

В.В. Буш  
В.В. Калугин  
А.И. Саар

ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ  
РАБОТЫ

ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ  
СООРУЖЕНИЙ  
БАШЕННОГО ТИПА

---

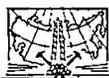
38.1  
Б94

В.В. Буш  
В.В. Калугин  
А.И. Саар

---

**ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ  
РАБОТЫ  
ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ  
СООРУЖЕНИЙ  
БАШЕННОГО ТИПА**

385792



МОСКВА „НЕДРА” 1985

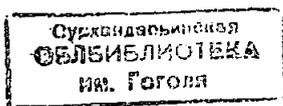
Буш В. В., Калугин В. В., Саар А. И. Геодезические работы при строительстве сооружений башенного типа. — М.: Недра, 1985. — 216 с., ил.

Рассмотрен комплекс вопросов производства геодезических работ при возведении и эксплуатации высотных сооружений башенного типа (дымовые трубы, градирни, ректификационные колонны, телевизионные башни). Освещены вопросы геодезических измерений при строительстве башен конической и гиперболической форм в скользящей опалубке, учета влияния внешних условий при возведении высотных башен, геодезического обеспечения монтажа сооружений с последующей их установкой в вертикальное положение.

Для геодезистов и специалистов, занятых проектированием, строительством и эксплуатацией сооружений башенного типа.

Табл. 31, ил. 68, список лит. — 44 назв.

Рецензент — Г. А. Брикман, канд. техн. наук (Общесоюзная радиотелевизионная передающая станция)



Б  $\frac{1902020000-407}{043(01)-85}$  2-85

В основных направлениях экономического и социального развития СССР на 1981—1985 годы и на период до 1990 года, принятых XXVI съездом КПСС, отмечалось, что наступившее десятилетие является новым этапом в создании материально-технической базы коммунизма. В решении главной задачи одиннадцатой пятилетки — обеспечить дальнейший рост благосостояния советских людей, — важнейшая роль отводится устойчивому, поступательному развитию народного хозяйства, ускорению научно-технического прогресса, для чего предполагается существенно повысить эффективность капитального строительства, обеспечить более быстрый ввод в действие и освоение производственных мощностей.

Решение этих задач предполагает дальнейшее ускорение темпов развития энергетики, в первую очередь за счет строительства атомных и тепловых электростанций. Продолжается развитие Единой энергетической системы, в рамках которой определенная роль отводится развитию централизованного теплоснабжения потребителей. Широкими темпами продолжается формирование единой сети связи и телевидения страны на базе новейших систем передачи информации, расширяется строительство предприятий агропромышленного комплекса, особенно емкостей сельскохозяйственной продукции большой мощности.

Во всех этих отраслях народного хозяйства последние 10—15 лет особое развитие получило строительство башенных сооружений, которые по своим технико-экономическим параметрам наилучшим образом обеспечивают выполнение установленных для них функциональных задач.

При строительстве энергетических объектов повышение технических требований к вытяжным и охладительным башням выразилось в необходимости значительного увеличения высот и диаметров газоотводящих стволов, их оптимальной компоновки. Обеспечение требований к охране окружающей среды во многих перерабатывающих отраслях промышленности привело к развитию процессов с максимальной очисткой вредных примесей и последующим выбросом отходов с пониженной концентрацией и агрессивностью в верхние слои атмосферы, что также потребовало необходимости строительства высоких труб. В СССР внедрено и освоено возведение дымовых труб высотой 250, 330 м и более.

В связи с необходимостью повышения эффективности приемных и передающих устройств радиосистем, дальность действия которых в длинном и среднем диапазонах волн зависит от высоты их расположения над уровнем земли, а также решения задачи расширения уверенного приема телепередач, значительно возросли высоты сооружений связи, башенные антенные комплексы которых, как правило, являются уникальными.

Измерение геометрических параметров башенных сооружений потребовало разработки ряда принципиально новых и прогрессивных методов монтажа башен, среди которых, наряду с возведением сборных металлических и железобетонных сооружений, в больших масштабах нашло применение строительство высотных сооружений из монолитного железобетона. Внедрение этих методов, а также значительный рост объемов и темпов строительства башенных сооружений вызвали резкое повышение требований к уровню геодезического обеспечения их возведения.

К геодезическим работам при строительстве высоких сооружений предъявляются особые требования, вызванные необходимостью строгого соблюдения точности геометрических параметров башенных сооружений, обеспечивающей, во-первых, прочность и устойчивость конструкций и, во-вторых, монтаж и эксплуатацию технологического и инженерного оборудования. Следует отметить, что использование для возведения башен динамически подвижных устройств (опалубок, кранов), а также постоянное воздействие на консольную конструкцию башни внешних природных факторов в виде ветровых нагрузок и неоднородного нагрева под влиянием солнечной радиации приводят к необходимости ведения геодезических работ в условиях динамического состояния самого возводимого сооружения и предъявляют дополнительные требования к технологии производства и организации геодезических работ.

Конструктивные особенности башенных сооружений накладывают особые требования к устройству оснований, требуют, как правило, увеличения несущей способности грунта, детального изучения воздействия грунтовых вод, строгого соблюдения точностных параметров при закладке фундаментов. Отдельной важной задачей геодезического обеспечения следует рассматривать работы по обеспечению контроля за деформациями строящихся и эксплуатируемых башенных сооружений, в первую очередь за их кренами.

Использование для возведения большинства труб, градирен, силосов, копров и других башенных сооружений, возводимых из монолитного железобетона, скользящих и переставных опалубок, требует проведения специфических по составу геодезических работ, обеспечивающих не только геометрию возводимого сооружения, но и контроль за состоянием и положением самого формовочного оборудования. Отличительные особенности данного метода — его непрерывность по времени и большая скорость возведения сооружений, достигающая 5—8 м в сутки, и, следовательно, необходимость организации постоянного геодезического контроля с целью получения оперативной информации, позволяющей обеспечить корректировку геометрических параметров сооружения в случае их нарушения.

Перед геодезической наукой и практикой сегодня ставится задача — не только развивать традиционные, но и разрабатывать новые прогрессивные методы и приборы геодезического обслуживания, возведения и контроля башенных сооружений, удовлетворяющие современным требованиям.

## КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ О СООРУЖЕНИЯХ БАШЕННОГО ТИПА

§ 1. Технологические характеристики  
и геометрические параметры

Сооружения башенного типа относятся к сложным инженерным объектам, возводимым и эксплуатируемым в тяжелых условиях. Их конструктивные особенности обусловлены функциональным назначением и характером силовых воздействий, которые испытывают сооружения в процессе эксплуатации.

Сооружения башенного типа, которыми являются свободно стоящие конструкции, консольно заземленные в основании, не требуют каких-либо оттяжек для обеспечения вертикального положения и могут достигать высоты нескольких сот метров.

Основными отличиями сооружений башенного типа от промышленных сооружений, жилых и административных зданий, являются следующие:

1. Высота сооружения намного превышает размеры основания в плане.

2. Технологическое оборудование имеет незначительную массу по сравнению с собственной массой конструкции.

3. Собственная масса конструкций и масса технологического оборудования имеют второстепенное значение как расчетные нагрузки по сравнению с нагрузками от ветра.

Колебания сооружений башенного типа под действием ветра могут достигать значительных величин, достаточно велики колебания башен под воздействием солнечных лучей.

Отношение диаметра основания к высоте башни колеблется в пределах 1:8—1:20 и зависит от многих факторов, прежде всего от величины нагрузки и применяемых материалов.

Башенные сооружения зачастую являются единственно возможными конструкциями для решения определенных технологических задач. Они занимают малую площадь застройки, что часто имеет решающее значение.

По очертаниям башни, симметричные относительно вертикальной оси, выполняются призматической, цилиндрической, пирамидальной, конической и гиперболической формы. Встречаются конструкции с перепадом сечения башни. Башни призматической и цилиндрической формы применяют для сооружений небольших высот, пирамидальной и конической — для больших (180 м и более).

По применяемым строительным материалам башенные соору-

жения подразделяются на металлические (из монолитного или сборного железобетона), комбинированные.

До настоящего времени возводятся кирпичные башенные сооружения — дымовые трубы малой высоты круглого или прямоугольного сечения. Кирпичные башни требуют больших трудозатрат, высокой строительной квалификации исполнителей, вследствие чего заменяются более технологичными металлическими или железобетонными трубами.

Конструктивно металлические башни выполняются решетчатыми и сплошностенчатыми. Решетчатые башни, состоящие из пирамидальных и призматических секций с совмещенными основаниями, как правило, выполняют из трубчатых элементов, некоторые виды — из стального профиля. Сплошностенчатые башни выполняют в виде стальных оболочек из цилиндрических и конических участков.

Башенные сооружения из сборного железобетона представляют собой цилиндр или параллелепипед.

Монолитные железобетонные башни имеют форму цилиндра, усеченного конуса, гиперболическую форму.

