

Министерство образования Российской Федерации
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ГЕОДЕЗИИ И КАРТОГРАФИИ (МИИГАИК)

С.В. Марфенко

ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ ПО НАБЛЮДЕНИЮ ЗА ДЕФОРМАЦИЯМИ СООРУЖЕНИЙ

Учебное пособие

Для специальности «Прикладная геодезия»



Москва 2004

Министерство образования Российской Федерации Московский
государственный университет геодезии и картографии (МИИГАиК)

Утверждено методической
комиссией геодезического
факультета МИИГАиК

Геодезические работы по наблюдению за деформациями сооружений

Учебное пособие

Для специальности прикладная геодезия

Москва 2004

Марфенко С.В. Геодезические работы по наблюдению за деформациями сооружений. Учебное пособие. М. МИИГАиК, 2004, с 36., ил.

Геодезические работы по наблюдению за деформациями сооружений относятся к одному из широко распространенных в настоящее время видов инженерно – геодезических работ и рассматриваются в одном из разделов дисциплины прикладной геодезии. В учебном пособии написаны в соответствии с утвержденной программой, детально освещены основные вопросы проектирования и производства геодезических работ по наблюдениям за осадками, горизонтальными смещениями и кренами сооружений.

Рецензенты: д-р техн. наук, проф. Баранов В.Н. (МГУЗ)
канд. техн. наук, проф. Михелев Д.Ш. (МИИГАиК)

Геодезические работы по наблюдению за деформациями сооружений

1. Деформации сооружений, их виды и причины возникновения

Для обеспечения нормальной работы сооружение должно быть устойчивым, т.е. сохранять в установленных пределах свое первоначальное (проектное) положение. Однако, вследствие конструктивных особенностей, влияния природных и техногенных факторов сооружения подвержены различного вида деформациям, характеризуемым изменением как его пространственного положения в целом, так и взаимного положения отдельных частей и элементов.

Деформации могут приводить к нарушению прочности строительных конструкций, запроектированных условий эксплуатации технологического оборудования и даже вызывать опасные разрушения сооружений.

Природные факторы, вызывающие деформации, связаны в основном с инженерно-геологическими и гидрологическими процессами в толще горных пород и грунтов, используемых в качестве основания сооружения. К ним относятся подвижки земной поверхности в районе разрывных тектонических смещений, карстовые и склоновые процессы (оползни, обвалы), просадки – коренные изменения структуры грунтов под действием собственного веса грунта и его замачивание, изменение гидротермических условий, связанных с сезонными и многолетними колебаниями температуры, влажности и уровня грунтовых вод.

Основными техногенными факторами являются влияние на грунты давления от массы сооружения, изменение несущих свойств грунтов искусственным понижением или повышением уровня грунтовых вод, смещения грунтов над подземными выработками, вибрация фундаментов сооружения в связи с работой различных агрегатов, механизмов, движением транспорта и другими динамическими воздействиями, изменение давления на основание, вызванное возведением рядом новых сооружений.

На деформации сооружения также влияют форма, размеры и жесткость фундамента и строительных конструкций, распределение статических и динамических нагрузок внутри сооружения. Причиной деформации могут быть боковое давление грунта, воды, ветра, неравномерный солнечный нагрев и др.

Для изучения деформаций в характерных местах сооружения фиксируют точки и определяют изменения их пространственного положения за выбранный интервал времени относительно принятого начального положения и начала счета времени. Оценку устойчивости и состояния сооружения производят на основе анализа величин полученных изменений (деформаций).

Обычно принято отдельно определять основные составляющие общей деформации в отдельной точке сооружения: осадку и горизонтальное смещение.

Осадка – деформация в вертикальной плоскости, т.е. смещение точки сооружения по высоте.

Горизонтальное смещение - деформация в горизонтальной плоскости, характеризуемая обычно ее составляющими по осям принятой системы координат.

Для получения абсолютных или полных осадок и горизонтальных смещений определяют отметки и координаты фиксированных на сооружении точек относительно исходных точек, принимаемых за неподвижные.

Осадку S каждой отдельной точки сооружения вычисляют как разность ее отметок H_i и H_o , из текущего и начального цикла наблюдений,

$$S = H_i - H_o.$$

Горизонтальные смещения по осям выбранной системы координат вычисляют по формулам

$$q_x = x_i - x_o; \quad q_y = y_i - y_o.$$

Для более полной характеристики осадки сооружения служат другие виды осадок.

Средняя осадка S_{cp} всего сооружения или отдельных его частей определяют по абсолютным осадкам всех n исследуемых точек

$$S_{cp} = \sum_{i=1}^n \frac{S_i}{n}.$$

Средняя скорость осадки v_{cp} за определенный промежуток времени t между двумя циклами, например, текущим и начальным равна

$$v_{cp} = \frac{(S_t - S_0)}{t},$$

где t выражают числом месяцев или лет, чтобы получить среднемесячную или среднегодовую скорость.

Осадки различных точек сооружения чаще всего бывают неравномерными – разными по величине и знаку. Основной причиной этого является неодинаковая сжимаемость грунтов под фундаментом и различная нагрузка на грунт частей сооружения.

Неравномерные осадки приводят к таким видам деформации как крен, прогиб, кручение.

Неравномерность осадок в одном цикле наблюдений характеризуют разностью осадок S_i и S_j двух точек,

$$\Delta S_{i,j} = S_i - S_j,$$

или разность осадок S_m и S_n одной точки в двух (m и n) циклах наблюдений,

$$\Delta S_{m,n} = S_m - S_n.$$

Крен (наклон, завал, перекося) сооружения определяют как разность осадок двух точек i и j , фиксированных на противоположных краях сооружения или его частей вдоль выбранной оси на расстоянии l . Относительный крен вычисляют по формуле

$$K = \frac{(S_j - S_i)}{l}.$$

Симметричный относительный прогиб отдельных частей сооружения определяют по формуле

$$f = \frac{[2S_k - (S_i - S_j)]}{2l},$$

где S_k – осадка точки k , расположенной в середине между точками i и j .

Кручение сооружения относительно вертикальной оси находят как изменение углового положения радиуса вектора фиксированной точки, проведенного из центра

исследуемого горизонтального сечения. Кручение характерно в основном для сооружений башенного типа.

2. Организация наблюдений за деформациями

Для оценки устойчивости сооружения на разных этапах строительства и эксплуатации проводят наблюдения за его деформациями, которые представляют комплекс измерительных операций и мероприятий по выявлению причин деформаций.

Основной целью наблюдений является определение величин и характера деформаций, чтобы при необходимости принять профилактические меры по предотвращению недопустимых деформаций, ведущих к отрицательным последствиям для работы и сохранности сооружения.

Кроме того, результаты наблюдений позволяют решать ряд практических и научных задач:

- выбрать при изысканиях площадку под строительство с достаточно устойчивым для данного сооружения основанием;

- корректировать технологическую схему строительно-монтажных работ, например, программу и график бетонирования, установки строительных конструкций и технологического оборудования в разных частях сооружений;

- проверять правильность проектных расчетов фундаментов, несущих строительных конструкций и вносить коррективы при проектировании новых аналогичных сооружений;

- выявлять закономерности, позволяющие прогнозировать процесс деформации и др.

Наблюдения за деформациями проводят систематически через определенные промежутки времени. В строительный период, когда деформации наиболее интенсивные, наблюдения выполняют 1-2 раза квартал, в период эксплуатации при затухании деформаций 1-2 раза в год. При появлении фактора, резко изменяющего обычный ход деформации, выполняют срочные наблюдения с большей частотой.

При определении сроков и периодичности наблюдений используют проектные расчетные данные о величинах и характере ожидаемых деформаций.

Для выявления и анализа причин деформации изучают полученные при изысканиях геологические, гидрогеологические и гидрометеорологические данные: мощность отдельных слоев грунта основания, уровень подземных вод, физико-механические свойства грунтов и др. В ряде случаев не ограничиваются изучением материалов изысканий, а параллельно с измерениями величин деформаций проводят специальные наблюдения за изменением состояния термического режима грунтов и подземных вод, температуры тела сооружения, метеоданных и др. Ведется учет изменения нагрузок на основание по мере возведения фундаментов, установки строительных конструкций и технологического оборудования. Фиксируются динамические нагрузки, обусловленные работой различных механизмов и машин.

Для измерения осадок и горизонтальных смещений сооружений в основном применяют геодезические методы, позволяющие получать абсолютные величины деформаций. При этом используют все известные в геодезии схемы геодезических

построений и технические средства измерений для определения высот и координат точек на местности и сооружений.

Геодезические работы по наблюдению за деформациями сооружения выполняют по специально разработанному проекту, который включает:

техническое задание на производство работ с указанием точностных требований и продолжительность наблюдений;

сведения о сооружении, особенностях конструкции, строительства, природных условиях и режиме его работы;

схему размещения и конструкцию геодезических знаков для закрепления наблюдаемых и исходных точек;

принципиальную схему наблюдений за осадками, горизонтальными смещениями и другими видами деформаций;

обоснование необходимой точности геодезических измерений в соответствии с требуемой точностью определения величин деформаций;

описание методов и технических средств измерений;

рекомендации по математической обработке геодезических измерений и по интерпретации результатов наблюдений;

организацию геодезических работ на объекте: календарный график, состав исполнителей, перечень приборов и оборудования, объемы и сметная стоимость работ, вопросы безопасности жизнедеятельности.

