

И. Ф. БОЛГОВ, В. Р. ЧЕПУЛЕВИЧ

ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ ДЕФОРМАЦИИ СООРУЖЕНИЙ

Одним из мероприятий, способствующих экономически целесообразному использованию средств, вкладываемых в строительство, является изучение деформаций сооружений в натуральных условиях. Правильное использование данных, вытекающих из материалов измерения деформаций инженерных сооружений и строительных конструкций, приводит к повышению эксплуатационного качества вновь строящихся зданий и сооружений и увеличению срока их службы.

Из практики известно много примеров, когда своевременно и правильно поставленные наблюдения за «поведением» сооружений позволяют в одних случаях заметить нарушения в сооружениях, принять предупредительные меры и продлить работу сооружений на многие десятилетия, в других — повысить проектную мощность сооружений, в третьих — правильно решить конструктивную задачу и тем самым удешевить строительство, например, заменить дорогостоящие фундаменты более дешевыми. Известно также немало и других примеров, когда отсутствие наблюдений или плохая их организация приводили к авариям и повреждениям сооружений, а порой и к большим катастрофам.

Вопросы измерения деформаций сооружений (сдвигов, осадок и т. д.) геодезическими методами стали широко разрабатываться в нашей стране в последнее двадцатилетие, и в этом направлении достигнуты определенные успехи, хотя многое еще требует дальнейшего исследования, совершенствования и отработки.

При измерении деформаций сооружений наибольшую трудность представляют наблюдения за сдвигами (горизонтальными смещениями). Общая схема этих наблюдений может быть представлена так. В районе сооружений создается триангуляционная сеть, которая является основой для наблюдений. В эту сеть включаются концевые точки створа, размещаемого на исследуемом сооружении. Положение промежуточных точек створа относительно концевых определяется створными наблюдениями.

В зависимости от конкретных условий и характера сооружения при измерении горизонтальных смещений могут встретиться следующие случаи:

1. Смещения точек сооружений определяются по створу, концевые точки которого надежно закреплены; в этом случае надобность в общей сети триангуляции отпадает; за концевыми точками створа можно организовать наблюдения из малых локальных геодезических построений, в которых за этими точками следят по всем трем осям координат (продолженные створы, прупповые знаки и т. д., рис. 1).

2. Смещения точек определяются по створу, концевые точки которого включаются в триангуляционную сеть; створ располагается на верхних гранях сооружений (рис. 2).

3. Смещения точек определяются по створу, расположенному в потерне (смотровой галерее, размещаемой у основания сооружения);

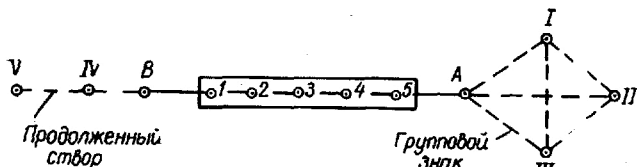


Рис. 1.

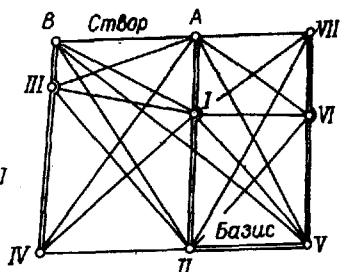


Рис. 2.

координаты концевых точек створа наверху сооружения определяются из триангуляции и сносятся в потерну отвесами или другими геодезическими методами

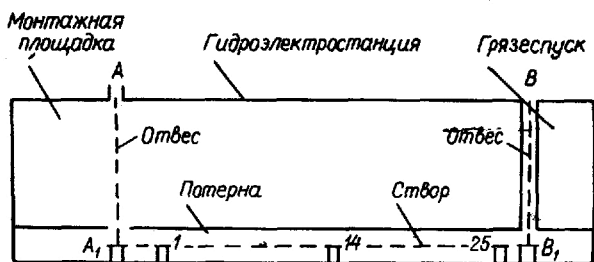


Рис. 3.