Примером комбинированных башенных сооружений являются телевизионные башни с монолитным железобетонным стволом — основанием и металлической антенной-надстройкой.

В последние годы наметилась тенденция к увеличению высоты сооружений башенного типа. Это явление обусловлено различными причинами, в том числе повысившимися требованиями к защите окружающей среды, застроенностью территорий промышленных объектов, современными требованиями к качеству и устойчивости радиотелевизионной связи, ростом производства электроэнергии, химической продукции, добычи горнорудных материалов, промышленности строительных материалов, потребностями современной архитектуры и градостроительства и многими другими.

Башенные сооружения используются на энергетических объектах, в сооружениях связи и транспорта, на промышленных, химических, сельскохозяйственных, горнодобывающих и других предприятиях, в качестве мемориальных и выставочных объектов.

## § 2. Дымовые трубы и градирни

Дымовые трубы применяются для отвода газов от котельных электростанций и заводов, тепловых агрегатов металлургических заводов, химических предприятий и др.

Трубы выполняются из кирпича, металла, сборного и монолитного железобетона. В связи с требованиями к защите окружающей среды увеличивается высота дымовых труб.

Сборные железобетонные трубы имеют цилиндрическую или коническую форму. Высота их не превышает 60 м.

Монолитные трубы, к которым относится большинство железобетонных труб, имеют цилиндрическую или коническую форму.

Их высота достигает 400 м и более. Часто железобетонная оболочка поддерживает железобетонные или металлические газоотводящие стволы.

Для предохранения оболочки трубы от действия агрессивной среды внутри ствола сооружается футеровка — защитный слой из кирпича, металла или других материалов.

Фундамент трубы обычно состоит из круглой фундаментной плиты и цилиндрического стакана, на который опирается ствол трубы.

Металлические трубы чаще всего представляют собой башни с решетчатым стальным каркасом, поддерживающим газоотводящие стволы. Стальной каркас является несущей конструкцией, стволы — технологическим оборудованием.

Форма металлического каркаса башни зависит от основных технологических параметров — высоты, количества поддерживаемых стволов, их расположения по отношению к каркасу (внутри башни или с внешней стороны, рядом с ее гранями).

Самой распространенной является конструкция с одним металлическим стволом внутри стального решетчатого каркаса. Аналогичным образом выполняют газосбросные факельные установки с выхлопной трубой внутри стального каркаса, предназначенные для сжигания газа на больших высотах.

В последние годы проектируют и строят металлические трубы высотой до 320 м.

Градири используются в качестве установок, предназначенных для охлаждения воды путем разбрызгивания ее в потоке воздуха, движение которого создается за счет естественной тяги или с помощью вентиляторов.

Башенные градири, являясь сложными инженерными сооружениями, относятся к теплообменным агрегатам с естественной тягой охлаждающего воздуха.

Градири входят неотъемлемой частью в оборотные системы водоснабжения теплоэлектростанций, предприятий металлургической, химической промышленности и т. п.

В состав башенной градири входят вытяжная башня, водораспределительное и оросительное устройства, водосборный бассейн (рис. 1).

Габариты башенных градирен назначаются на основании технологических расчетов и зависят от площади, занимаемой оросителем. Башенные железобетонные градири возводятся высотой 55—162 м.

По конфигурации вытяжные башни делятся на гиперболические, биконические, биконические с цилиндрической вставкой, цилиндрические и конические. Наиболее распространены гиперболические монолитные железобетонные башни, поскольку они обладают лучшими аэродинамическими показателями.

Фундаменты вытяжных башен обычно сооружают из монолитного железобетона, опорную колоннаду — из сборного железобетона. Толщина монолитных оболочек переменная (от 600 до 100 мм).

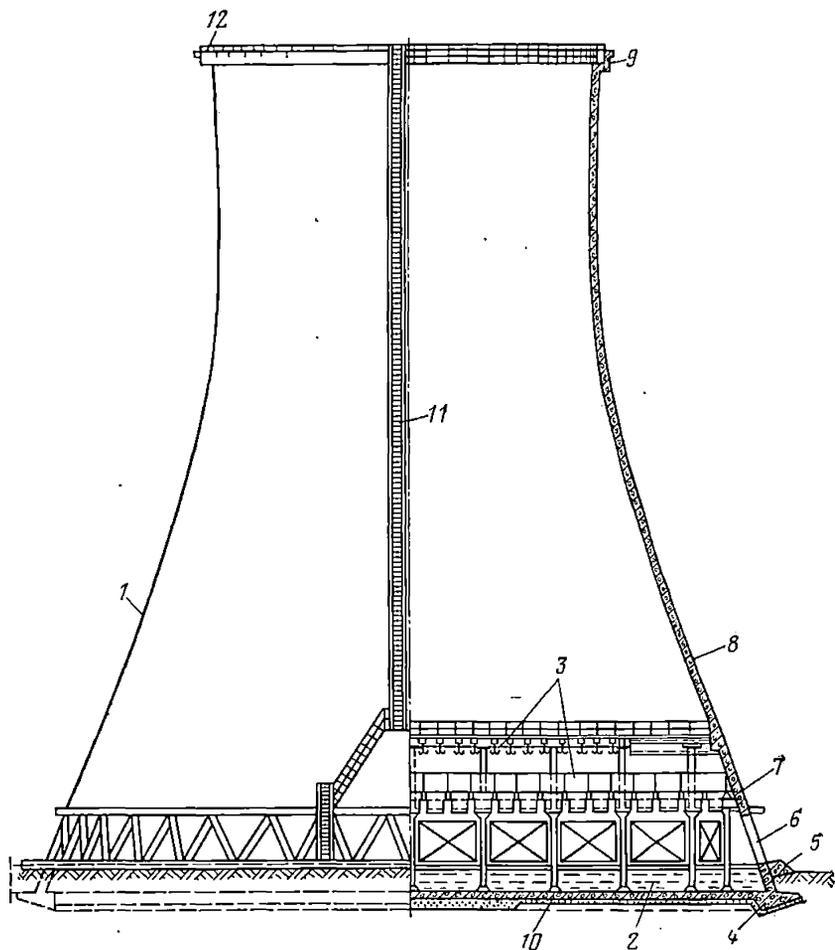


Рис 1. Конструкция гиперболической градирни:

1 — вытяжная башня; 2 — водосборный бассейн; 3 — оросительное и водораспределительное устройства; 4 — плита кольцевого фундамента; 5 — стенка кольцевого фундамента; 6 — наклонная колоннада; 7 — опорное кольцо; 8 — оболочка вытяжной башни; 9 — кольцо жесткости; 10 — плита дна водосборного бассейна; 11 — наружная ходовая лестница; 12 — грозозащита

### § 3. Сооружения связи и транспорта

Башенные сооружения широко применяются в системах связи. Необходимость строительства высотных сооружений для антенных устройств появилась после изобретения радио. С развитием радиотелевизионной сети высота антенных опор увеличивалась, повышалась и технологическая нагрузка. Отдельные радиотелевизионные башни являются уникальными сооружениями.

За последние годы в СССР и за рубежом построены десятки металлических и железобетонных башен различной высоты и функционального назначения.

На них устанавливают передающие и приемные антенны, оборудование для теле- или радиовещания, а во многих случаях и ретрансляционное оборудование. Помимо основных, они часто выполняют и дополнительные функции: на них устраивают рестораны, обзорные и смотровые площадки, балконы для размещения приборов и оборудования, предназначенных для научных исследований, и т. п.

Как правило, телевизионные башни строятся в больших городах, поэтому к ним предъявляются повышенные архитектурные требования.

Проборазом современных радиотелевизионных башен являются сооружения, построенные из металла, такие, как Эйфелева башня в Париже и Шуховская радиобашня в Москве.

Башня инженера А. Эйфеля (рис. 2) высотой 300 м была построена в 1889 г. в Париже на территории Всемирной выставки. Смелое инженерное решение явилось результатом того, что в течение 40 лет башня Эйфеля была самым высоким сооружением в мире (до появления американских небоскребов). Башня являлась символом технического прогресса и украшением Парижа. В 1921 г. на ней установили радиоантенны, впоследствии смонтировали передающие телевизионные антенны, вершина которых достигла отметки +312 м.

Ажурная металлическая башня в виде гиперболоида высотой 160 м, построенная в 1922 г. в Москве по проекту выдающегося инженера В. Г. Шухова, является примером легкой и оригинальной конструкции высокого сооружения. На башне были установлены радиоантенны, а позднее — передающие антенны двух московских телевизионных программ.

В 1961 г. в Ленинграде была сооружена стальная радиотелевизионная башня высотой 316 м. Ствол башни представляет собой шестигранную пирамиду со сторонами 30 м в нижнем основании и 7,98 м на отметке 200 м. Несущие элементы и решетка ствола выполнены из труб различного диаметра. В верхней части ствола расположена трехэтажная надстройка для размещения радиотелевизионной аппаратуры, машинного отделения, пассажирских лифтов, помещения для обслуживающего персонала. Венчает сооружение четырехгранная антенна высотой 116 м. Внутри башни находятся шахта для двух лифтов, лестницы, инженерные коммуникации. Фундаменты телевизионной башни выполнены из свай, объединенных шестью монолитными ростверками под каждой опорой; один ростверк находится под лифтовой шахтой.