Важным вопросом при организации наблюдений за деформациями является назначение требуемой точности определения величин деформаций. От его решения зависит необходимая точность геодезических измерений, а следовательно, выбор метода и средств измерений.

Требуемая точность, указываемая в техническом задании, представлена в нормативных документах по строительству или может быть получена расчетным путем.

В СП 11-104-97 требования к точности определения осадков и горизонтальных смещений и сооружений относительно опорных геодезических знаков характеризуются следующими величинами средних квадратических ошибок: 1-2мм – на скальных грунтах, 3мм – на дисперсных грунтах, 2-3мм (на 100м высоты) – при определении наклонов.

На оползневых участках подвижки грунтов измеряют с ошибками: 20мм – в плане, 10мм – по высоте.

Приблизленно среднюю квадратическую ошибку измерения деформации можно рассчитать по формуле:

$$m_{\phi} \leq 0.2\Delta\Phi,$$

где $\Delta\Phi$ – величина деформации за промежуток времени между циклами измерений.

Для начального цикла измерений за величину $\Delta\Phi$ можно принять критическую (допустимую) величину деформации, взятую из нормативных документов, например, СНиП 2-02-01-83 «Основания зданий и сооружений».

Существенную роль в организации наблюдений за деформациями сооружений отводится геодезическим знакам. По назначению знаки разделяют на опорные, деформационные и вспомогательные, а также на плановые, высотные и планово-высотные.

Опорные знаки служат для закрепления в схеме измерений деформаций исходных пунктов, относительно которых определяют величины деформаций. Положение их на протяжении всего периода наблюдений принимают неизменным.

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

Вспомогательные знаки являются связующими в схеме измерений для передачи координат и высоты от опорных знаков к деформационным. Стабильность их положения требуется лишь на период цикла наблюдений.

Плановые знаки предназначены для определения горизонтальных смещений сооружений, а *высотные знаки* для наблюдений за осадками и другими видами деформаций, определяемыми по изменениям высот точек сооружения.

Планово-высотные знаки служат одновременно для наблюдений за горизонтальными смещениями и осадками сооружений.

В зависимости от требуемой точности и применяемой методики измерения деформаций используют различные по конструкции опорные знаки. Чем выше точность, тем более стабильным должно быть положение знаков. Стабильность знаков обеспечивается выбором благоприятного места и надежной глубины их закладки.

Опорные знаки размещают вне зоны возможного влияния на них оползней, карста, подземных выработок, гидродинамических и гидротермических воздействий, а также вне зоны напряжений в грунтах от массы сооружений, динамических нагрузок от работающих механизмов и движущего транспорта.

Наибольшей устойчивостью обладают *глубинные знаки*, закрепляемые в практически несжимаемых скальных грунтах таких как граниты, сланцы, кремнистые и глинистые песчаники, известняки и др.

Широко распространены опорные знаки в виде металлических труб, железобетонных столбов и пилонов, устанавливаемых в котлованах и скважинах.

Оригинальностью конструкции отличаются опорные знаки, основанные на принципе обратного отвеса, представляющие собой проволоку, закрепленную одним концом на глубине устойчивых пород и натягиваемую вертикально при помощи специальной поплавковой системы.

Конструкция верхней части (головки) опорных и вспомогательных знаков должна соответствовать применяемым методам и техническим средствам измерений, обеспечивая необходимую точность центрирования теодолита, визирных марок и других измерительных приборов и оборудования.

На рис. 1 показан плановый опорный знак трубчатого типа. Знак представляет собой трубу 3 с регулировочными винтами 1 для выведения головки знака 7 на требуемый горизонт при монтаже. Труба 3 закрепляется в нижних устойчивых породах при помощи бетонного якоря 2 и имеет защитный кожух в виде обсадной трубы 5. Для предохранения загрязнений и попадания воды в нижней части межтрубного пространства закладывается мягкий сальник или битумный слой 4, в верхней части -- матерчатая диафрагма 6. Конструкция головки знака предусматривает в данном случае принудительное центрирование на знаке теодолита и визирных марок. Центром знака является центрировочная втулка, ось которой при необходимости может быть зафиксирована вкладышем с перекрестием.

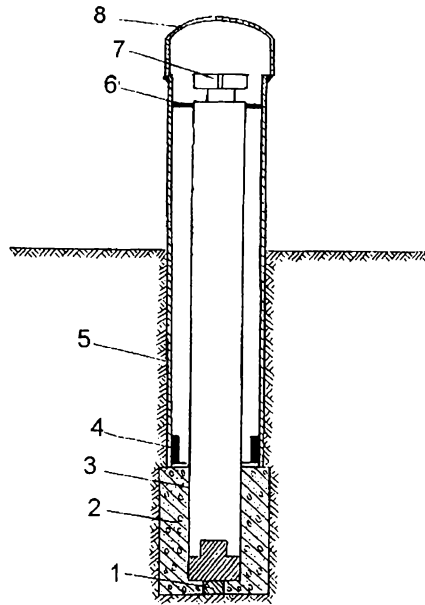


Рис. 1. Плановый знак с жесткой консолью

Опорными высотными знаками при наблюдении за осадками сооружений служат глубинные реперы. Основная деталь высотного знака – реперная штанга чаще всего представляет собой металлическую трубу или стержень, закрепляемые в твердые коренные породы и оборудованные наверху сферической головкой, несущей отметку.

Глубинный репер такого типа, но с двумя реперными штангами – стержнями для учета сезонных температурных изменений их длины, представлен на рис. 2. наличие двух штанг 1(основной) и 2 (вспомогательной) с большой разностью коэффициентов температурного расширения, например, стали и дюралюминия позволяет найти поправку в отметку репера по формуле

$$\Delta l = \frac{\Delta \alpha_{осн.}}{\alpha_{осн.} - \alpha_{всп.}},$$

где Δ – разность температурных изменений штанг, т.е. изменение расстояния между их головками, измеряемого при помощи индикатора часового типа;

$\alpha_{осн.}$, $\alpha_{всп.}$ – соответственно коэффициенты температурного расширения основной и вспомогательной штанги.

Реперы такой конструкции называются *биметаллическими*. Реперными штангами в них могут быть концентрически расположенные трубы разного металла и диаметра, а также струны. Устройство струнного биметаллического репера показано на рис. 3. Основная инварная 10 и вспомогательная 3 проволоки крепятся к штоку 1, забетонированному в скважину с обсадной защитной трубой 11.

Проволоки натянуты грузами 4 и 9 через равноплечные рычаги 5 и 7, расположенные в корпусе 2. На инварной проволоке прикреплена шкаловая марка, ноль которой несет отметку репера. Разность удлинений проволок под влияние температуры определяется индикатором часового типа 6.

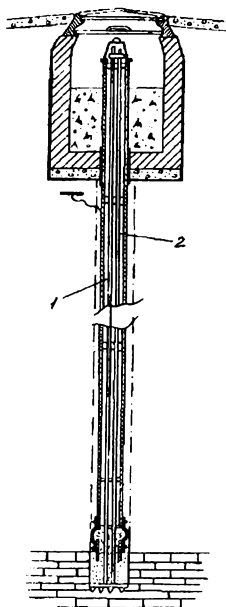


Рис. 2. Биметаллический репер
П.И.Брайта

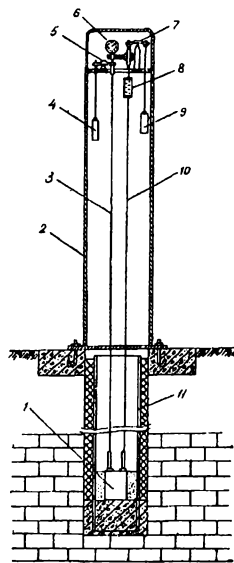


Рис. 3. Биструнный репер М.Е.
Пискунова

В качестве опорных высотных знаков могут быть использованы марки и стенные реперы существующих нивелирных сетей, установленные на устойчивых капитальных зданиях и сооружениях.

В схеме измерения осадок закрепляют несколько опорных реперов, но лишь один из них принимается в качестве исходного для определения отметок точек и величин осадок. Наличие же нескольких (не менее трех) опорных знаков позволяет контролировать стабильность их положения.

Конструкция плановых деформационных знаков, применяемых для наблюдений за горизонтальными смещениями, зависит от способа определения их положения относительно опорных знаков. При определении положения опорных знаков без установки на них измерительных приборов применяют марки с различного вида

наблюдательными целями для угловых измерений (Рис. 4). Цели могут быть обозначены непосредственно на поверхности конструкций и элементов сооружения.

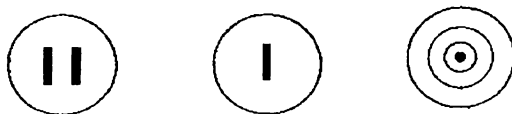


Рис. 4. Визирные деформационные марки

Плановые деформационные знаки, определение положения которых предусматривает установку на них приборов, обычно представляют собой центрирующие устройства (рис. 5), например, в виде круглой опорной плиты с тремя бороздками для подъемных винтов подставки теодолита или в виде стержня 1 с винтовой нарезкой для навинчивания на нее подставки и др.

Большим разнообразием отличаются конструкции деформационных знаков для наблюдений за осадками сооружений – осадочных марок. Наиболее просты по устройству марки в виде металлических стержней (кусков арматуры), профильных уголков, болтов и др., имеющих полусферическую головку (рис. 6).