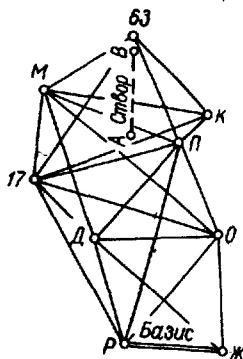


Рис. 4.

ческими методами (рис. 3 и 4); иногда в этом случае из триангуляции возможно только определение вспомогательных точек, от которых производится координирование концевых точек створа и снос их в потерну.

4. Смещения точек сооружений, где затруднительно организовать створы, например, арочные плотины и т. д., определяются преимущественно триангуляцией (рис. 5).

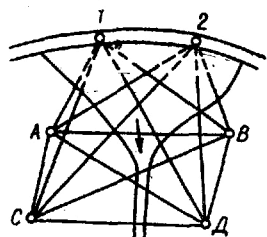


Рис. 5.

Разумеется, жизнь может выдвинуть и другие схемы определения смещений сооружений. Однако в дальнейшем проанализируем указанные выше случаи, в которых мы сталкиваемся со следующими источниками ошибок:

- 1) $m_{тр}$ — ошибка определения координат концевых точек створа (или вспомогательных) из триангуляции;
- 2) $m_{коорд}$ — ошибка координирования концевых точек створа — от вспомогательных;
- 3) $m_{сноса}$ — ошибка сноса координат в потерну;
- 4) $m_{ств}$ — ошибка створных наблюдений.

Если за величину ошибки определения горизонтальных смещений принять величину Δ , то в перечисленных случаях будем иметь:

$$\begin{aligned} 1) \text{ и } 4) \Delta^2 &= m_{\text{ств}}^2 \text{ и } \Delta^2 = m_{\text{тр}}^2 \\ 2) \Delta^2 &= m_{\text{тр}}^2 + m_{\text{ств}}^2 \\ 3) \Delta^2 &= m_{\text{тр}}^2 + m_{\text{ств}}^2 + m_{\text{сноса}}^2 \\ &\Delta^2 m_{\text{тр}}^2 + m_{\text{ств}}^2 + m_{\text{сноса}}^2 + m_{\text{коорд}}^2. \end{aligned} \quad (1)$$

Если принять для расчета принцип равных влияний ошибок, т. е. $m_{\text{тр}} = m_{\text{ств}} = m_{\text{сноса}} = m_{\text{коорд}} = m$, равенства (1) можно представить в виде:

$$\begin{aligned} 1) \Delta &= m, & 1) m &= \Delta, \\ 2) \Delta &= m \sqrt{2}, & 2) m &= 0,7 \cdot \Delta, \\ 3) \Delta &= m \sqrt{3}, & 3) m &= 0,6 \cdot \Delta, \\ &\Delta = m \sqrt{4}, & & m = 0,5 \cdot \Delta. \end{aligned} \quad (2), \text{ откуда} \quad (3)$$

Следовательно, по заданной величине Δ и по тому, как будут организованы наблюдения на данном сооружении, можно подсчитать, какую ошибку можно допустить на той или другой операции. Например, при $\Delta = \pm 5$ мм на каждой операции в третьем случае допускаемая ошибка должна быть не более ± 3 мм. Далее, исходя из этой величины, можно выбрать метод наблюдений на створе и рассчитать число приемов (объем работы); выбрать метод сноса координат в потерну,

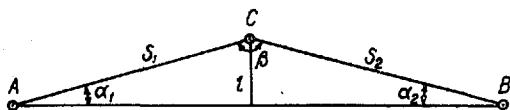


Рис. 6.

рассчитать класс триангуляции для определения концевых точек створа, расположенных на поверхности сооружения.