Телевизионная башня Киевского телецентра высотой 372 м — самая высокая стальная башня в Советском Союзе. Башня состоит из трех частей: базы, решетчатого призматического ствола и шахты лифтов с антенной частью. База башни представляет собой решетчатую восьмигранную обойму, к которой прикреплены прост-

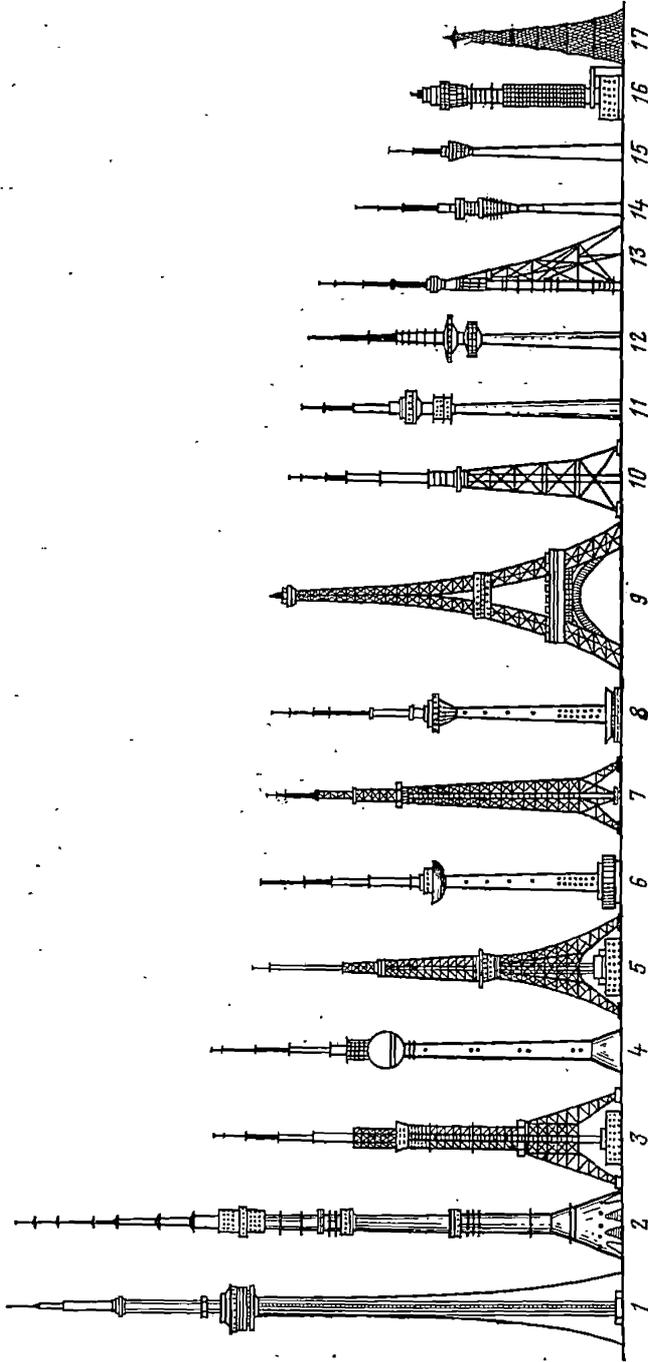


Рис. 2. Сравнительная схема радиотелевизионных башен:

1 — Торонто, 553 м; 2 — Москва (Останкино), 540 м; 3 — Киев, 372 м; 4 — Берлин, 365 м; 5 — Токио, 333 м; 6 — Вильнюс, 326 м; 7 — Ленинград, 316 м; 8 — Таллин, 314 м; 9 — Париж (Эйфелева башня), 312 м; 10 — Ереван, 300 м; 11 — Мюнхен, 290 м; 12 — Гамбург, 284 м; 13 — Тбилиси, 275 м; 14 — Дрезден, 240 м; 15 — Штутгарт, 212 м; 16 — Лондон, 184 м; 17 — Москва (Башня Шухова), 160 м

ранственные четырехгранные опоры-ноги. Решетчатый призматический ствол восьмигранного сечения с диаметром описанной окружности 20 м заземлен в верхней части обоймы базы. Верхняя часть обоймы несет каркас технического здания. Шахта лифтов опирается на фундаменты в основании башни и проходит внутри решетчатого призматического ствола, а выше его переходит в антенную часть. Шахта лифтов и антенная часть составлены из стальных цилиндрических оболочек. Такая конструкция башни удобна для монтажа, отличается более надежной работой при просадках фундаментов.

Интересна башня с несимметричной схемой — стальная опора Тбилисского телецентра высотой 275 м. Вертикальный пояс опоры, переходящий в антенну, является шахтой лифтов и поддерживается наклонными трубчатыми поясами. Две боковые грани башни образованы вертикальными, а третья наклонными плоскостями.

В СССР для телевизионных центров в различных городах были разработаны проекты и построены типовые стальные башни высотой 192—230 м.

Стальная решетчатая телевизионная башня в Токио высотой 333 м была построена в условиях высокой сейсмичности. Внизу на уровне четырех ног-опор башня имеет размер в плане  $80 \times 80$  м. На отметке 120 м расположена высотная обстройка размером в плане  $27 \times 27$ . На отметке 225 м в высотной обстройке располагаются технологическое оборудование и верхняя смотровая площадка. Общая масса сооружения, благодаря применению высокопрочной стали и трубчатых конструкций, почти в два с половиной раза меньше массы Эйфелевой башни. Опора башни установлена на фундаменты, опирающиеся на сваи диаметром 2 м, нижняя отметка которых находится на глубине 20 м. Угол поворота верха антенны от вертикали под действием ветровых нагрузок может достигать  $2-3^\circ$ .

Первая радиотелевизионная железобетонная башня с металлической антенной наверху высотой 212 м была построена в Штутгарте (ФРГ) в 1956 г. Ее железобетонный ствол представляет собой суживающуюся кверху полулю колонну высотой 161 м. Аналогичные башни были возведены во многих городах ФРГ: Доннерсберге — 200 м, Дортмунде 220 м и др.

Самыми высокими железобетонными радиотелевизионными башнями в ФРГ являются Мюнхенская — 290 м и Гамбургская — 284 м. Стволы башен имеют по две высотные обстройки, в которых расположены радиопередающие станции, административные и вспомогательные помещения, рестораны, кафе, смотровые площадки.

Представляет интерес конструктивное и архитектурно-планировочное решение телевизионной башни в Лондоне. Основным конструктивным элементом сооружения является железобетонный ствол высотой 177 м, на котором смонтирована стальная конструкция высотой 12 м, предназначенная для установки антенн, метеорологических приборов, грозозащиты и другого оборудования.

Отличительной особенностью Лондонской башни является то, что с наружной стороны ствола по всей его высоте расположены технические этажи и служебные помещения, составляющие единое высотное здание.

Железобетонные телевизионные башни различной высоты построены в Югославии, Венгрии, Чехословакии. Несколько башен аналогичной конструкции построено в ГДР. Самая высокая из них — башня в Берлине общей высотой 365 м при высоте железобетонного ствола 250 м. Основная высотная обстройка имеет форму шара диаметром 32 м; в ней находятся технические помещения радиотелевизионных станций. Ниже расположены высотные обстройки, в которых размещены кафе-ресторан, обзорная площадка и другие помещения.

Радиотелевизионная башня в Дрездене имеет высоту железобетонного ствола 167 м при общей высоте 240 м. Она отличается от ранее построенных аналогичных сооружений развитой вверх 20-этажной высотной обстройкой.

В 1967 г. была построена Останкинская телевизионная башня высотой 540 м (рис. 3), которая является самым высоким в Европе свободно стоящим сооружением [21]. Московская телевизионная башня в Останкине — это уникальное сооружение многоцелевого назначения, превосходящее зарубежные башни по высоте, архитектурно-планировочным и конструктивным решениям, технической оснащенности.

Подосва фундамента заглублена на 3,5 м от поверхности земли. Фундамент башни представляет собой кольцевую десятиугольную железобетонную плиту диаметром 60 м, высотой 3 м и шириной кольца 9,5 м.

Основная конструкция железобетонной башни представляет собой пустотелую коническую оболочку высотой 385 м с развитым основанием.