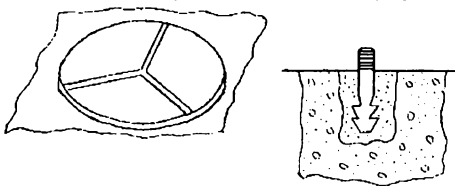


Рис. 5. Плановые деформационные знаки

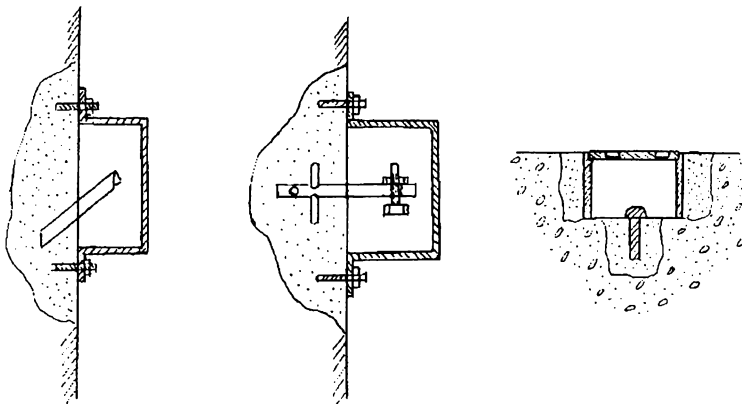


Рис. 6. Осадочные марки

Удобны при наблюдениях осадочные марки в виде малогабаритных нивелирных шкал, постоянно закрепленных на сооружении (рис. 7)

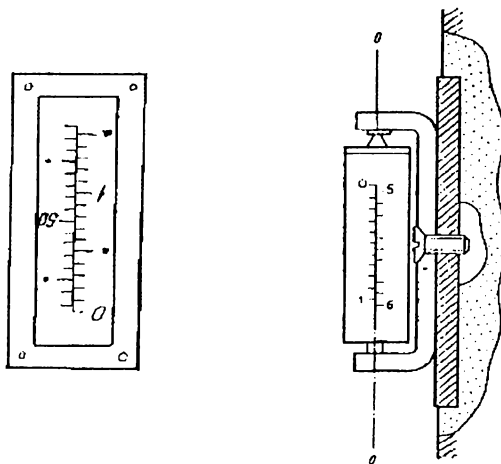


Рисунок 7. Шкаловые осадочные марки

При использовании таких марок необходимость в применении нивелирных реек отпадает.

Размещение деформационных знаков на сооружении является одним из важнейших этапов организации работ по наблюдению за деформациями. От правильности размещения и числа знаков во многом зависят полнота и достоверность выявления деформаций.

Расположение деформационных знаков на сооружении зависит от многих факторов: цели проведения работ, вида деформации, конструкции сооружения в целом и его отдельных элементов, инженерно-геологических условий и др. Число их должно быть столько, сколько необходимо для более полного описания процесса деформации.

Деформационные знаки для определения горизонтальных смещений зданий и сооружений устанавливают на внутренних и наружных частях по возможности ближе к основанию через 15-20 м, по углам и обе стороны осадочных швов.

В местах, где горизонтальная нагрузка имеет наибольшую величину, знаки закрепляют через 10-15 м.

На промышленных зданиях при наблюдениях за смещениями отдельно стоящих фундаментов число марок должно быть не менее трех, для ленточных фундаментов частота размещения 15-20 м.

На гидротехнических сооружениях, разделенных на секции, на каждой из них устанавливают не менее двух плановых деформационных знаков, а при ширине болсе 20м – не менее четырех. На сооружениях большей протяженностью (подпорных стенках, причальных сооружениях и т.п.) размещают не менее двух знаков на каждые 30м.

Осадочные марки размещают примерно на одном уровне, располагая их по периметру сооружения и его углам, вдоль продольных и поперечных осей фундамента, на стыках соседних блоков, по сторонам осадочных и температурных швов, в зонах с наибольшими динамическими нагрузками и с менее благоприятными геологическими условиями.

Для промышленных сооружений и каркасных зданий марки устанавливают на несущих колоннах по поперечным и продольным осям в количестве не менее трех в каждом направлении.

Для многоэтажных производственных зданий и промышленных сооружений, имеющих сплошную фундаментную плиту, марки следует размещать по разбивочным продольным и поперечным осям плиты и ее периметру из расчета 1 марка на 100 м² площади. На сооружениях башенного типа (дымовые трубы, градирни, доменные печи и др.) число марок должно быть не менее четырех по периметру. На гидротехнических сооружениях закрепляют 3-4 марки на каждой секции и на нескольких ярусах (на гребне сооружения, в галереях).

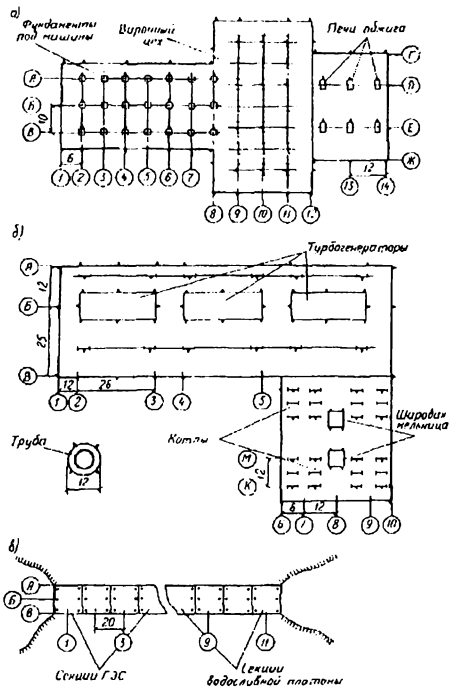


Рис. 8. Схемы размещения марок на зданиях и сооружениях

а) бумагоделательный комбинат; б) теплостанция; в) гидросооружение

На рис. 8 приведены примеры размещения осадочных марок, устанавливаемых в стенах, на колоннах и фундаментах некоторых промышленных и гидротехнических сооружений.

3. Наблюдения за осадками

Наблюдения за осадками выполняют различными методами нивелирования: геометрического, тригонометрическим, гидростатическим, микронивелирования, а также фотограмметрическим и стереофотограмметрическим методами.

Наиболее широко распространен метод геометрического нивелирования, обладающего рядом достоинств: высокая точность и быстрота измерений, стандартные приборы и оборудование, возможность выполнять измерения в сложных стесненных условиях.

Наблюдения за осадками состоят в проведении циклов измерений по определению отметок осадочных марок относительно одного из опорных реперов, принимаемого за исходный, путем проложения отдельных или системы нивелирных ходов. Нивелирование выполняют с точностью, определяемой в зависимости от заданной ошибки m , определяющей осадки, схемы и размеров нивелирной сети.

При наблюдении за осадками точность нивелирования характеризуют средней квадратической ошибкой $m_{h_{cm}}$ определения превышения на станции. Связь ее с ошибкой определения величины осадки точки i , как разности отметок из двух циклов измерений, представлена формулами

$$m_{s_i} = m_{h_{cm}} \sqrt{2Q_{H_i}} \quad \text{или} \quad m_{\Delta s_{i,j}} = m_{h_{cm}} \sqrt{2Q_{h_{i,j}}} \quad (1);$$

где Q_{H_i} – обратный вес определяемой отметки в отдельном ходе или в схеме нивелирной сети;

$Q_{h_{i,j}}$ – обратный вес превышения между исследуемыми осадочными марками i и j , разность осадок которых задано определять с ошибкой $m_{\Delta s_{i,j}}$.

Для большинства типовых сооружений требуемая точность определения осадок обеспечивается государственным нивелированием I, II и III класса, основные технические характеристики которого представлены в табл. 1.

Таблица 1.

Класс нивелирования	Длина плеч (м)	$m_{h_{i,1km}}$ (мм)	$m_{h_{cm}}$ (мм)	Допустимая погрешность (мм)
I	50	0,50	0,16	$3\sqrt{L}$ км
II	65	0,84	0,42	$5\sqrt{L}$ км
III	75	1,68	0,65	$10\sqrt{L}$ км
IV	100	6,68	3,00	$20\sqrt{L}$ км
Техническое	125	16,68	8,34	$50\sqrt{L}$ км

Для выбора необходимого класса нивелирования по формулам (1) находят для наиболее слабоопределяемой точки в схеме нивелирной сети величины

$$m_{h_{cm}} = \frac{m_{s_c}}{\sqrt{2Q_{H_{c,l}}}} \quad \text{и} \quad m_{h_{cm}} = \frac{m_{\Delta s_{i,j}}}{\sqrt{2Q_{h_{i,j}}}} \quad (2)$$

и сравнивают с данными табл. 1.

Расчет величины обратного веса определения отметки точки производят способом эквивалентной замены или по методу наименьших квадратов на ЭВМ с использованием известных программ для оценки точности и уравнивания нивелирных сетей параметрическим или коррелятным способом.

Если вычисленные по формуле (2) ошибки окажутся меньше ошибки $m_{\text{hcm}}=0,16$ мм для I класса, возникает необходимость в разработке специальной методики нивелирования, предусматривающей уменьшение влияния различных источников ошибок нивелирования. Разработанная в МИИГАиК методика специального высокоточного геометрического нивелирования позволяет измерять превышения на станции с ошибкой 0,03 мм.

Основные положения этой методики состоят в следующем:

1. Применение высокоточных нивелиров, типа Н-05, Н1, их тщательное исследование и юстировка.

2. Ограничение длины визирного луча до 25 м для уменьшения ошибки нивелирования из-за влияния вертикальной рефракции.