Приведенные выше расчеты в конкретных условиях могут быть скорректированы в зависимости от того, на каком этапе легче обеспечить допустимую ошибку, на каком труднее. Например, если на створе в третьем случае можно обеспечить ошибку меньше ± 3 мм, то в триангуляции можно допустить ошибку больше ± 3 мм, с условием, чтобы общая ошибка не превышала заданной величины Δ .

Поскольку работа по созданию триангуляционных сетей (проектирование, расчет точности, угловые и базисные измерения, уравнивание и оценка точности) достаточно хорошо известна из курса геодезии, а снос координат сверху вниз — из курса маркшейдерии, то в дальнейшем мы кратко остановимся на методике створных наблюдений, которые представляют собою новый вид геодезических работ. При этом рассмотрим створные наблюдения подвижными визирными целями, измерением малых углов и углов, близких к 180° , подвижными инструментами, визирными линейками и другими способами.

Производство створных наблюдений подвижными визирными целями заключается в следующем. На одном конце створа ставится инструмент, на другом — неподвижная визирная цель. На промежуточных точках створа устанавливается подвижная визирная цель, которая микрометренным винтом подводится на визирную линию (инструмент — дальняя марка). По отсчетному приспособлению производится отсчет, соответствующий расстоянию центра знака от линии створа AB (рис. 6). В зависимости от расстояний и требуемой точно-

сти производится несколько (3—5) таких введений визирной цели в створ.

При способе подвижных визирных целей отсчеты и запись результатов производятся непосредственно у наблюдаемой точки, т. е. в этих геодезических измерениях наблюдатель и его помощник разделены. Связь между наблюдателем, находящимся у инструмента, и его помощником, находящимся у марки, затруднительна, и затруднение возрастает с увеличением расстояния. Это является одной из слабых сторон способа. Однако это затруднение можно преодолеть соответствующей системой сигнализации или связью по телефону.

При этом способе створных наблюдений можно непосредственно из периодических измерений определить величины горизонтальных смещений промежуточных точек створа от какой-либо закрепленной линии AB . Опыт работ показывает, что способ подвижных визирных целей рационально применять на створах небольшой длины (до 0,8 км), где может быть обеспечена $m_{\text{ств}}$ около ± 2 мм.

Одновременно со способом створных наблюдений подвижными визирными целями существует способ измерения малых углов окулярным или оптическим микрометром между промежуточными точками и самим створом (углы α_1 и α_2 , рис. 6). Опыт створных наблюдений измерением малых углов показал, что полевые наблюдения в этом способе занимают сравнительно мало времени и могут выполняться, при аккуратном и внимательном отношении к ним, геодезистами средней квалификации. Опыт показывает также, что в створных измерениях малых углов можно получать результаты с ошибкой меньше ± 1 —2 мм. Камеральная обработка результатов измерений проста и занимает мало времени. Вычислительная работа еще более ускоряется применением таблиц для вычисления нестворностей по измеренным углам и расстояниям. Вычисления можно вести и на логарифмической линейке, которая при малых величинах нестворностей и величин смещений вполне обеспечивает необходимую точность вычислений (до 0,1 мм).

Величина нестворности подсчитывается по формуле: $l = (S \cdot \alpha'') : \rho''$. Разность l из периодических измерений дает величину смещения Δl для каждой точки створа.

При этом способе исследования сооружений, поставив в створе несколько марок, можно наблюдать их все сразу. Это сокращает время производства работ на створе, что является весьма важным моментом при изучении деформаций сооружений. Для больших створов следует иметь 5—6 марок такой конструкции, чтобы можно было менять ширину визирной цели (в виде лепестковой диафрагмы). Способ можно применять там, где другие способы мало приемлемы (на стенках тоннелей, шлюзов, на гранях бычков мостов, плотин и т. д.).