Нижняя часть башни располагается между отметками 0 и +63 м, состоит из десяти опор-ног и конической железобетонной оболочки. Толщина каждой опоры-ноги переменная — от 1000 мм внизу до 500 мм в верхней части. Нижняя часть башни обеспечивает плавный переход от железобетонного ствола башни диаметром 18 м к фундаментной плите, средний диаметр которой 60 м. В нижней конической части башни внутри железобетонной оболочки размещены 16 этажей, на которых расположены радиопередающие станции, технические, вспомогательные помещения, кухня высотного ресторана с подсобными цехами. Выше конической части, между отметками 63 и 385,5 м, расположен монолитный железобетонный ствол башни. Наружный диаметр нижнего основания 18,02 м, верхнего 8,2 м, толщина стен от 400 до 350 мм. По всей высоте стены ствола обжаты предварительно напряженной канатной арматурой.

На железобетонном стволе смонтированы ряд балконов, две смотровые площадки и две высотные обстройки.

Наиболее крупной является наружная обстройка на высоте

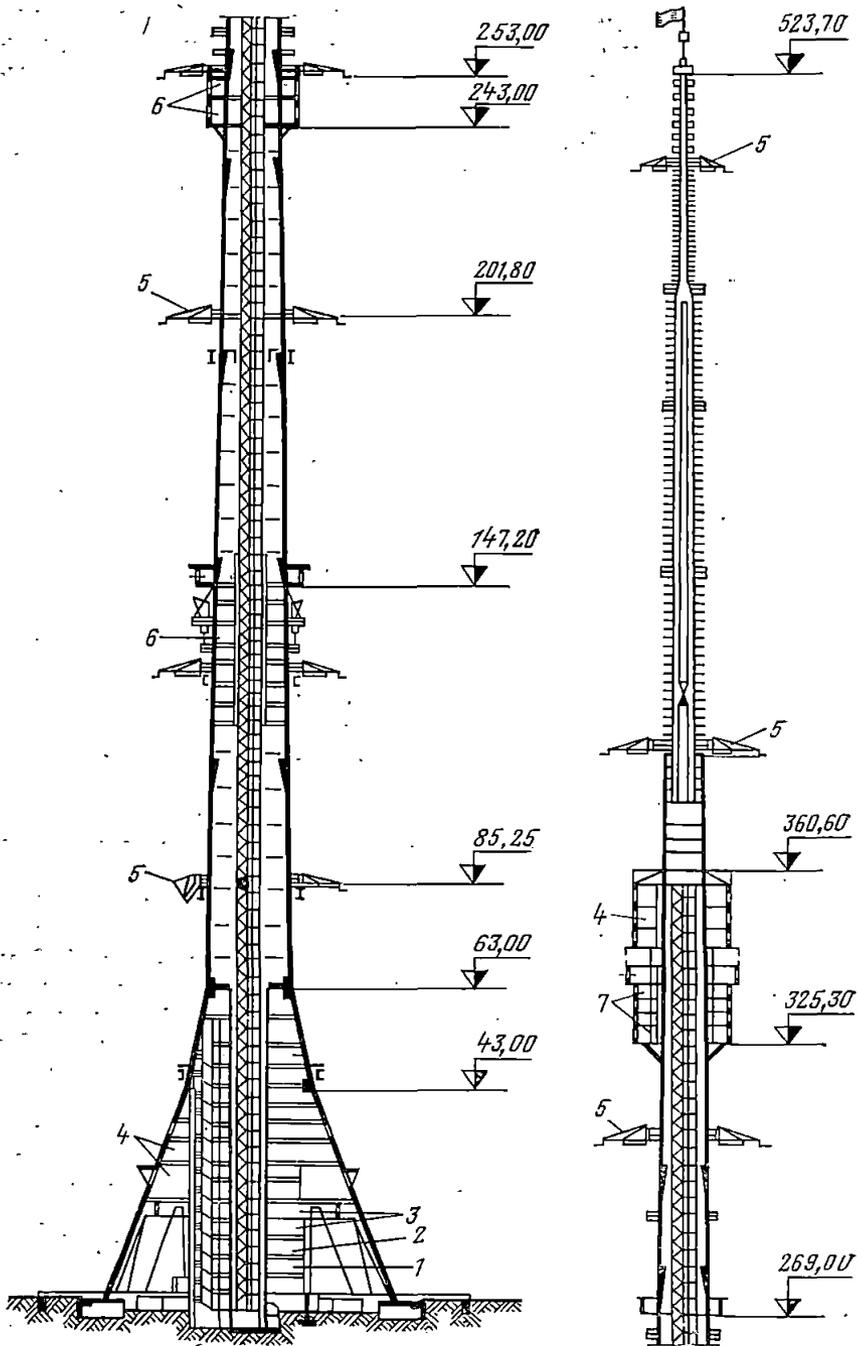


Рис. 3. Разрез телевизионной башни в Останкинe:

1 — зал заседаний; 2 — трансформаторная подстанция; 3 — вентиляционный этаж; 4 — передающие станции; 5 — метеорологи и заградительные огни; 6 — аппаратная; 7 — ресторан

325—360 м — кольцевое десятиэтажное здание наружным диаметром 18,8 м, высотой 35 м, опоясывающее ствол башни, в котором расположены ресторан, передающие станции, смотровые площадки.

Внутри ствола башни находятся четыре лифтовые шахты и металлическая лестница, связывающие между собой все этажи башни, шахта инженерных коммуникаций, в которой проходят электросиловые кабели, кабели связи, водопровод, канализация, фидерные системы.

На железобетонный ствол башни опирается трубчатая металлическая антенна, состоящая из пяти секций разных диаметров — от 4 м до 700 мм и одной (верхней) секции коробчатого сечения.

Останкинская башня в Москве имеет большую архитектурную выразительность, является высотной доминантой города и удачно вписывается в его силуэт.

В 1980 г. были построены железобетонные радиотелевизионные башни в Таллине и Вильнюсе. Эти башни созданы по аналогичным проектам, в основе их конструкций — полый железобетонный ствол высотой 190 м, на котором расположена высотная обстройка.

Железобетонная радиотелевизионная башня в Торонто (Канада) построена позднее Останкинской башни, имеет общую высоту 553 м.

Железобетонные радиотелевизионные башни многоцелевого назначения при удачно найденных конструктивных решениях успешно конкурируют с металлическими антенными опорами и являются архитектурными символами городов.

Необходимость строительства опор линий радиорелейной связи является следствием стремительного развития сети теле- и радиовещания. Радиорелейные башни предназначены для установки на них остронаправленных рупорно-параболических и параболических антенн.

По конструкции башни подразделяются на металлические (решетчатые или сплошностенчатые) и железобетонные (сборные или монолитные).

Высота сооружения зависит от характеристик устанавливаемого на башне радиотелевизионного оборудования и рельефа местности.

Радиорелейные башни строятся относительно небольшой высоты, в большинстве случаев до 130 м; известны башни высотой более 350 м.

Большинство построенных башен имеет в плане круглую форму. Такая форма отвечает лучшим аэродинамическим характеристикам сооружения, что весьма важно для построек башенного типа. Некоторые из возведенных башен имеют в плане квадратную, треугольную, ромбовидную форму. Наиболее характерные конфигурации радиорелейных башен представлены на рис. 4\*.

\* Рисунок заимствован из книги: Юрин А. В. Железобетонные радиорелейные и радиотелевизионные башни, ЦИНИС Госстроя СССР, М., 1970.