3. Производство нивелирования строго из середины для обеспечения четкого изображения задней и передней рейки без перефокусировки трубы и уменьшения ошибки из-за несоблюдения главного условия нивелира.

4. Применение специальных реек или оборудования стандартных инварных реек подпятниками, обеспечивающими при нивелировании совпадение оси шкалы и точки установки рейки на знаке, что уменьшает ошибку из-за наклона рейки.

5. Определение поправок штрихов шкал реек путем эталонирования на компараторе и при необходимости введении их в результаты измерений. Вместо этого возможно визирование на каждой станции во всех циклах измерений на заранее обусловленные штрихи рейки, применяя для изменения высоты инструмента специальную подставку на головке штатива.

Эти положения нашли отражения в ведомственных руководствах и инструкциях.

В «Руководстве по наблюдениям за деформациями оснований и фундаментов зданий и сооружений» измерение осадок предлагается выполнять нивелированием I, II и III класса, несколько отличающегося методикой от государственного нивелирования.

I класс нивелирования предназначен для измерения осадок сооружений, построенных на скальных и полускальных грунтах со средней квадратической ошибкой не превышающей 1 мм.

Нивелирование производят при двух горизонтах инструмента в прямом и обратном направлениях. Длина визирного луча не должна превышать 25м, а его высота над поверхностью земли должна быть не менее 0,8м; в отдельных случаях при работе в подвальных помещениях – соответственно 15м и 0,5м. Неравенство расстояний от нивелира до реек не должно превышать 0,4м, а накопление неравенств в замкнутом ходе до 7м. Для установки рейки вертикально применяют круглый уровень с ценой деления 10-12'. Ошибки метровых интервалов шкал и всей шкалы не должны превышать 0,15 мм. Рекомендуется применять подпятники, у которых центр оградительного кольца лежит на оси шкалы рейки.

Контроль измерений:

разность отсчетов по основным и дополнительным шкалам реек не должна отличаться от постоянного числа более чем на 2 деления барабана нивелира (0,1 мм);

расхождения удвоенных превышений по основным и дополнительным шкалам должна быть не более 4 делений (0,2 мм);

расхождения в превышениях при двух горизонтах – не более 0,2-0,3 мм;

допустимая невязка в замкнутом ходе вычисляется по формуле

$$f_{\bar{n}} = 0.15\sqrt{\bar{n}} \text{ мм.}$$

II классом измеряют осадки сооружений, построенных на сжимаемых грунтах со средней квадратической ошибкой до 2 мм. Особенности методики: нивелирование выполняют нивелирами типа Н1 и Н2 при одном горизонте инструмента в прямом и обратном направлениях; длина визирного луча – до 30 м, а его высота – не менее 0,5 м над поверхностью земли; неравенство расстояний от нивелира до реек – до 1 м, а накопление неравенства – не более 3-4 м.

Контроль измерений:

разность отсчетов по основной и дополнительным шкалам каждой рейки должна находиться в пределах трех делений барабана (0,15 мм);

расхождение в удвоенных превышениях по основной и дополнительной шкалам должна быть не более 6 делений барабана (0,3 мм);

допустимая величина невязки в замкнутом ходе

$$f_{\bar{n}} = 0.5\sqrt{\bar{n}} \text{ мм.}$$

III класс нивелирования предназначен для измерения осадок сооружений на насыпных, просадочных и других сильно сжимаемых грунтах со средней квадратической ошибкой 5 мм характеризуется следующими особенностями. Нивелирование производят нивелиром типа Н3 способом совмещения или способом отсчитывания по шашечным двухсторонним рейкам с сантиметровыми делениями. Длина визирного луча должна быть не более 40 м, высота над поверхностью земли не менее 0,3 м. Неравенство расстояний от инструмента до реек не должно превышать 2 м, а накопление их в ходе – 5 м.

Контроль измерений:

расхождение превышений из наблюдений по черной и красной сторонам не должна превышать 2 мм, а по основной и дополнительным шкалам – 1,5 мм;

невязка в замкнутом ходе не должна превышать

$$f_{\bar{n}} = 1.5\sqrt{\bar{n}} \text{ мм.}$$

Для наблюдений за осадками сооружений гидроузлов и других энергетических объектов применяют специальное *гидротехническое нивелирование*. Оно представлено тремя разрядами, характеризуемыми данными табл. 2.

На рис.9 представлена возможная схема нивелирной сети для наблюдений за осадками сооружений ТЭЦ.

Сеть нивелирных ходов связывают исходный (ГР1) и другие опорные реперы (ГР2, ГР3) с осадочными марками на исследуемых сооружениях (машинный зал, турбогенератор, котел, дымовая труба).

Таблица 2

Разряд	$m_{ст}, \text{мм}$	Предельное расхождение прямого и обратного ходов, мм	Объем измерений на станции	Характеристика визирного луча, м				Расхождение превышений на станции, мм	
				Длина	Высота над поверхностью земли	Неравенство расстояний		По основной и дополнительной шкале	Из двух горизонтов инструмента
						На станции	В секции		
1	0,08	$0,3\sqrt{n}$	Прямо и обратно при двух горизонтах инструмента	25-30	0,8	0,5	1,0	0,4	0,25
2	0,13	$0,5\sqrt{n}$	Прямо и обратно при одном горизонте инструмента	25-30	0,5	0,5	1,0	0,4	---
3	0,40	---	В одном направлении при одном горизонте инструмента	40-50	0,3	1	2	0,7	---

На схеме обозначены узловые точки сети и обратные веса Q секций, принимаемые равными числу равноточно измеренных в секции превышений.

По результатам оценки точности сети получаем обратный вес $QH_{22} = 43$ наиболее слабоопределяемой точки 22.

При заданной точности определения осадки $m_x = 2\text{мм}$ в сети необходимо выполнять нивелирование, характеризуемое средней квадратической ошибкой измерения превышения на станции, определяемой по формуле (2)

$$m_{h,m} = \frac{2}{\sqrt{2 \cdot 43}} = 0,22 \text{ мм.}$$

Такая точность может быть обеспечена применением рассмотренного выше специального нивелирования II класса или гидротехнического нивелирования 2 разряда.

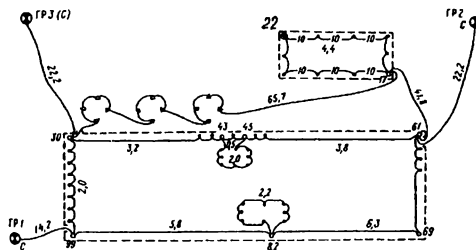


Рис. 9. Схема нивелирной сети для наблюдений за осадками сооружений ТЭЦ

При повышенных требованиях к точности определения осадок ($m_p < 1\text{мм}$) в расчетах необходимой точности измерений принимают во внимание, что измеренные превышения могут быть не равноточными из-за разных длин визирных лучей на станциях. В этом случае в качестве ошибки единицы веса (ошибки измерения с весом $P=1$) принимают среднюю квадратическую ошибку превышения, измеренного на станции по основной и дополнительной шкалам в ходе одного направления для выбранной длины l визирного луча, $m_{h_l} = (m_{осн.} + m_{дкм.})/2$.

Ошибка такого превышения равна ошибке взгляда,

$$m_{h_0} = m_{взг_0} = m_{з_осн.} = m_{з_осн.} = m_{з_дкм.} = m_{н_км.},$$

которая может быть вычислена по эмпирической формуле

$$m_{h_0} = m_{взг_0} = 0,014 + 0,014D, \quad (3)$$

где D выражена в метрах.

По формуле (3) рассчитывают ошибку m_{h_i} , превышения на каждой станции с разной длиной визирного луча D_i , вес и обратный вес этого превышения

$$P_{h_i} = \frac{m_{h_i}^2}{m_{h_i}^2}, \quad Q_{h_i} = \frac{m_{h_i}^2}{m_{h_i}^2}.$$

Рассмотренный принцип расчета весов превышений использован при оценке схемы нивелирных ходов на рис. 9, в которых D_i разные в пределах 5-40 м.

По окончании каждого цикла измерений выполняют обработку и анализ результатов наблюдений.

По результатам измерения превышений производят оценку точности произведенного нивелирования, вычисляя среднюю квадратическую ошибку измерения превышения на станции по разностям двойных измерений в прямом и обратном ходах или при двух горизонтах, по невязкам замкнутых ходов, а также из уравнивания.

Если точность выполненных измерений удовлетворяет требуемой, нивелирную сеть уравнивают параметрическим или коррелятным способом на ЭВМ с использованием имеющихся программ. Затем вычисляют отметки и величины осадок каждой наблюдаемой марки. При этом осадки можно вычислять по отношению к предыдущему циклу (текущие осадки) и по отношению к начальному циклу выявляя их накопление за весь период наблюдений (суммарные осадки). Обычно не ограничиваются составлением ведомости осадок и результаты наблюдений представляют в графическом виде.

Простейшим видом графического представления осадок является профиль осадок по отдельным осям сооружения, например, по продольным и поперечным осям (рис. 10) или совмещенный график осадок марок (рис 11).

Значительно большей наглядностью и возможностью проводить анализ результатов измерений обладают графики в виде изолиний равных осадок: план кривых равных суммарных осадок (рис. 12), пространственно-временной график осадок по профилям (рис. 13) и пространственный график осадок на топографическом плане (рис. 14).

Технику составления этих графиков легко понять из рисунков. Проведение изолиний выбранного сечения, обычно через 1 мм, аналогично рисовки рельефа в горизонталях.