Кроме рассмотренных выше способов створных наблюдений подвижными визирными целями и измерением малых углов, можно применять способ измерения на створе углов, близких к 180° (угол β , рис. 6). По этим углам и расстояниям между створными точками определяются сначала нестворности точек по формуле $l = (S_1 + S_2) \cdot (180^\circ - \beta)'' : 4\rho''$, а из периодических наблюдений вычисляются и величины смещения точек за истекший период времени между наблюдениями. При этом способе работ на створе используются оптические теодолиты, причем ошибка за фокусировку, присущая другим способам, исключается, так как расстояния от определяемой до исходных точек примерно равны. Этот способ прост, не требует дополнительного оборудования. Работа на створе может выполняться в ко-

роткий промежуток времени, ибо на каждой точке надо измерить угол двумя—тремя приемами, на что потребуется не более 15 минут.

Определение горизонтальных смещений сооружений в некоторых случаях целесообразно проводить по горизонтальным визирным линейкам (рейкам), используемым в качестве визирных целей. После ориентирования визирной оси трубы теодолита по створу по горизонтальной линейке производится отсчет с точностью до миллиметров и записывается в журнал. После перевода трубы через зенит и нового ориентирования визирной оси по створу делается новый отсчет по линейке. Это составляет один прием. Таких приемов делается два—три в прямом и обратном направлениях. Точность определения нестворностей этим способом зависит от увеличения трубы, величины делений визирной линейки и удаленности ее от инструмента. Если в описанном способе шашечную реечку заменить штриховой с полусантиметровыми делениями, при наблюдениях можно применять плоскопараллельные пластинки. В качестве такого прибора можно использовать прецизионный нивелир, плоскопараллельная пластинка которого должна быть повернута на 90° .

Описанный способ определения горизонтальных смещений имеет такие достоинства: возможность изготовления знаков и визирных целей в любой механической мастерской; поворот реек на 180° исключает ошибки редукции; производство отсчетов по двум сторонам рейки дает надежный контроль работы на станции; отсутствует разрыв наблюдателя и помощника, т. е. запись результатов производится у инструмента. К недостаткам следует отнести ограниченность расстояния (до 150 м) от инструмента до рейки, на котором можно производить отсчеты, и изменение фокусировки трубы во время работы.

Для определения горизонтальных смещений сооружений можно использовать подвижные инструменты, в которых визирная ось смещается параллельно самой себе и параллельно створу. Производя фиксирование величин смещения визирной оси по линейке у инструмента, определяют нестворности точек, а по ним находят смещения точек из периодических измерений.

Главной ошибкой створных наблюдений является ошибка ориентирования трубы по створу (ошибка наведения). Значительное уменьшение этой ошибки можно достигнуть увеличением числа ориентировок визирной оси трубы. Так, в способе наблюдения сооружений подвижными визирными целями необходимо, чтобы трем отсчетам по подвижной цели предшествовало ориентирование трубы по створу, т. е. наведение на концевую точку створа. В таком случае один прием створных наблюдений должен состоять из ориентирования трубы по створу, трех отсчетов по подвижной цели в промежуточной точке створа, перевода трубы через зенит, новой ориентировки трубы по створу и трех отсчетов по подвижной визирной цели. Такой методикой будет в значительной мере уменьшена разновесность наблюдений на дальнюю и ближнюю (подвижную) марку, чего нет в других способах створных наблюдений.

Кроме рассмотренных выше способов, створные наблюдения можно выполнять по натянутой нити (струне), с помощью интерференции света, фотограмметрическим способом и т. д. Перспективным может оказаться использование в створных наблюдениях трехгранных отражательных призм, предложенных проф. А. И. Дурневым в 1949 г. для наблюдений в триангуляции. Если на промежуточных точках створа установить трехгранные призмы одну выше другой (горкой), а из концевой точки створа направить узкий пучок света, то последний, отра-

зившись от граней призм, возвратится к наблюдателю и его можно зафиксировать на фотопластинке. При периодических измерениях в случае смещения промежуточных точек луч, идущий от источника света, отразившись от призмы, займет на фотопластинке новое положение. Разность в положении одноименных лучей, полученная тем или другим способом (например, на стереоприборах), будет являться искомой величиной смещения. Этот способ заслуживает детальной разработки. Створы, оборудованные призмами, следует располагать в потернях. За положением концевых точек таких створов удобно организовать наблюдения с помощью обратных отвесов, разрабатываемых в нашей стране доктором техн. наук М. С. Муравьевым.