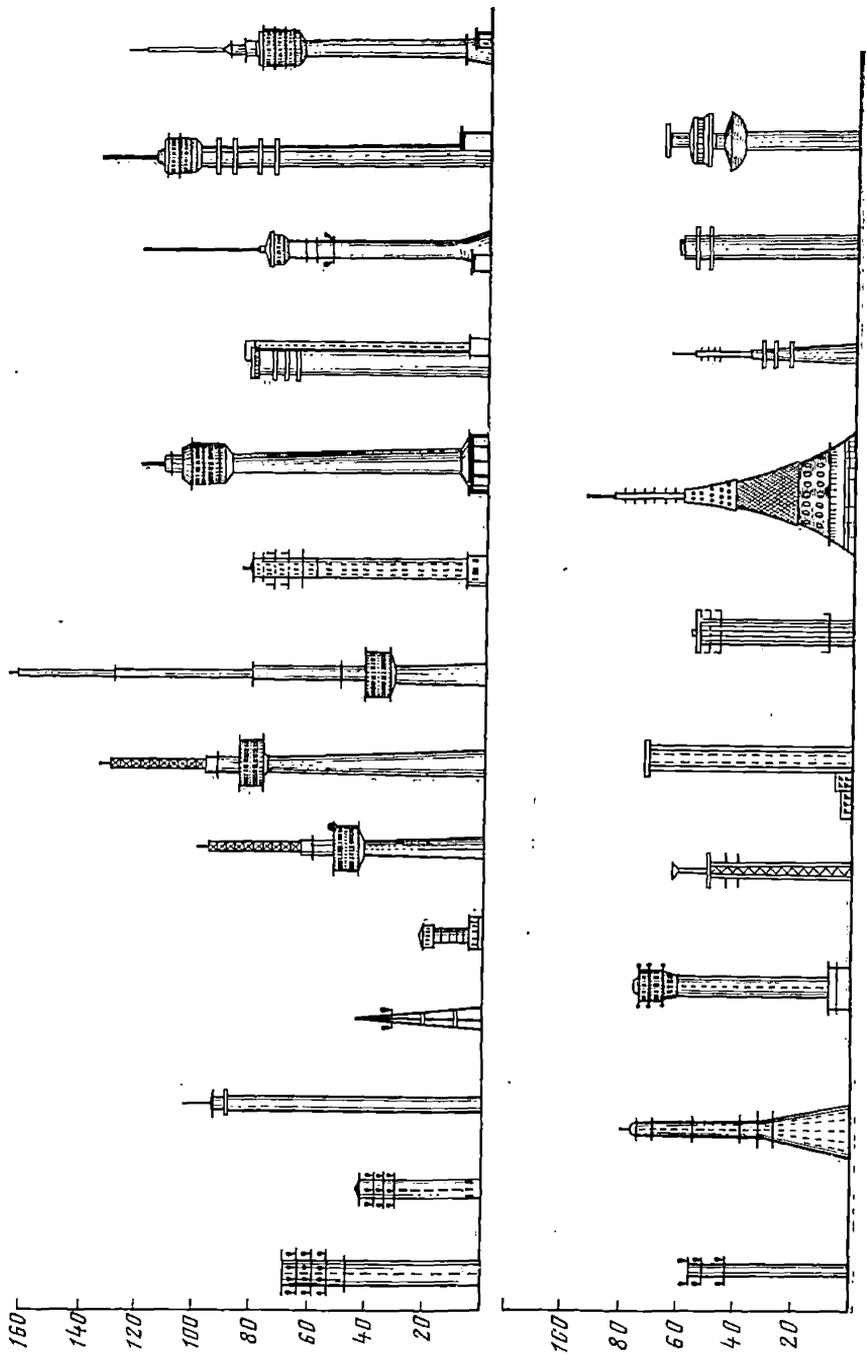


Рис. 4. Сравнительная схема радиорелейных башен

Опоры высоковольтных линий (опоры ВЛ) являются наиболее многочисленными сооружениями башенного типа. Опоры ВЛ сооружаются железобетонными или металлическими. Железобетонные опоры используются для линий электропередачи напряжением не выше 500 кВ.

Конструктивно железобетонные опоры ВЛ представляют собой конические или цилиндрические стойки кольцевого сечения высотой до 30 м.

Металлические опоры ВЛ выполняются решетчатыми пирамидальной формы. В условиях особо сложного рельефа, больших пролетов, на пересечениях с железными дорогами, водными преградами металлические опоры ВЛ достигают высоты 100—200 м, а в отдельных случаях и больше.

На транспортных, промышленных, зрелищных и других предприятиях сооружения башенного типа используются для размещения на них осветительной аппаратуры. Чаще всего это решетчатые металлические строения, установленные наклонно или вертикально. В зависимости от величины освещаемой поверхности они могут достигать значительной высоты — 100 м и более.

На специальных железобетонных или металлических башенных сооружениях большой высоты часто размещают грозозащитные устройства особо ответственных предприятий.

#### § 4. Силосы, грануляционные башни, надшахтные копры и другие сооружения

На предприятиях многих отраслей народного хозяйства в качестве закрытых складов и аккумулирующих бункеров для сыпучих материалов используются башенные сооружения типа силосов.

Силосы и силосные корпуса (элеваторы) — сооружения большой емкости при весьма малых площадях застройки. Эта особенность силосов определяет область их использования — в сельском хозяйстве, горнодобывающей, угольной, химической промышленности, промышленности строительных материалов и др.

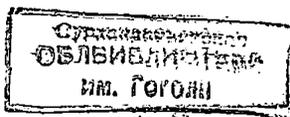
Силосы имеют призматическую или цилиндрическую форму с отношением высоты стенки к меньшему поперечному размеру, равным или более 1,5. Сечения силосов в плане бывают круглыми, квадратными, прямоугольными, многогранными.

Предпочтение отдают круглым силосам, представляющим собой ячейки цилиндрической формы.

Конструктивно силосы выполняются из сборного или монолитного железобетона, реже — из стальных оболочек.

Они состоят из фундамента, подсилосного этажа, днища (подсилосной плиты), стен силосов, надсилосного перекрытия и надсилосной галереи (рис. 5). Силосы возводятся одиночными, сдвоенными и группами до 72 банок.

Одиночные силосы, возводимые, как правило, из монолитного железобетона, имеют диаметр 12—18 м при высоте 42,5—71 м; толщина стен 400 мм. Силосные банки из монолитного железобе-



тона, сблокированные в группы (рис. 6), имеют диаметр 6—12 м при высоте 42,5 м. Толщина стен 240 мм.

В последние годы для хранения зерна и продуктов его переработки используются силосные склады, возводимые из объемных

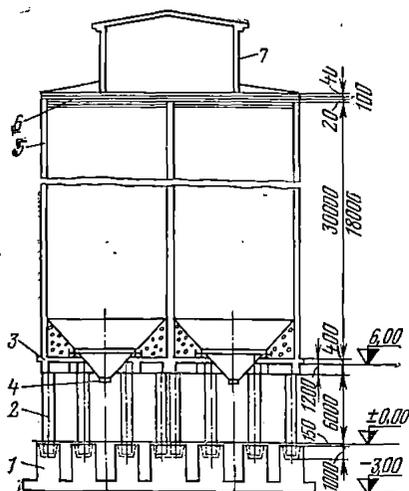
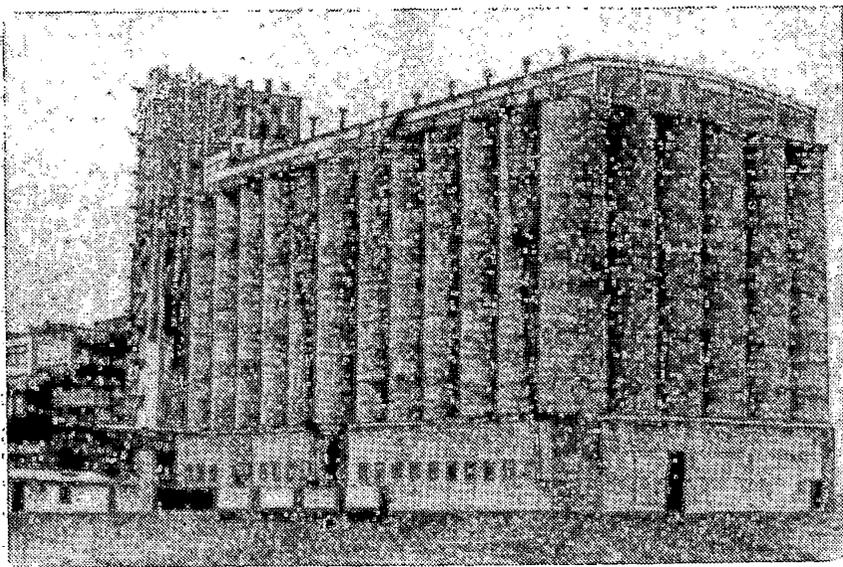


Рис. 5. Конструкция силоса:

1 — плита фундамента; 2 — колонны подсилосного этажа; 3 — подсилосное перекрытие; 4 — воронка; 5 — силосные банки; 6 — надсилосное перекрытие; 7 — галерея

Рис. 6. Силосные банки из монолитного железобетона, сблокированные в группу



железобетонных блоков квадратного сечения размерами в плане  $3 \times 3$  м, располагаемых в шахматном порядке и соединяемых между собой стальными шпильками. Высота этих сооружений около 50 м.

На предприятиях по производству минеральных удобрений в качестве аппаратов для гранулирования аммиачной селитры, карбамида, нитроаммофоски возводят высотные монолитные железобетонные башни грануляции (гранбашни). В комплекс входят два сооружения: грануляционная и коммуникационно-транспортная лифтовая шахта.

Грануляционные башни представляют собой многоэтажные сооружения, имеющие в плане форму круга или прямоугольника. Внизу располагается бункер для сбора готового продукта. Значительную часть внутренней полости башни — стен, покрытых антикоррозийным составом, занимает рабочая зона. В перекрытиях зоны размещается технологическое, электротехническое и другое оборудование.

Назначение коммуникационно-транспортной лифтовой шахты — подъем обслуживающего персонала, материалов и оборудования в нужную зону, размещение коммуникаций.

Размеры в плане и толщина стен башни определяются с учетом технологии гранулирования, поэтому почти все грануляционные башни имеют различную конфигурацию.

В Советском Союзе построен ряд грануляционных башен высотой до 145 м и диаметром до 28 м для производственных объединений «Азот», нефтеперерабатывающих комбинатов, азотно-туковых и химических заводов. Две из построенных башен имеют в плане прямоугольную форму размером  $25,98 \times 15,5$  м с контрфорсами.

