений должны применяться высокоточные теодолиты. При этом необходимое число круговых приемов и соответствующие погрешности измерений не должны превышать значений, приведенных в табл. 9.6 [5].

Таблица 9.6

Допускаемые погрешности измерений при определении сдвигов методом отдельных направлений

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

9.6.4. Схемы наблюдений

Для створов значительной протяженности с большим числом определяемых точек на створе в зависимости от условий измерений применяют различные схемы (программы) наблюдений. Простейшая из них – схема общего створа (рис. 9.13, а), когда нестворности всех точек определяются относительно общего створа [6].

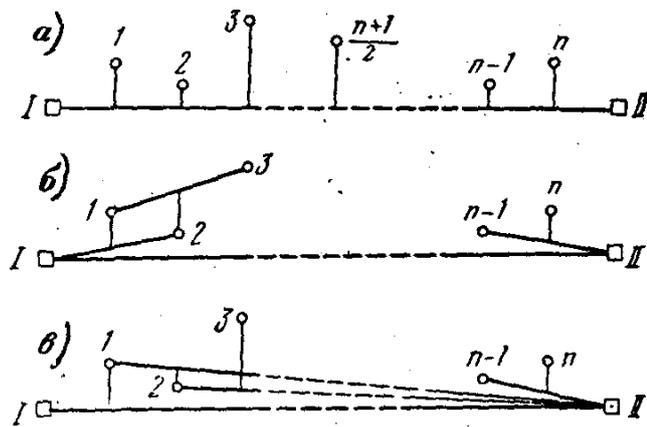


Рис. 9.13. Схемы створных измерений [6]

В схеме частных створов (рис. 9.13, б) нестворность Δ_1 точки 1 определяется от створа I-2, Δ_2 точки 2 от створа 1-3, Δ_3 точки 3 от створа 2-4 и т. д. По схеме последовательных створов (рис. 9.13, в) нестворность Δ_1 точки 1 определяется от створа I – II, Δ_2 точки 2 от створа I – II, Δ_3 точки 3 от створа 2 – II, и т. д. В обеих схемах нестворности q относительно общего створа могут быть получены лишь путем соответствующих вычислений через расстояния S между всеми точками [6].

Наиболее точные результаты даёт метод последовательных створов [23].

9.7. Методы наблюдения за кренами, трещинами

Крен – вид деформации, свойственный сооружениям башенного типа. Появление крена может быть вызвано как неравномерностью осадки сооружения, так и изгибом и наклоном верхней его части из-за одностороннего температурного нагрева и ветрового давления. В связи с этим полную информацию о кренах и изгибах можно получить лишь по результатам совместных наблюдений за положением фундамента и корпуса башенного сооружения. В зависимости от вида и высоты сооружения, технических требований и условий наблюдений для определения крена применяют различные способы [6] (рис. 9.14).



Рис. 9.14. Методы наблюдений за кренами

Вертикальное проектирование

Наиболее просто крен определяется с помощью отвеса или прибора вертикального проектирования (оптического или лазерного). Этот способ применяется в основном при возведении башенных сооружений, когда можно встать над его центром [6].

Так, в способе вертикального проектирования с двух точек I и II (рис. 9.15), расположенных на взаимно перпендикулярных осях сооружения и на удалении от него в полторы-две высоты, с помощью теодолита проектируют определяемую верхнюю точку на некоторую плоскость в основании сооружения (цоколь, рейку, палетку и т. п.). Зная расстояние S от теодолита до сооружения и затем d до его центра O , из наблюдений в нескольких циклах, используя отсчеты b и b_1 можно вычислить составляющие крена Q_x и Q_y по выбранным осям и полную величину крена Q [6].

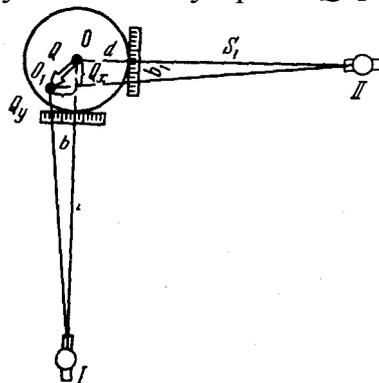


Рис. 9.15. Схема наблюдений за креном башенного сооружения способом вертикального проектирования [6]

Координирование

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 [6].