Створные наблюдения открывают простор для применения новейшей техники, основанной на достижениях электроники, радиотехники и т. д. Работы на створе могут быть полностью автоматизированы, результаты деформаций могут фиксироваться и передаваться в соответствующие организации. Однако разработка этих вопросов не проста и требует своих энтузиастов.

В эксплуатации любого сооружения наблюдаются осадки (вертикальные смещения) независимо от того, где построено это сооружение. Под тяжестью сооружений происходит сжатие грунтов, причем под различными частями фундамента это сжатие может происходить неравномерно, а отсюда возможны перекосы, сдвиги и другие деформации. Наиболее опасны неравномерные осадки, влияющие на целостность сооружения. С целью улучшения проектирования, строительства и эксплуатации сооружений необходимо организовывать натурные наблюдения за их осадками и другими деформациями. Такие наблюдения наиболее эффективно выполняются геодезическими методами, например, повторным геометрическим нивелированием.

Измерение осадок инженерных сооружений заключается в периодическом определении высот точек, закрепленных на исследуемом сооружении, по отношению к исходным опорным точкам, надежно закрепленным на местности и принимаемым за неподвижные. Из сравнения высот точек на сооружении делаются выводы о величине и скорости осадки сооружения.

Периодичность измерения высот точек на сооружении зависит от интенсивности нагрузки на основание и скорости осадок. Наблюдения необходимо начинать с началом строительства и продолжать в период эксплуатации сооружений до стабилизации осадок, четко соблюдая при этом принятую методику наблюдений.

Величина осадки инженерных сооружений представляет исключительный интерес для механики грунтов, для совершенствования методов производства проектных и строительных работ и используется для уточнения статических расчетов и решения вновь возникающих проблем, а также для контроля за устойчивостью сооружений и характеристики качества оснований и фундаментов. Величиной и скоростью осадки определяются методы, содержание, характер организации и производства геодезических работ, точность и продолжительность их исполнения.

Частота измерения осадок инженерных сооружений определяет полноту получения необходимых данных, их достоверность, а также стоимость геодезических работ. Разреженные наблюдения не могут обеспечить получения материалов, характеризующих действительный ход осадок, а слишком учащенные — приведут к излишним затратам средств. Необходимо, чтобы ошибка определения осадок не превышала половины скорости осадки. Исходя из этого условия и расчетной ско-

рости осадок следует устанавливать частоту наблюдений для начального периода, а затем корректировать эту частоту по мере накопления данных о фактических осадках. Частоту измерения осадок в строительный период необходимо увязывать также с нагрузками на основание, например, со строительством 25, 50, 75, 100% от веса сооружения.

В связи с массовым строительством крупных инженерных сооружений возникают проблемы выбора не только надежных, но и экономичных оснований, так как в отдельных случаях стоимость основания достигает 10—15% от общей стоимости объекта.

Значительную роль в выборе конструкции основания сооружения могут сыграть наблюдения за осадками и кренами сооружения.

Систематические наблюдения за осадками сооружений позволяют не только выбрать рациональную конструкцию фундамента, но и избежать преждевременного разрушения сооружения, а в отдельных сооружениях с переменной нагрузкой (например, силосные корпуса элеваторов) дают возможность «управлять» осадками с помощью продуманной программы загрузки емкостей.

Организацию и порядок выполнения работ по измерению осадок сооружений с некоторым теоретическим обоснованием этих работ мы считаем целесообразным рассмотреть на примерах, например, на хорошо известных нам наблюдениях за осадками крупной тепловой электростанции и некоторых элеваторов.