Гранбашня, построенная для производственного объединения «Азот» в Гродно, представляет собой цилиндрический железобетонный ствол высотой 132 м, опирающийся на кольцевой фундамент. Толщина стен от 240 до 340 мм. Лифтовую шахту высотой 131,5 м прямоугольного сечения возводили отдельно от грануляционной. На отметке 93,6 м и выше гранбашня связана с лифтовой переходами и жесткими связями.

Грануляционная башня на Пермском нефтеперерабатывающем комбинате представляет собой цилиндрический железобетонный ствол (рис. 7) высотой 98,4 м с цилиндрической железобетонной камерой фильтров, возведенной вокруг ствола с отметки 68,5 до отметки 90,0. Внутренний диаметр ствола башни 17,5 м, толщина стен 500 мм. Внутренний диаметр камеры фильтров 25,1 м, толщина стен 350 мм.

В Новгородском производственном объединении «Азот» возведена грануляционная башня высотой 117,4 м, диаметром 28 м.

Отличительной особенностью этого сооружения является эксцентричное наружное утолщение стенки до отметки 13,0 м и большое количество закладных деталей, проемов, отверстий выше отметки 55,0 м.

Копры, входящие в комплекс зданий и сооружений шахтной поверхности, предназначены для размещения в них подъемного, технологического и вспомогательного оборудования.

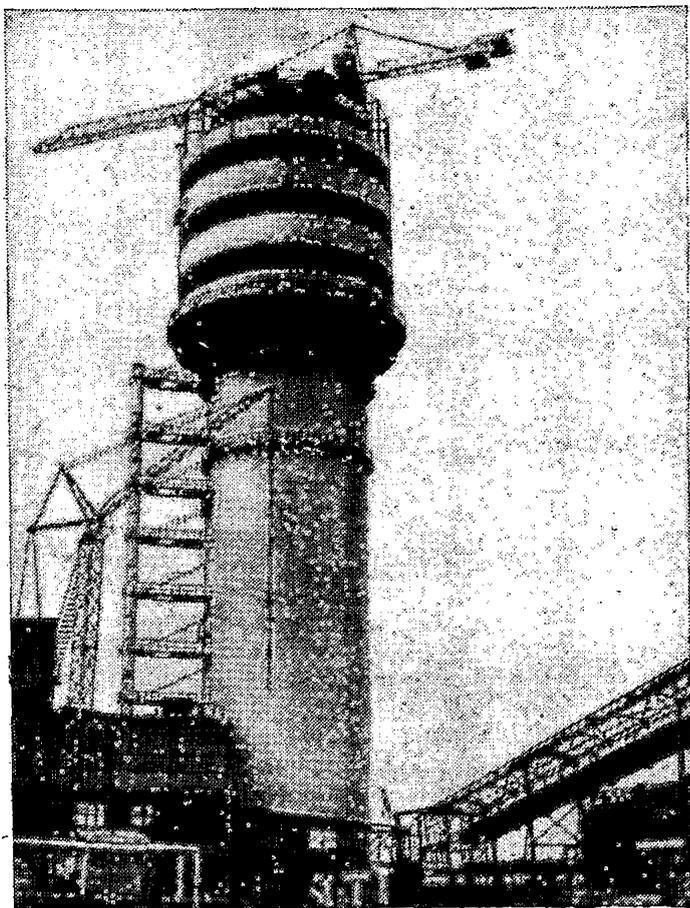


Рис 7. Грануляционная башня Пермского нефтеперерабатывающего комбината

По конструкции шахтные копры принято делить на две группы — укосные и башенные.

Укосные копры состоят из вертикального станка, ноги-укосины, подпирающей станок в верхней его части, и площадки для направляющих шкивов (подшкивной площадки). Станок копра опирается на опорную раму, устанавливаемую в устье ствола шахты. Укосные копры изготавливаются чаще всего из стали, разделяются на А-образные, четырехстрочные, шатровые и цилиндрические.

Надшахтные башенные копры совмещают в себе функции копров, зданий подъемных машин и отдельных узлов технологических комплексов шахтной поверхности.

Как в отечественной, так и в зарубежной угольной и горнорудной промышленности башенные копры имеют разнообразную объемную компоновку, начиная от параллелепипедов и цилиндров до сложных комбинаций нескольких объемов.

В конструктивном отношении башенные копры делят на монолитные железобетонные и сборные каркасного типа — со стальным или железобетонным каркасом. Первый тип получил распространение на тех объектах горнодобывающей промышленности, где копры имеют большую массу и значительные размеры в плане и по высоте, а также большие нагрузки на перекрытие.

В нашей стране и за рубежом возводятся башенные копры обоих типов — как монолитные железобетонные, так и каркасные разных высот и конфигураций.

Башенные копры достигают высоты 100 м и более.

Монолитные железобетонные башенные копры представляют собой башни с несущими внутренними и наружными стенами, на которые опираются междуэтажные перекрытия, число которых колеблется от 8 до 16. Перекрытия одновременно служат диафрагмами жесткости конструкции башни, расстояние между ними составляет от 3 до 14 м.

Особенностью планировки башни является наличие на каждом перекрытии, обычно в центре, места для шахты, по которой перемещаются подъемные сосуды. Внутренняя шахта служит продолжением шахтного ствола.

Для сообщения между этажами копра служат лестницы и лифты, которые используются и для транспортирования узлов малых размеров.

Башенные копры, построенные из монолитного железобетона в Донбассе на шахтах «Ясиновская-Глубокая», «Ново-Центральная», «Горловская-Глубокая», «Бутовская-Глубокая» и др., в плане имеют круглую форму сечения диаметром 14,5—18 м при высоте 68—72 м.

Копры на шахтах «Петровская-Глубокая», «Октябрьская», «Красная Звезда» и др. в Донбассе имеют прямоугольную форму сечения в плане.

Башенные копры обоих типов мало различаются в конструктивном отношении, исключая конструкцию перекрытий.

В последние годы проведена унификация объемно-планировочных и конструктивных решений копров. В плане их размеры приняты 12×18, 18×18 м. Высота башенных копров составляет 108,2; 96,2; 92,6; 50,6 м.

Фундаменты башенных копров выполняются коробчатого сечения под внутренние стены и в виде сплошных ленточных фундаментов под наружные стены. Фундаменты заглубляются в грунт на глубину до 10 м, иногда их устраивают на сваях глубиной заложения до 20 м.

Водонапорные башни используются для установки на определенной высоте резервуаров. Эти сооружения относятся к системам водоснабжения населенных пунктов и служат для создания напора

в водопроводных сетях, для регулирования водопотребления, предотвращения гидравлических ударов и т. п.

Конструктивно водонапорные башни состоят из резервуара, опоры и фундамента.

Основные параметры водонапорных башен — объем резервуара и отметки его расположения на высоте — влияют на общие габариты сооружения.

В практике строительства водонапорные башни выполняют целиком из железобетона или из железобетона делают фундамент и опорную часть, а резервуар — из металла.

Железобетонные опоры водонапорных башен имеют форму цилиндра, усеченного конуса с расширением или сужением к основанию, гиперболической поверхности. Опоры выполняются из монолитного железобетона, для цилиндрических опор часто применяется сборный железобетон.

Водонапорные башни достигают высоты 50 м, известны также уникальные башни бóльшей высоты.

На химических предприятиях устанавливаются ректификационные колонны, предназначенные для разделения смесей на индивидуальные продукты.

Они представляют собой стальные башенные сооружения высотой 15—120 м при диаметре от 1000 до 6000 мм.

Заводы-изготовители поставляют ректификационные колонны смонтированными полностью, в виде отдельных секций длиной 30—50 м или россыпью.

В зависимости от конкретных инженерно-геологических или гидрогеологических условий промплощадки под колонны устраивают сварные или монолитные фундаменты на естественном основании.

Сооружения башенного типа часто используются в качестве опорных конструкций и архитектурных элементов выставочных сооружений и мемориальных комплексов.

Здание мемориала «Сталинградская битва» представляет собой по форме гиперболическую оболочку 30 м высотой, выполненную из монолитного железобетона.

Обелиск Космонавтов в Москве конструктивно выполнен в виде четырехгранной несимметричной металлической решетчатой башни общей высотой 90 м.

Обелиск Космоса в США представляет собой стальную трехгранную башню высотой 150 м, на верху которой установлено пятиэтажное здание.

Штык-обелиск мемориального комплекса «Брестская крепость — герой» высотой около 100 м в поперечном сечении имеет вид гипоциклоиды со срезанными углами.

Металлические, железобетонные и другие башенные сооружения различных конфигураций используют в качестве обзорных башен, наблюдательных вышек, высотных сооружений аэропортов, маяков.

## § 5. Основные методы возведения башенных сооружений

Разнообразие высотных сооружений башенного типа привело к разработке многочисленных методов их возведения. Выбор метода возведения зависит от конструктивных особенностей сооружения, применяемых материалов, параметров сооружения, характеристик строительной площадки, технологических требований и т. д.