Для анализа и выявления причин происходящего процесса осадок составляют графики изменения температуры и уровня грунтовых вод, а также используют материалы по геологии, гидрогеологии, климатологии, состоянию строительных работ и др.

По результатам наблюдений за осадками сооружений составляют отчетную документацию.

По окончании каждого цикла составляют краткую пояснительную записку, содержащую: фактическую схему и краткое описание технологии измерений, оценку точности и уравнивание результатов измерений, ведомости отметок и осадок марок, графический иллюстративный материал, краткий анализ результатов измерений.

По окончании работ составляют технический отчет, являющийся основным техническим документом. В нем содержатся сведения по всем циклам измерений, более подробный анализ выявленных процессов деформаций с обобщающими выводами.

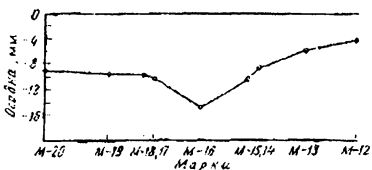


Рис. 10. Профиль осадок марок по осям сооружений

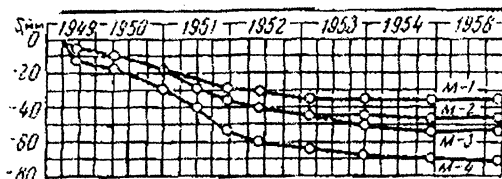


Рис. 11. Совмещенный график осадок марок

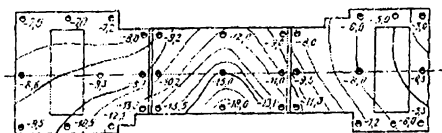
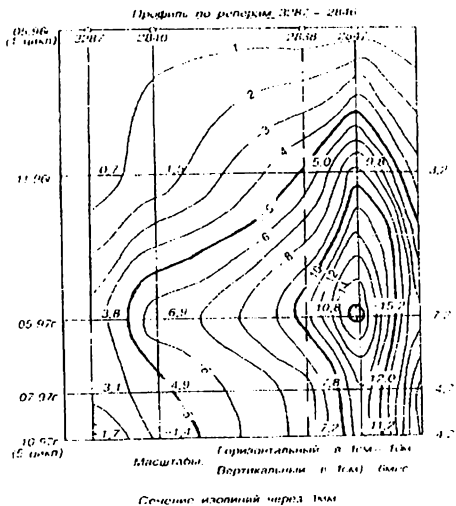


Рис. 12. План кривых равных осадок



Сечение изолиний через 1 км

Рис. 13. Пространственно-временной график осадок.

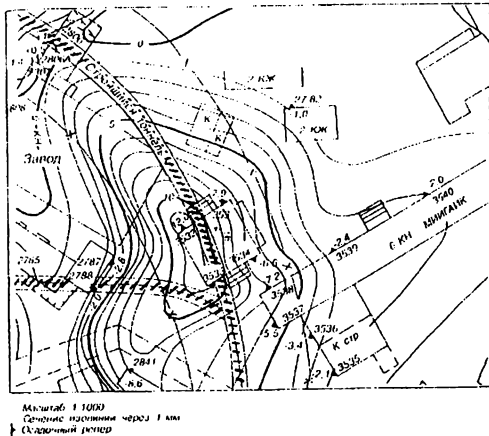


Рис. 14. Пространственный график осадок.

В определенных условиях для наблюдений за осадками сооружения применяют другие геодезические методы.

Метод тригонометрического нивелирования позволяет определить осадки точек расположенных на существенно разных высотах, в трудно доступных местах. Такие случаи возникают при наблюдениях за высокими зданиями, башнями плотинами, при производстве измерений через препятствия.

В тригонометрическом нивелировании с короткими лучами (100м) превышение $h_{1,2}$ между точками 1 и 2 определяют по зенитному расстоянию марки Z и горизонтальному проложению $l_{1,2}$ от теодолита до визирной марки

$$h_{1,2} = l_{1,2} \cdot \text{ctg} Z.$$

Для повышения точности определения превышений зенитные расстояния измеряют на 2-3 штриха рейки или на специально прикрепленные к рейке марки. величину $l_{1,2}$ измеряют непосредственно или косвенно по формуле

$$l_{1,2} = b \frac{\sin Z_H \cdot \sin Z_B}{\sin(Z_H - Z_B)},$$

где b – расстояние между визирными марками на рейке;

Z_H и Z_B – зенитные расстояния двух (нижней и верхней) марок на рейке;

В тригонометрическом нивелировании применяют три схемы измерений: одностороннего, двухстороннего и нивелирование из середины.

Формулы для вычисления превышения по этим схемам имеют вид

$$h_{1,2} = l_{1,2} \cdot \text{tg} Z_{1,2} + i - v;$$

$$h_{1,2\text{cp}} = l_{1,2} \cdot \text{tg} \frac{Z_{2,1} - Z_{1,2}}{2} + \frac{i_1 + i_2}{2} + \frac{v_1 - v_2}{2};$$

$$h_{3,n} = l_n \text{ctg} Z_n - l_1 \text{ctg} Z_1 + (v_1 - v_n);$$

где i – высота прибора; v – высота визирной марки; l_n и l_1 – горизонтальные проложения от теодолита до передней и задней рейки соответственно; Z_n и Z_1 – измеренные зенитные расстояния.

Если при определении превышения $h_{3,n}$ из середины использованы по две визирные марки на рейках, то для вычисления применяют формулу

$$h_{3,n} = \frac{b_1}{2} \cdot \frac{\sin(Z_B + Z_H)_1}{\sin(Z_B - Z_H)_1} - \frac{b_n}{2} \cdot \frac{\sin(Z_B + Z_H)_n}{\sin(Z_B - Z_H)_n} + \frac{1}{2}(b_1 - b_n),$$

где b_1, b_n – расстояние между верхней и нижней визирными марками.

Наибольшая точность тригонометрического нивелирования (до 0,1мм) обеспечивается при коротких (до 100м) лучах визирования с применение высокоточных теодолитов и специальной методики, позволяющей измерять зенитные расстояния с ошибкой до 1,5". Методикой предусматривается тщательное исследование и юстировка теодолита, его однообразная установка во всех циклах измерений, строгая вертикальность реек, выбор времени и условий наблюдений для уменьшения влияния вертикальной рефракции и ряд других мер, направленных на ослабление влияния различных источников ошибок. Горизонтальные проложения до визирных марок должны быть измерены с ошибкой 3-5 мм.

Гидростатическое нивелирование целесообразно применять при наблюдениях за осадками фундаментов и несущих строительных конструкций в стесненных условиях подвальных и цеховых помещений, где возможность геометрического нивелирования весьма ограничена из-за отсутствия удобных мест для установки нивелира и для работы наблюдателя.

Определение превышений между осадочными марками производят переносными гидростатическими приборами, либо стационарной гидростатической системой.

На сооружениях, где в связи с производственным процессом пребывание человека нежелательно или вообще исключено, создают гидростатические системы с дистанционным получением информации о высотных перемещениях наблюдаемых точек.

Уровень жидкости в сообщающихся сосудах гидростатических приборах и системах измеряют или механически, вводя в контакт с поверхностью жидкости острие штока, связанного с измерительным устройством, или автоматически, когда положение уровня определяется при помощи электрических или оптико-электронных датчиков.

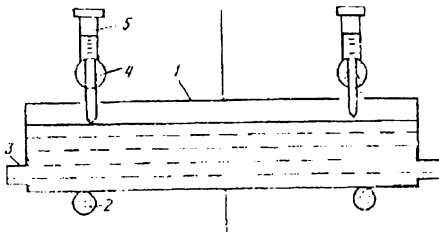


Рис. 15. Стационарная гидростатическая система

Простейшая система, используемая на гидротехнических сооружениях (рис. 15), состоит из отрезка металлических труб 1, уложенных на стержнях 2, заделанных в стену. Отрезки труб соединяются между собой шлангами 3. Над трубой в точках, между которыми систематически определяются превышения, в стену закладывают марки 4 с посадочными втулками для переносного измерителя 5. При наблюдениях измеритель вставляется во втулку марки. Вращением микрометрического винта измерителя острие штока контактирует с поверхностью жидкости. В момент контакта загорается сигнальная лампочка и берется отсчет по барабану микрометра.

При большом диапазоне величин осадок, а также для упрощения процесса автоматизации наблюдений применяют гидродинамические системы нивелирования. Они основаны на равномерном изменении уровня всей жидкости в сообщающихся сосудах и фиксации его контакта с игольчатым штоком датчиков, установленными на наблюдаемых осадочных марках.

Гидронивелирование обеспечивает такую же точность, как и геометрическое нивелирование.

При наблюдениях за взаимным высотным положением точек на сооружении, расположенных на расстоянии до 1,5 м, применяют способ микро nivelирования. Измерения выполняют микро nivelиром, основанным на применении высокоточного уровня и индикатора часового типа. Средняя квадратическая ошибка измерения превышения не превышает 0,01-0,02 мм.

4. Геодезические методы наблюдений за горизонтальными смещениями сооружений.

Требования к устойчивости планового положения сооружения в целом и его отдельных частей и элементов, также как и требования к разбивке сооружения, могут отличаться по различным направлениям, что связано с его технологическими и конструктивными особенностями. В связи с этим величины горизонтальных смещений принято определять либо по двум координатам, либо по одной координате. В первом случае для координирования наблюдаемых точек сооружения применяют линейно-угловые геодезические построения, во втором – сворные методы.