Во время строительства ТЭЦ велись наблюдения за осадкой возводимых зданий и сооружений. Во все исследуемые сооружения закладывались специальные металлические реперы из уголкового железа размером 50×50 мм, длиной 260 мм, с закладкой их в сооружения до 180 мм. Нивелировка этих реперов производилась один—два раза в год. Результаты нивелирования фиксировались в специальном журнале. Данные повторной нивелировки осадочных реперов показали, что за 3—4 года осадка зданий почти стабилизировалась. Полная осадка зданий достигала 3 см. Эти незначительные по величине осадки обусловлены, очевидно, предварительным уплотнением грунтов в основаниях сооружений. Измерение осадок сооружений велось нивелированием IV класса.

После некоторого перерыва ранее проведенных наблюдений в первые годы эксплуатации вновь вернулись к измерениям осадок главного корпуса ТЭЦ и дымовой трубы. Поскольку за 2—3 года почти все знаки высотного обоснования на площадке ТЭЦ из-за планировочных и других строительных работ были уничтожены, пришлось вновь заложить трубчатый исходный репер на глубину 10 м (с учетом просадочной толщи грунта), два рабочих репера, отремонтировать или восстановить осадочные реперы на сооружениях. Нивелирование осадочных реперов производилось нивелиром НВ короткими лучами в 20—25 м со строгим равенством плеч по двухсторонним шашечным рейкам с периодом наблюдения два раза в год.

Точность нивелирования короткими лучами осадочного репера относительно исходного нивелиром НВ, который имеет увеличение $30\times$ и цену деления уровня около $20''$, подсчитаем исходя из расстояния между ними в 200 м (рис. 7). На точность нивелирования влияют

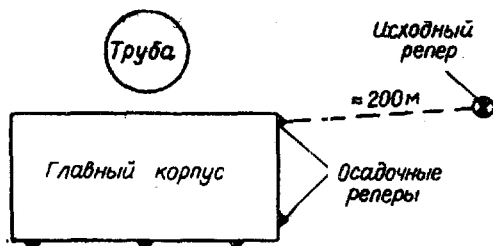


Рис. 7.

ошибки визирования, установки уровня и ошибка округления отсчета по рейке. Примем ошибку округления для сантиметровых делений $m_0 = \pm 0,5$ мм. При расстоянии от нивелира до рейки 25 м будем иметь ошибку визирования:

$$m_v = \frac{60'' \cdot S}{v \cdot \rho''} = \frac{60'' \cdot 25000}{30 \cdot 206265''} = \pm 0,25 \text{ мм.}$$

Ошибку установки контактного уровня примем 0,1τ, тогда получим:

$$m_y = \frac{0,1\tau \cdot S}{\rho''} = \frac{0,1 \cdot 20'' \cdot 25000}{206265''} = \pm 0,25 \text{ мм.}$$

Считая остальные источники ошибок практически несущественными, найдем значение ошибки взгляда по рейке

$$m_{\text{взгл}} = \pm \sqrt{m_0^2 + m_v^2 + m_y^2} = \pm \sqrt{0,5^2 + 0,25^2 + 0,25^2} = \pm 0,6 \text{ мм;}$$

ошибка превышения между реперами

$$m_n = \pm 0,6 \sqrt{2} \cdot \sqrt{4} = \pm 1,8 \text{ мм;}$$

ошибка измерения осадки

$$m_{\Delta h} = \pm 1,8 \cdot \sqrt{2} = \pm 2,5 \text{ мм.}$$

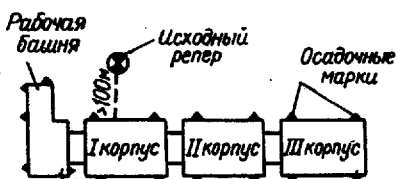


Рис. 8.