Стальные конструкции монтируют отдельными секциями или поднимают собранное сооружение на полную высоту.

Наиболее удобно производить укрупненный монтаж конструкций башен на земле, а затем в готовом для эксплуатации виде устанавливать ее на фундаменте. Для этого возле фундаментов нужно иметь свободную территорию, на которой размещается специальная площадка для сборки башни в горизонтальном положении.

Дальнейшая установка башни на анкерные болты в проектное положение производится следующими способами:

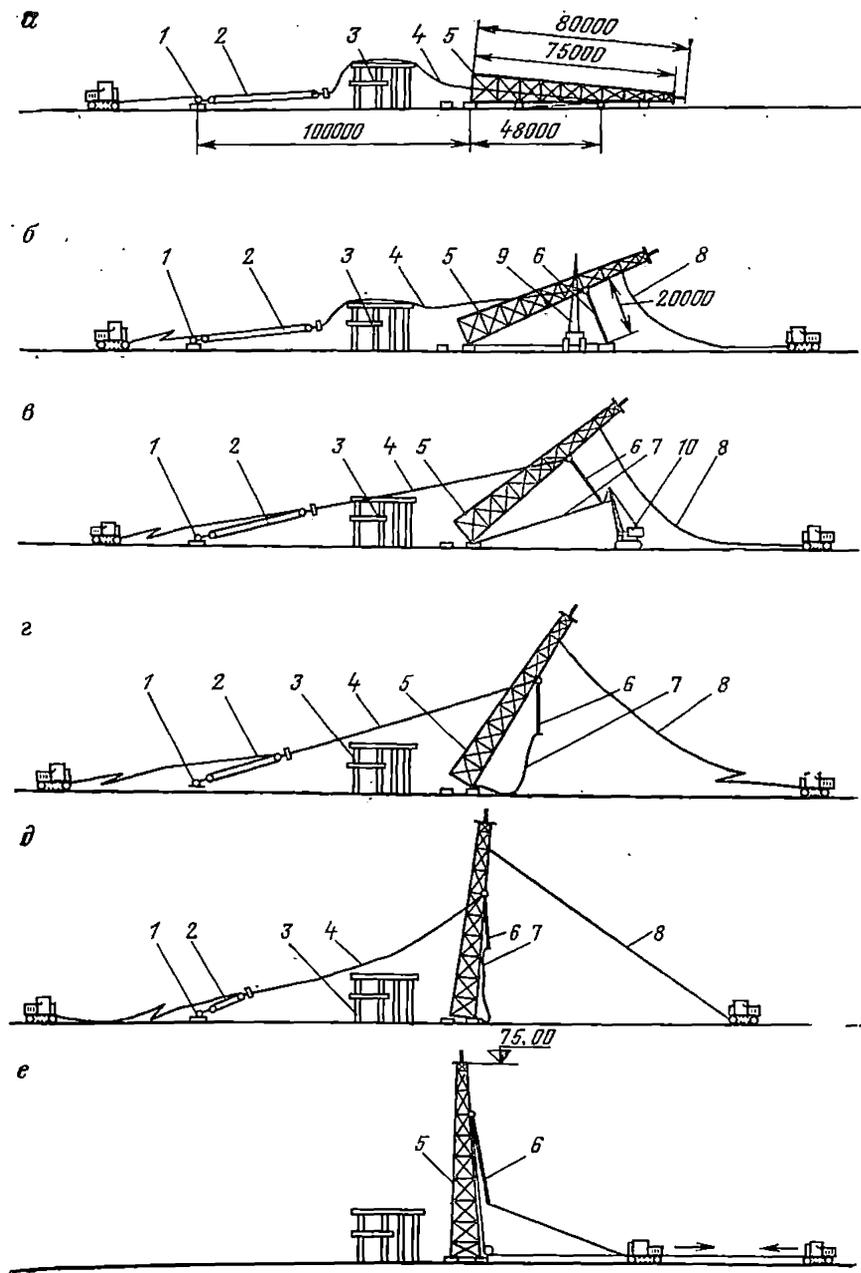
*Методом подъема.* Башню краном поднимают с отрывом от земли и устанавливают ее на анкерные болты.

*Поворотом вокруг шарниров.* Пояса нижнего яруса закрепляют в шарнирах, которые устанавливают на фундаментах сооружения. К расчетной точке, расположенной выше центра тяжести башни, прикладывают тяговое усилие, в результате чего осуществляется подъем сооружения. Тяговые усилия создаются кранами, тракторами, лебедками через полиспасты; возможно использование дополнительных монтажных приспособлений — рамных подставок, «падающей» стрелы, шевров, неподвижных или наклоняющихся мачт и другого оборудования (рис. 8).

При невозможности монтажа башни на земле в горизонтальном положении используют способы наращивания или подрачивания.

Монтаж в проектное положение способом наращивания производится с помощью грузоподъемного монтажного механизма, устанавливаемого на земле. Часто используются монтажные механизмы, первоначально устанавливаемые на земле, а затем на смонтированных конструкциях последовательно перемещающиеся вверх по мере хода монтажа — прислонные башенные краны, самоподъемники (ползучие краны). Монтаж ведется снизу вверх с установкой элементов в проектное положение и окончательным их закреплением.

Способ подрачивания состоит в том, что конструкции монтируют в вертикальном положении, начиная с верхней части. Смонтированная часть поднимается при помощи специального оборудования, к ней на весу подрачивается снизу расположенная ниже часть. Затем конструкции снова поднимаются и к ним подрачиваются следующие элементы. В такой последовательности работы продолжают до окончания монтажа всего сооружения, после чего сооружение закрепляется на фундаментах.



р. 8

Рис. 8. Схема подъема башни поворотом вокруг шарниров через рамную подставку с дотягиванием полиспастом:

а—е: стадии подъема башни:

1—якорь; 2—полиспаст; 3—эстакада; 4—тяговые вожжи; 5—башня; 6—рамная подставка; 7—тяги рамной подставки; 8—тормозная оттяжка; 9, 10—краны

Находят применение комбинированные способы — способ наращивания с подращиванием верхнего блока, монтаж двумя мачтами с подращиванием внутреннего ствола, способ наращивания с поворотом верхнего блока.

В последние годы были разработаны методы монтажа сооружений башенного типа с использованием вертолетов большой грузоподъемности. Эти методы позволяют монтировать конструкции частями методом наращивания, или целиком после предварительной сборки на земле в горизонтальном положении.

Сборные железобетонные башни возводятся методом наращивания с использованием различной грузоподъемной техники.

Высотные сооружения из монолитного железобетона возводятся различными способами в зависимости от применяемой опалубки:

1. *Подъемно-переставная опалубка* (рис. 9). Этим методом возводят преимущественно дымовые трубы и железобетонные стволы радиотелевизионных башен. При строительстве объектов данным способом подъем рабочей площадки с подвешенной к ней наружной опалубкой осуществляют с помощью специальных электромеханических подъемных механизмов (подъемных головок), опирающихся на шахтный подъемник.

Шахтный подъемник представляет собой многоярусную пространственную решетчатую ферму, собранную из отдельных элементов (стоек, ригелей, раскосов) и наращиваемую по мере возведения ствола сооружения. Подъемник оснащен грузовыми клетями, ходовой лестницей, пассажирским лифтом.

Конструкция подъемно-переставной опалубки позволяет уменьшать сечение и толщину стен ствола по мере возведения сооружения и придать ему коническую форму.

Сущность метода подъемно-переставной опалубки состоит в том, что ствол сооружения бетонируют ярусами по 2,5 м. С нижнего яруса снимают щиты внутренней опалубки и стыкуют их с опалубкой последнего забетонированного яруса.

Опалубку подвешивают к рабочей площадке, представляющей собой систему стальных радиальных балок с деревянным настилом, с которого производят установку арматуры и бетонирование. На балках установлены механизмы радиального перемещения опалубки. В последнее время эти механизмы оборудуют электромеханическим приводом, что позволяет механизировать процесс радиального перемещения опалубки и подвесных лесов.

Подъемная головка предназначена для перемещения по высоте подъемно-переставной опалубки с рабочей площадкой, тепляком и подвесными лесами.

Бетонную смесь подают на рабочую площадку в грузовых клетях шахтного подъемника и доставляют к месту укладки с помощью самоходных бункеров, оборудованных электроприводом.

Людей к месту производства работ доставляет грузопассажирский лифт.