Линейно-угловые построения могут быть представлены в виде специальных сетей триангуляции и трилатерации, комбинированных сетей, угловых и линейных засечек, ходов полигонометрии, сетей из вытянутых треугольников с измеренными сторонами и высотами др. применение того или иного вида построения зависит от геометрической формы сооружения, требуемой точности и условий измерений, организационных и других факторов.

Во многих случаях применяют комбинированные линейно-угловые построения, сочетающие трилатерацию и триангуляцию. В таких построениях обычно принято измерять все углы и часть сторон. Решение какие из сторон и с какой точностью выполнять линейные и угловые измерения принимается на основе расчетов, исходя из требований точности определения величин смещений.

В расчетах используют формулы для оценки точности определения смещений по осям принятой системы координат X и Y .

$$m_{q_x} = \mu \sqrt{2Q_x}; \quad m_{q_y} = \mu \sqrt{2Q_y};$$

где μ – средняя квадратическая ошибки веса (обычно ошибка измерения угла или направления);

Q_x и Q_y – обратные веса определения координат наблюдаемых точек соответственно по осям X и Y .

Линейно-угловые построения могут быть одноступенчатыми, когда в единую сеть включают исходные пункты, принимаемые за неподвижные, и деформационные марки на сооружении. При двухступенчатом построении сначала создают опорную сеть, включающую опорные и вспомогательные знаки. Повторные измерения в такой сети позволяют контролировать устойчивость опорных знаков и определять координаты вспомогательных знаков, относительно которых наблюдают за положением деформационных знаков на сооружении.

Угловую и линейную засечку, в качестве второй степени геодезического построения, часто применяют для определения смещений недоступных точек сооружения. Полигонометрию и сети микротрилатерации из вытянутых треугольников с измеренными сторонами и высотами – для протяженных сооружений прямоугольной и криволинейной формы.

Каждый из видов линейно-угловых построений отличается своими особенностями, но во всех циклах схема наблюдений должна быть постоянной, что обеспечит наиболее надежное определение величин смещения.

Одна из возможных схем линейно угловых построений для наблюдений за горизонтальными смещениями бетонных плотин, гидроузлов показана на рис. 16

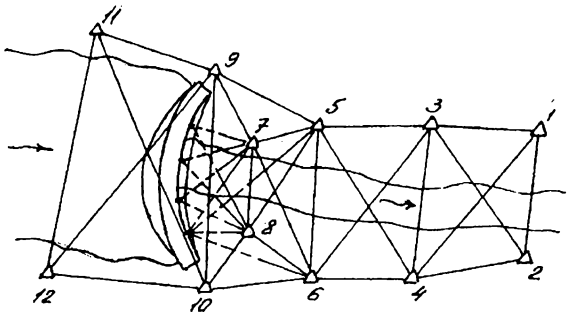


Рис. 16. Схема плановой опорной сети гидроузла

Построение может представлять собой сеть триангуляции, трилатерации или их комбинацию (линейно-угловую сеть). Пункты 1-6 и 9-12 – опорные, один из которых принимается за исходный, 7-8 являются вспомогательными и служат для наблюдений за положение деформационных знаков на разных уровнях плотины, например, прямой угловой засечкой. Опорные пункты стараются размещать вне зоны деформационной зоны гидроузла.

Полигонометрию удобно использовать при наблюдениях за смещение криволинейной плотины (рис 17). Полигонометрический ход прокладывают между опорными пунктами А и В (по гребню, а также по галерее и прилегающим к плотине штольням). Пункты А и В (9 и 10 на рис 16) по возможности включают в опорную сеть, чтобы осуществлять азимутальную и координатную привязку и контролировать стабильность их положения.

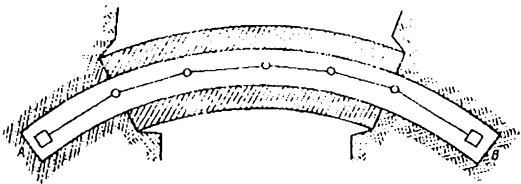


Рис. 17. Схема полигонометрического хода в галерее плотины

В отдельных случаях возможна только координатная привязка хода, что требует более точных угловых измерений.

При прокладке полигонометрического хода в галереях плотины возможно значительное искажение углов из-за боковой рефракции. В этом случае целесообразно применять микротрилатерацию из вытянутых треугольников (рис. 18). Точность определения углов, а следовательно, и положения наблюдаемых точек, значительно повышается, если дополнительно измерять высоты треугольников.

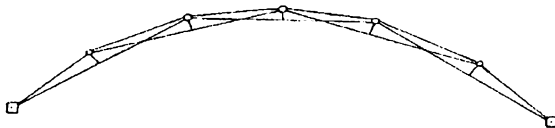


Рис. 18. Микротрилатерация из вытянутых треугольников с измеренными сторонами и высотой

Если положение опорных и вспомогательных знаков устойчивое, что должно быть установлено в каждом цикле измерений, используют способ направлений (рис. 19).

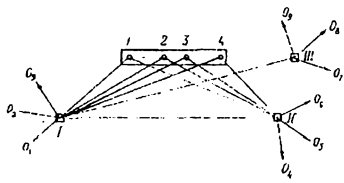


Рис. 19. Схема наблюдения способом направлений

Величина смещения наблюдаемой точки q_i с каждого опорного пункта определяют по расстоянию и изменению соответствующего направления (рис.20),

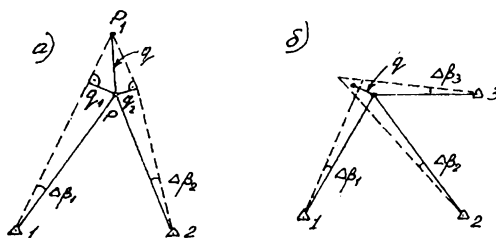


Рис. 20. Графическое определение смещений способом направлений

$$q_i = l_i \frac{\Delta\beta_i''}{\rho''},$$

где l_i – расстояние от знака до наблюдаемой точки; $\Delta\beta_i''$ – изменение направления на наблюдаемую точку между циклами измерений.

Окончательную величину и направление вектора смещения q точки находят графически по правилу перпендикуляров от частных векторов q_i (рис. 20а).

При наблюдениях по трем направлениям новое положение наблюдаемой точки, получаемое графически, будет находиться в центре тяжести треугольника (рис. 20б).

Величину смещения в направлении действующей на сооружение горизонтальной силы получают как проекцию вектора сдвига на направление этой силы.

Для определения смещения основания сооружения относительно его верхней части, например, подошва плотины относительно гребня, применяют прямые и обратные (поплавковые) отвесы. В теле сооружения отвесы размещают в вертикальных шахтах или в специально заложенных трубах.

В прямом отвесе вертикальную линию фиксируют проволокой диаметром 0,8-1,2 мм, подвешенной наверху и натянутой снизу грузом 20 кг. На нижних ярусах положение проволоки определяют координатомером.

В обратном отвесе вертикальность проволоки осуществляют поплавковым устройством (рис 21). Снизу в основании или на другом наблюдаемом ярусе сооружения проволока закрепляется при помощи якоря. Верх проволоки жестко связан с поплавком в виде полового тора, плавающим в круговом сосуде с жидкостью и силой выталкивания натягивающим проволоку в отвесном направлении. При смещении подошвы плотины перемещается и якорь, и соответственно верхняя осевая точка плавающей системы. Величину этого перемещения измеряют при помощи микроскопа относительно независимых от отвеса осей координатного столика на гребне плотины.

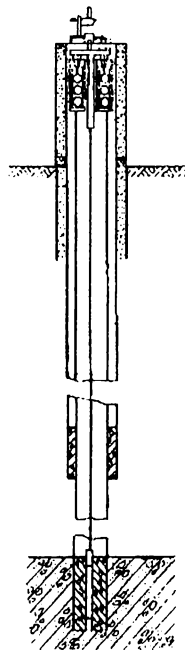


Рис. 21. Обратный отвес

Для определения полной величины смещения основания необходимо знать перемещение координатного столика с микроскопом, которое может быть определено от опорных пунктов.

Обратные поплавковые отвесы используют также для наблюдений за смещениями подошвы плотины относительно находящихся под ней на глубине горных пород, считаемых неподвижными.

Створные методы применяют для наблюдений за горизонтальными смещениями сооружений прямолинейной формы, когда смещения достаточно знать по одному направлению. При этом координатную систему выбирают так, чтобы с направлением смещений совпадала ось ординат, а с направлением створа – ось абсцисс.

Величины смещений находятся по разности значений (нестворностей), измеренных в двух циклах.

Нестворность определяют различными методами, из которых наиболее распространены методы подвижной марки и малых углов. Для задания створной линии применяют струнные и оптические способы, а также способы, основанные на принципах физической оптики. *Струнный способ* предусматривает использование натянутой стальной струны различного диаметра, *оптический* – зрительных труб большого увеличения (теодолиты, нивелиры, автоколлимационные системы, специальные алинометры)

В *методе подвижной марки* величина нестворности определяется непосредственно. Для этого в точке *A* (рис. 22а) устанавливается оптический прибор, коллимационная плоскость которого ориентируется по марке в точке *B* и задает створную линию. Подвижная марка, установленная в точке *C*, вводится в створ. Положение подвижной марки, когда мишень ее находится в створе, фиксируется по отсчетному устройству марки. Если известен отсчет, когда ось мишени совпадает с точкой *C*, то нестворность q_c может быть вычислена как разность отсчетов при положении марки в точке *C* и в створе *AB*. При возможности поворота марки на 180° нестворность может быть получена как полуразность отсчетов для двух положений марки при введении ее в створ.