Способ горизонтальных углов

Этот способ 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 [6].

Линейную величину крена можно рассчитать по формуле

$$q = \frac{\Delta\beta''d}{\rho''}, \quad (9.10)$$

где $\Delta\beta = \beta_1 - \beta_2$, d – горизонтальное расстояние от станции инструмента до точки, ρ'' – число секунд в радиане [23].

Наблюдения за трещинами

Для выявления трещин применяют специальные маяки, которые представляют собой плитки из гипса, алебаstra и т. п. Маяк крепится к конструкции поперек трещины в наиболее широком ее месте. Если через некоторое время трещина появляется на маяке, то это указывает на активное развитие деформации.

В простейшем случае ширину трещины измеряют линейкой. Применяют также специальные приборы: деформометры, щелемеры, измерительные скобы [6].

9.8. Геодезическое обследование вертикальных стальных резервуаров

Резервуары для хранения нефти и нефтепродуктов относятся к объектам повышенной экологической опасности. В зависимости от объёма и места расположения резервуары подразделяются на три класса – особо опасные, повышенной опасности, опасные. Резервуары работают в сложном напряженно-деформированном состоянии, обусловленном одновременным действием гидростатического давления хранимого нефтепродукта, значительного перепада температуры, ветровой и снеговой нагрузок, неравномерными осадками, сейсмическими явлениями и др.

При сдаче в эксплуатацию вновь построенных резервуаров проводится их геодезическое обследование, которое заключается в проверке геометрических параметров смонтированных конструкций.

При приемке резервуаров в эксплуатацию проводят испытания конструкций резервуаров в соответствии с требованиями нормативных

документов. Порядок и содержание геодезического обследования определены в ТД 23-115-96 «Технология геодезического обследования стальных вертикальных резервуаров» и РД-16.01-60.30.00-КТН-063-1-05 «Правила технической диагностики резервуаров», утвержденных в 2005 г.

Отказы и аварии на резервуаре в процессе эксплуатации могут произойти при несоответствии геометрических параметров РВС проектным параметрам, возникших при его строительстве.

Геодезическому контролю при приёмке РВС в эксплуатацию подлежат [18]:

- днище резервуара перед испытаниями и после слива воды;
- окрайка днища (перед заливом резервуара водой, по достижении максимального уровня налива, по окончании выдержки при максимальном уровне налива, после слива воды);
- фундаментное кольцо в точках, прилегающих к контролируемым точкам окраек днища;
- фундаменты опорных конструкций запорной арматуры приёмо-раздаточных технологических трубопроводов;
- фундамент шахтной лестницы;
- трубопроводы системы пожаротушения (кроме вертикальных участков).
- внутренний диаметр резервуара на уровне 300 мм от днища;
- образующие стенки на высоте каждого пояса;
- стационарная крыша (разность отметок смежных узлов верха радиальных балок и ферм на опорах);
- понтоны или плавающая крыша (отметки верхней кромки наружного кольцевого листа).

Геодезические измерения проводят в ходе гидравлических испытаний, которые длятся 24–72 часа при пустом и заполненном резервуаре.

Предельно допустимые отклонения размеров и формы смонтированного резервуара не должны превышать значений, указанных в ПБ 03-605-03. Результаты гидравлического испытания оформляют актом по форме, приведённой также в ПБ 03-605-03.

На законченный строительством вертикальный стальной резервуар должна быть передана в эксплуатирующую организацию техническая документация, в том числе паспорт резервуара (согласно РД 153-39.4-078.00), в котором отражены результаты геодезического контроля геометрической формы построенного объекта.

Геодезические приборы, применяемые для обследования, должны иметь документы, выданные метрологическими службами Госстандарта, о прохождении поверок с указанием даты поверки, подписи поверителя и заверены печатями. К проведению работ по геодезическому обследованию резервуаров могут быть допущены лица, имеющие при себе удостоверение, подтверждающее их право на проведение данных работ (прошедшие обучение и аттестованные в установленном порядке).