Как показывает расчет, нивелиром НВ при худшем стечении обстоятельств можно совершенно надежно измерять осадки с ошибкой, не превышающей ± 5 мм. Мы считаем, что нивелирование таких сооружений, как тепловые станции, в период эксплуатации надо выполнять нивелированием III класса. В период строительства осадки строящихся объектов можно определять и нивелированием IV класса, причём особенно важно начать эти наблюдения своевременно и вести систематически.

Наблюдения за осадками элеватора № 1 выполнялись нивелированием IV класса замкнутыми ходами. Следует отметить, что элеваторы отличаются от других промышленных сооружений своей массивностью, специфичностью и многообразным конструкцией, переменным характером и высоким удельным значением полезной нагрузки.

Для наблюдений за осадками элеватора № 1 (рис. 8) по углам его трех силосных корпусов и рабочей башни, расположенных по общей продольной оси, были забетонированы в фундамент плиты отрезки узкоколейных рельсов, срезы которых выступали над верхом фундамента плиты на 0,4—0,5 м и располагались ниже планировки поверхности земли, поэтому они были заключены в металлические кожухи-трубы, которые выводились до поверхности земли.

Исходным для наблюдений служил репер, представляющий собой железобетонную сваю сечением 30×30 см, забитую в грунт на глубину 10 м. Отметка исходного репера, проверенная через несколько лет его эксплуатации, практически осталась прежней (изменилась всего лишь на 3 мм, т. е. в пределах ошибки нивелирования).

В процессе измерения осадок элеватора выявлено, что в строительный период осадки достигают до 4 см в год, в период первичной загрузки осадки увеличиваются до 2 см в месяц и уменьшаются затем в первые 2—3 года эксплуатации до 6 см в год, а далее постепенно затухают, достигая полной осадки до 40—60 см.

К сожалению, отметим, что наблюдения за осадками элеваторов не носят систематического характера. Регулярные наблюдения за осадками чаще всего начинают после окончания основных строительных работ, в связи с чем осадки за строительный период остаются неизвестными. Между тем польза, извлекаемая строителями из работ по наблюдениям за осадками сооружений, большая; например, наблюдения за осадками первого и второго силосных корпусов указанного элеватора дали возможность при строительстве третьего силосного корпуса заменить свайные фундаменты бессвайными основаниями и тем самым удешевить строительство объекта.

Наблюдения за осадками зерновых силосных корпусов элеваторов, являющихся массивными сооружениями с большой переменной нагрузкой, состоящей из собственного веса конструкции (постоянная нагрузка) и веса зерна (переменная нагрузка), позволяют выявить полные осадки, неравномерность осадок, темпы нарастания и затухания их, взаимное влияние двух смежных конструкций, чувствительность конструкции к изменению нагрузки, возможность управления осадками при эксплуатации сооружений соответствующей нагрузкой силосных корпусов и тем самым продлить нормальную «жизнь» сооружений.

Из проведенных наблюдений за осадками элеватора № 1 и других следует, что абсолютные осадки в ряде случаев достигая величин в полтора—два раза больших, чем предусмотрено строительными нормами и правилами (СНиП), неудобств в эксплуатации сооружений не создали. Однако во всех случаях крены сооружений не превышали 0,004, что предусмотрено СНиП. Поэтому для обоснования точности наблюдений следует исходить из поперечного крена сооружения, определяемого отношением наибольшей разности осадок двух точек к расстоянию между этими точками.

Рабочие башни и силосные корпуса элеваторов, строящиеся на сплошной фундаментной плите, относятся к абсолютно жестким сооружениям, которые оседают как одно пространственное целое, равномерно либо с креном. Для наблюдения крена этих сооружений достаточно заложить в каждом углу сооружения осадочные марки.