В *методе малых углов* нестворность q определяется путем измерения малого угла α (рис. 22б) между линией створа и направлением на точку *C* и расстояния *S*. Величина нестворности вычисляется по формуле

$$q_c = \frac{S\alpha}{\rho}.$$

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. 23а), когда нестворности всех точек определяются относительно общего створа между концевыми (опорными) точками створа. В схемах частных (пересекающихся) (рис. 23б) и последовательных (рис. 23в) створов нестворности измеряются между определяемыми точками относительно этих створов.

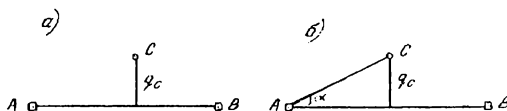


Рис. 22. Определение величины нестворности методами подвижной марки (а) и малых углов (б)

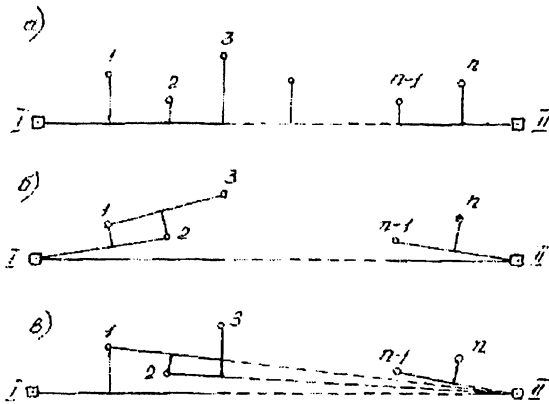


Рис. 23. Схемы створных измерений

Так, схема последовательных створов предусматривает определение нестворностей Δ_1 точки 1 от створа I-II, Δ_2 точки 2 от створа 1-II, Δ_3 точки 3 от створа 2-II и т.д. В схеме частных створов нестворность Δ_1 точки 1 определяется от створа 1-2, Δ_2 точки 2 от створа 1-3, Δ_3 точки 3 от створа 2-4 и т.д. В обеих схемах нестворности q относительно общего створа могут быть получены лишь путем соответствующих вычислений, зная расстояние S между всеми точками.

В общем случае, когда расстояние между определяемыми точками не равны между собой, нестворности всех n точек относительно общего створа могут быть найдены из решения следующих линейных уравнений:

для схемы последовательных створов

$$\begin{aligned}
 q - \Delta_1 &= 0; \\
 q_2 - q_1 \frac{S_{2,II}}{S_{1,II}} - \Delta_2 &= 0 \\
 \dots \dots \dots \\
 q_i - q_{i-1} \frac{S_{i,II}}{S_{i-1,II}} - \Delta_i &= 0; \\
 \dots \dots \dots \\
 q_n - q_{n-1} \frac{S_{n,II}}{S_{n-1,II}} - \Delta_n &= 0;
 \end{aligned}$$

для схемы частных створов

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

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

.

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

.

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

На практике расстояние 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:

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

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

где k – номер очередного слагаемого под знаками суммы.

Для определения горизонтальных смещений гидротехнических сооружений применяют створный *метод плавающей струны* (рис. 24). Опорный створ задают

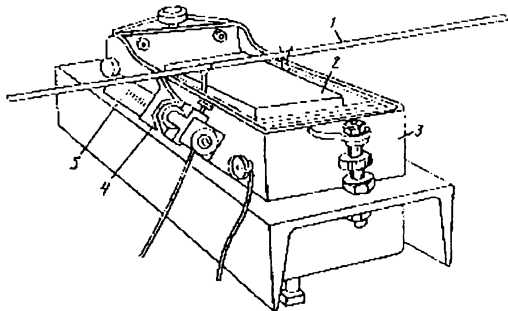


Рис. 24. Метод плавающей струны

тонкой стальной струной 1, покоящейся на промежуточных опорах – поплавках 2, плавающих в металлических ванночках 3 с жидкостью. Струна находится под постоянным натяжением, создаваемом лебедкой на одном конце и грузом на другом. При выводе струны из положения равновесия она возвращается в прежнее положение с точностью 0,1мм. Ванночки закрепляются на точках, положение которых определяют относительно струны. Снаружи каждой ванночки имеется

линейка с миллиметровыми делениями 5 и движком 4 с точностью верньера 0,1мм. Положение струны относительно линейки определяют в момент контакта кромки движка со струной. Ошибка определения нестворностей створным методом плавающей струны не превышает 0,2мм.

Для наглядного представления хода горизонтальных смещений сооружения составляют графики изменения положения точек сооружения во времени по исследуемым осям.

5. Наблюдения за кренами сооружений

Крен – один из важнейших видов деформаций сооружения, определяющий его устойчивость и эксплуатационную надежность, особенно для высоких башенных сооружений.

Причиной возникновения кренов являются неравномерные осадки вследствие неоднородных физико-механических свойств грунтов основания, а также изменение этих свойств в процессе строительства, переменные строительные нагрузки, динамические нагрузки технологических процессов и др.

Причина изгиба и наклона верхней части сооружений башенного типа может быть боковое давление ветра и односторонний солнечный нагрев.

Для полного представления о кренах и изгибах башенных сооружений производят периодические наблюдения за кренами на различных горизонтах и за осадками фундамента. Все известные способы определения кренов основаны на применении механических и оптических отвесов или теодолитов. Выбор способа зависит от условий и требуемой точности наблюдений. К механическим отвесам относят нитяные прямые и обратные поплавковые отвесы, в которых вертикальную линию задает вертикально подвешенная проволока. Оптические отвесы представлены различными приборами вертикального проектирования, в которых вертикальная линия фиксируется визирной осью зрительной трубы, приводимой в отвесное положение при помощи уровня или компенсатора.

Для наблюдений за креном с использованием приборов вертикального проектирования необходимо иметь условия для визирования с исходного горизонта на наблюдаемый. На бетонных плотинах наблюдения производят через имеющиеся в теле плотины вертикальные шахты и специально заложенные смотровые трубы, связывающие гребень и горизонтальные галереи.

Наблюдения состоят в периодическом фиксировании положения вертикальной линии, задаваемой прибором и проходящей через точку, закрепленную на исходном горизонте. Для этой цели на наблюдаемом горизонте закрепляют мишень в виде координатной сетки, по которой берут отсчеты.

При отсутствии условий для применения отвесов и приборов вертикального проектирования используют различные способы, основанные на геодезических построениях с помощью теодолита, например, способы координат, вертикального проектирования, горизонтальных углов и др.

Способ координат состоит в определении прямой однократной или многократной засечки с пунктов опорной геодезической сети координат хорошо

заметной или специально замаркированной точки O в верхней части сооружения (рис 25). Составляющие крена по осям координат Q_x и Q_y , полную величину Q и дирекционные направления α_{Q_i} полного крена на момент j -го цикла относительно начального вычисляют по формулам

$$Q_i = \sqrt{Q_x^2 + Q_y^2}; \quad \alpha_{Q_i} = \arctg \frac{Q_y}{Q_x},$$

где $Q_x = x_j - x_0, Q_y = y_j - y_0$;

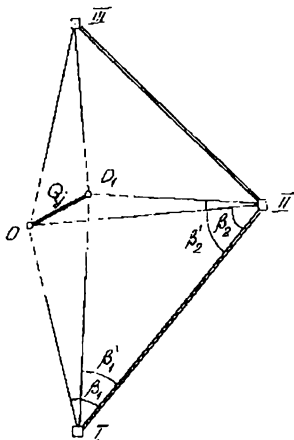


Рис. 25. Определение крена способом координат

Более полное представление о крене сооружения может быть получено, если за x_0 и y_0 принять определенные от опорных пунктов координаты точки в основании сооружения, соответствующей проектному положению наблюдаемой наверху. В этом случае величина полного крена включает в себя не только крен из-за деформации, но и ошибку возведения сооружения по вертикали.

Однако, чаще всего при исследованиях деформаций сооружений ограничиваются наблюдением за изменением крена уже построенного сооружения, определяя координаты выбранной точки через определенные промежутки времени.

Способ вертикального проектирования. Наблюдения выполняют теодолитами с двух опорных пунктов, расположенных на взаимно перпендикулярных осях сооружения (рис. 26). Хорошо заметную точку или марку наверху сооружения проектируют коллимационной плоскостью теодолитов и фиксируют отсчетами на специально закрепленных рейках или палетках в основании сооружения.

Разность отсчетов, полученных из наблюдений в текущем и начальном цикле наблюдений, дают величины кренов Q_I и Q_{II} в плоскости реек. Фактические величины составляющих крена получают из выражений

$$Q_I = Q'_I (1 + r/d);$$

$$Q_{II} = Q'_{II} (1 + r'/d');$$

где d и d' — расстояния от теодолита до рейки соответственно на пунктах I и II; r и r' — расстояния от реек до наблюдаемой точки. Точность способа главным образом зависит от точности приведения основной оси теодолита в отвесное положение.

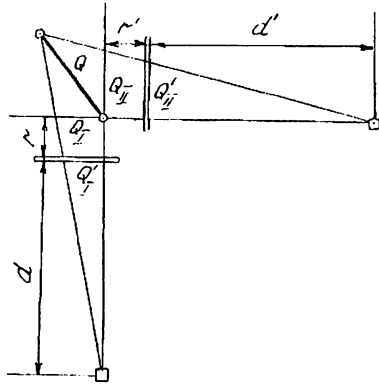


Рис. 26. Определение крена способом вертикального проектирования

Способ горизонтальных углов. Теодолитом на двух опорных пунктах I и II, расположенных на взаимно перпендикулярных осях, периодически измеряют углы между направлениями на ориентирные пункты III и IV и наблюдаемую точку на верху сооружения (рис. 27)

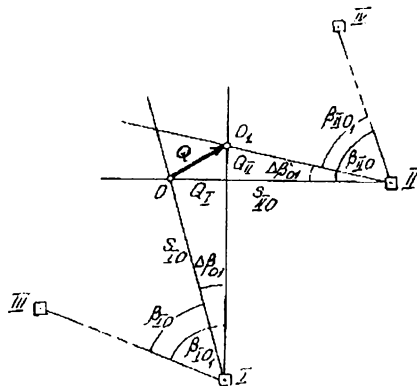


Рис. 27. Определение крена способом горизонтальных углов

Составляющие крена Q_I, Q_{II} и полный крен Q находят из выражений

$$Q_I = \frac{\Delta\beta_{0I} \cdot S_{I0}}{\rho}; \quad Q_{II} = \frac{\Delta\beta_{0II} \cdot S_{II0}}{\rho}; \quad Q = \sqrt{Q_I^2 + Q_{II}^2},$$

где $\Delta\beta_{0I} = \beta_{I0_1} - \beta_{I0_0}$, $\Delta\beta_{0II} = \beta_{II0_1} - \beta_{II0_0}$ - разность углов, измеренных в начальном и текущем цикле наблюдений;

S_{I0} и S_{II0} - горизонтальные расстояния от опорных пунктов до наблюдаемой точки, которые могут быть определены прямой угловой засечкой с пунктов I и II или получены из решения обратной геодезической задачи, если известны координаты пунктов I, II и наблюдаемой точки в одной системе координат.

Если направления с опорных пунктов на наблюдаемую точку расположены под некоторым углом γ , но отличающимся от прямого в небольших пределах, то полный крен вычисляют по формуле

$$Q = \frac{1}{\sin \gamma} \sqrt{Q_I^2 + Q_{II}^2 - 2Q_I Q_{II} \cdot \cos \gamma}.$$

Точность определения крена этим способом в основном зависит от точности измерения углов. При $S_{I0} = S_{II0} = S$ ошибка определения полного крена может быть вычислена по формуле

$$m_Q = \frac{2m_\beta \cdot S}{\rho};$$

$$m_Q = \frac{2m_\beta \cdot S}{\rho \cdot \sin \gamma}.$$

Крен сооружения по выбранному горизонтальному направлению можно определять по результатам наблюдений за осадками двух точек, закрепляющих это направление на фундаменте или цокольной части сооружения. В этом случае крен, выражаемый величиной вертикального отрезка, получают как разность осадок двух точек (рис. 28)

$$\Delta S_{i,j} = S_j - S_i.$$

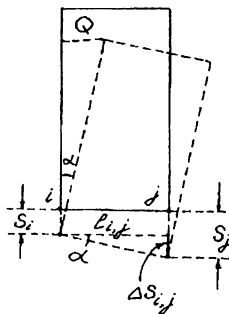


Рис. 28. Определение крена сооружения нивелированием точек на фундаменте сооружения

Величина крена Q , выражаемого горизонтальным отрезком, соответствующим отклонения от вертикали наблюдаемой верхней точки сооружения на высоте H вычисляется по формуле

$$Q = \frac{\Delta S_{i,j} \cdot H}{l_{i,j}},$$

где $l_{i,j}$ – расстояние между наблюдаемыми точками

Более полную характеристику крена сооружения можно получить по результатам наблюдений за осадками по трем и более точкам, закрепленным на фундаменте. В случае трех точек по условным координатам и величинам полученных осадок находят уравнение плоскости, проходящей через эти точки. Из решения трех уравнений находят значения параметров, по которым вычисляют угол крена α (см. рис. 28), полный крен $Q = \frac{\alpha'' \cdot H}{\rho''}$ и угол, характеризующий его направление.

Для наблюдений за кренами сооружений находят применение специальные приборы, основанные на использовании жидкостных и маятниковых уровней. К ним относятся различные по конструкции наклономеры и микроnivelеры, а также маятниковые кренометры.

Простейшими по конструкции наклономерами являются брусковые уровни с ценой деления 1-5'', используемые в монтажных работах для контроля горизонтальности плоскостей. Их применение ограничивает малый диапазон измерений. Этот недостаток частично устранен в клинометрах – уровнях, снабженных микрометренным винтом и отсчетным устройством (рис. 29). Один из концов цилиндрического уровня в оправе 1 закреплен шарнирно к основанию 2 прибора, а второй может перемещаться относительно основания при помощи микрометренного винта и отжимной пружины 4. Микрометренный винт снабжен круговой шкалой (барabanом) с известной ценой деления. На исследуемую плоскость прибор устанавливается двумя опорами 5.

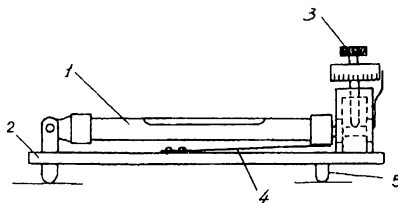


Рис. 29. Клинометр

Наклономеры могут быть переносными или стационарными, жестко установленными на сооружение. Для переносного прибора необходимо в местах его установки на сооружении закреплять отшлифованные пластины и отмечать точки под опоры прибора. Находят применение стационарные клинометра с тремя расположенными веером через 45° цилиндрическими уровнями.

К наиболее точным современным приборам для измерения наклонов относятся маятниковые электронные уровни с индуктивными преобразователями. Их преимущество перед приборами другого типа – возможность дистанционного измерения изменения наклонов.

К недостаткам наклономеров следует отнести ограниченную (до 500мм) измерительную базу. Большую измерительную базу (до 1,5м) за счет увеличения длины основания и расстояния между рабочими опорами имеют микроnivelеры. Увеличение базы и применение отсчетного устройства в виде индикатора часового типа существенно повышает точность измерений.

При появлении трещин в несущих конструкциях зданий и сооружений проводят систематические наблюдения за их развитием с тем, чтобы выяснить характер деформации конструкции и степень ее опасности. На каждой трещине в месте наибольшего развития устанавливают специальные маяки, которые представляют собой плитки из гипса, алебаstra и т.п., прикрепляемые к конструкции поперек к трещине. Разрыв маяка свидетельствует об активном развитии деформации. В простейшем случае изменение ширины трещины определяют из измерений линейкой. Применяют также специальные измерительные устройства: щелемеры, деформометры, измерительные скобы и другие.

Наблюдения за раскрытием температурно-осадочных швов и образовавшихся трещин на горизонтальных поверхностях сооружений возможно также производить по такой схеме измерений.

По обе стороны шва или трещины закрепляют три наблюдательных марки и измеряют расстояние a, b, c и превышения $h_{A,C}$ и $h_{B,C}$ между ними (рис. 30).

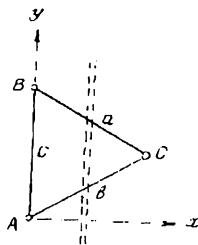


Рис. 30. Схема наблюдений за швами на горизонтальной поверхности сооружения

В каждом цикле наблюдений вычисляют условные координаты и отметки марки C по формулам:

$$y_c = \frac{c^2 + b^2 - a^2}{2c^2}; \quad x_c = \sqrt{b^2 - y_c^2}; \quad H_c = H_{A1} + h_{A,C} = H_{A1} + h_{AB} + h_{BC}$$

Известны многие другие схемы и способы наблюдений за раскрытием швов и трещин на сооружениях.

Измерения координат и высоты точки C между двумя циклами характеризуют подвижку наблюдаемых элементов сооружения.

Список литературы.

1. Геодезические методы исследования деформаций сооружений. А.К. Зайцев, С.В. Марфенко, Д.Ш. Михелев и др. – М. Недра, 1991.- 272 с.: ил.
2. Карлсон А.А. Измерение деформаций гидротехнических сооружений. – М. Недра, 1984-245 с.
3. Левчук Г.П., Новак В.Е., Конусов В.Г. Прикладная геодезия: Основные методы и принципы инженерно-геодезических работ. Учебник для вузов.- М.: Недра, 1981,438 с.
4. Николаев С.А. Статистические исследования осадок инженерных сооружений. – М. Недра, 1983, 112с.
5. Пискунов М.Е. Методика геодезических наблюдений за деформациями сооружений – М. Недра, 1980.
6. Практикум по прикладной геодезии: Геодезическое обеспечение строительства и эксплуатации инженерных сооружений. Учебное пособие для вузов / Е.Б. Ключин Д.Ш. Михелев, Д.П. Барков и др.– М. Недра, 1993.- 368 с.: ил.
7. Руководство по наблюдениям за деформациями оснований и фундаментов зданий и сооружений. – М. Стройиздат, 1975.

Содержание.

1. Деформации сооружений их виды и причины возникновения	4
2. Организация наблюдений за деформациями	6
3. Наблюдения за осадками сооружений	14
4. Геодезические методы наблюдений за горизонтальными смещениями сооружений	23
5. Наблюдения за кренами сооружений	30
Список литературы	36