Исходя из минимально возможной ширины рабочей башни в 10 м, принимая ошибку нивелирования IV класса равной 5 мм, мы приходим к выводу, что эта невязка может внести ошибку в определение крена, равную 0,0005, что значительно меньше допустимого крена. Поэтому при наблюдении осадок сооружений элеваторов, да и многих других сооружений можно в строительный период ограничиться нивелированием IV класса; в период эксплуатации наблюдения необходимо вести нивелированием III класса, если специальные расчеты не требуют нивелировок высших классов.

В тех случаях, когда имеется возможность передачи отметки от исходного репера непосредственно на осадочные марки сооружения, при подсчете осадок и кренов целесообразнее использовать полевые данные без уравнивания результатов нивелирования по контуру. В тех же случаях, когда передача отметок осуществима несколькими станциями, необходима нивелировка и уравнивание замкнутого полигона. В обоих случаях при всех контрольных измерениях места установок нивелира должны быть постоянны.

Наблюдения за осадочными марками, заложенными в сооружениях, достаточно вести от одного—двух рабочих реперов, положение которых в свою очередь следует проверять нивелированием от основного исходного репера, находящегося от исследуемого сооружения на расстоянии 150—200 м. Исходные реперы должны быть тщательно уста-

новлены. Места закладки этих реперов следует согласовывать с геологами, чтобы устойчивость реперов практически не вызвала сомнений.

При исследовании некоторых сооружений, очевидно, нужно взаимное положение осадочных марок по высоте определять точнее, чем привязку к реперам, так как ошибка в общей осадке сооружения менее опасна, чем ошибка в определении кренов, неравномерных осадок и других деформаций.

Мы рассмотрели измерение осадок сооружений способом геометрического нивелирования. Однако в этих работах могут найти применение и другие способы: гидростатическое и тригонометрическое нивелирование, фотограмметрия, устройство специальных реперов (таких, как реперы Проктора, Брайта, Терцаги), способы, основанные на последних достижениях науки, например, на γ и β -лучах.

Крены сооружений можно получать как по результатам нивелирования, так и непосредственно, используя приборы, основной частью которых являются высокоточные уровни с ценой деления 1—5".

В заключение отметим, что проектирование и строительство крупных инженерных сооружений (гидротехнических, промышленных и других) в разных геологических условиях представляет собой сложную инженерную задачу, успешно решаемую советскими специалистами. Правильность решения этой задачи в части, касающейся принятых проектных предложений и прогнозов о прочности оснований и устойчивости сооружений, подтверждается многими данными натурных исследований горизонтальных и вертикальных смещений сооружений в строительный и эксплуатационный периоды.

Эти данные, имеющие высокую степень точности, показали, что крупные инженерные сооружения успешно выдерживают генеральную проверку на устойчивость. Вместе с тем сравнение проектных и фактических данных свидетельствует о том, что в проектах принимаются завышенные коэффициенты запаса устойчивости сооружений на сдвиг и заниженная величина конечной осадки и осадки во времени. Отсюда следует, что данные натуральных наблюдений могут быть использованы для решения ряда вопросов экономического проектирования и строительства сооружений.

Геодезические методы измерения деформаций сооружений являются основными методами натурных исследований сооружений, дающими возможность получать абсолютные величины сдвигов и осадок, которые никакими другими методами определить нельзя. Поэтому разработка вопросов необходимой и достаточной точности измерения деформаций в натуральных условиях, новых методов исследования сооружений с учетом последних достижений науки и техники (электроники, радиотехники, светолокации, фотограмметрии и др.), вопросов размещения и закрепления пунктов исходного геодезического обоснования конструирования и своевременной закладки контрольно-измерительной аппаратуры в сооружения, правильной обработки и интерпретации комплексных материалов измерений, автоматизации работ является актуальной задачей, требующей ускоренного решения. Не менее актуально широкое внедрение в практику методов геодезических измерений деформаций сооружений, поскольку эти измерения содействуют успешному развитию строительства в СССР.