При возведении оболочек гиперболических градирен в подъемно-переставной опалубке применяют специальный агрегат, пред-

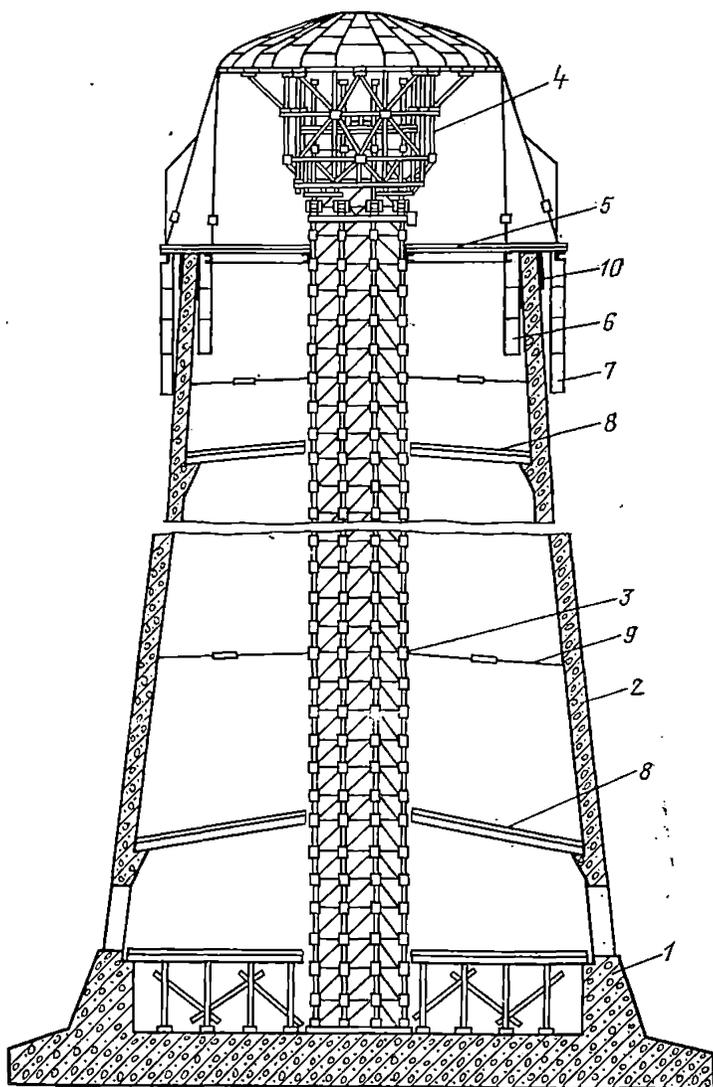


Рис. 9. Монтажное оборудование для возведения монолитной железобетонной трубы в подъемно-переставной опалубке:

1 — фундамент трубы; 2 — ствол трубы; 3 — шахтный подъемник; 4 — подъемная головка; 5 — рабочая площадка; 6, 7 — внутренние и наружные подвесные леса; 8 — защитное перекрытие; 9 — гибкая связь; 10 — наружная опалубка

ставляющий собой устройство типа башенного крана со стрелами, снабженными механизмами для подъема и перемещения грузов и подвесными подмостями для производства работ на высоте.

2. *Скользкая опалубка.* При возведении высотных сооружений различных конфигураций (силосы, башенные копры, водона-

порные башни, градирни, трубы и др.) применяют скользящую опалубку (рис. 10). При строительстве объектов этим способом подъем рабочей площадки с жестко закрепленной опалубкой осуществляется электромеханическими или гидравлическими домкратами, установленными на домкратных рамах, по домкратным стержням, закладываемым в бетон стен сооружения. Металлическая скользящая опалубка представляет собой пространственную

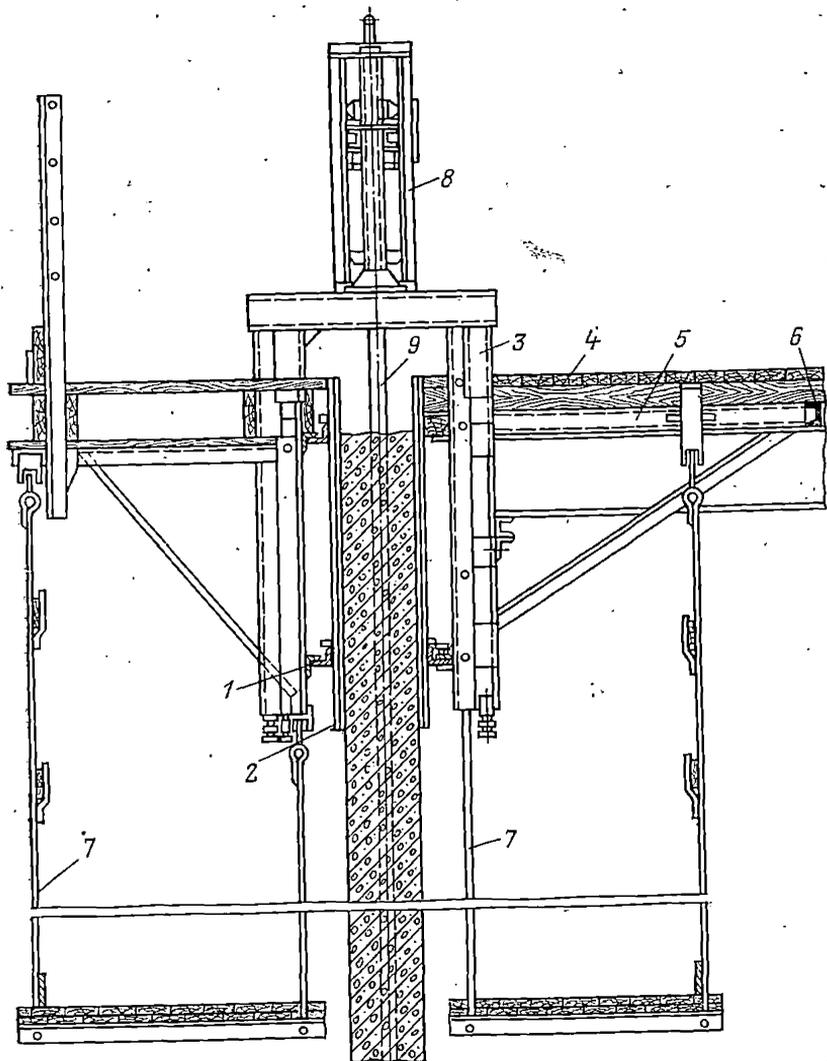


Рис. 10. Устройство скользящей опалубки:

1 — кружала; 2 — щиты опалубки; 3 — домкратные рамы; 4 — настил рабочего пола; 5 — поперечные балки; 6 — опорное кольцо; 7 — подвесные леса; 8 — механизм подъема; 9 — домкратные стержни

систему, состоящую из форм (собственно опалубки), куда укладывается бетон, и конструкций, обеспечивающих геометрическую неизменяемость форм и возможность производства работ — домкратных рам, рабочего пола, козырьков, подвесных лесов (наружных и внутренних). Применение скользящей опалубки позволяет вести непрерывное бетонирование сооружения.

При возведении в скользящей опалубке сравнительно невысоких сооружений — силосов, башенных копров и т. п. — доставка строительных материалов осуществляется башенными кранами, а транспортировка людей осуществляется по лестницам шахтного подъемника, монтируемого с внешней стороны сооружения. При строительстве сооружений большой высоты (трубы, градирни) в скользящей опалубке транспортировка людей на рабочий горизонт производится с помощью лифтов, расположенных снаружи сооружения, доставка строительных материалов осуществляется клетями, передвигающимися по гибким направляющим, изменяющим свою длину по мере непрерывного подъема опалубки.

3. *Скользяще-переставная опалубка (скользящая опалубка с отрывным устройством)*. В скользяще-переставной опалубке возводятся закрытые склады угля на коксохимических заводах, склады на горно-обогатительных комбинатах, отдельно стоящие силосы диаметром 18 м на цементных заводах, грануляционные башни диаметром до 28 м и высотой более 130 м различных конструкций с большим количеством проемов и закладных элементов.

Скользяще-переставная опалубка имеет достоинства как подъемно-переставной, так и скользящей опалубки; она имеет возможность скользить по свежееуложенному бетону при возведении стен методом непрерывного бетонирования или же перемещаться вверх на высоту 1 м при возведении стен методом поярусного бетонирования.

Скользяще-переставная опалубка имеет те же конструктивные элементы, что и скользящая опалубка. Домкратные рамы оборудованы специальным отрывным устройством, позволяющим использовать опалубку как скользящую, так и переставную.

При большой высоте сооружений, возводимых в скользяще-переставной опалубке (грануляционные башни), внутри сооружения для транспортировки грузов и доставки людей возводится шахтный подъемник.

4. *Комбинированный способ*. Наиболее ярким примером, иллюстрирующим сущность комбинированного способа, является строительство дымовой трубы Волгоградской ТЭЦ-3 высотой 195 м. До отметки 30 м коническую часть трубы возводили в подъемно-переставной опалубке, а цилиндрическую с отметки 30 м и до отметки 195 м возводили в скользяще-переставной опалубке, обеспечивающей изменение толщины стен. На всю высоту трубы был устроен шахтный подъемник, обеспечивающий транспортировку людей и материалов на рабочий горизонт. До отметки 30 м опалубка поднималась подъемной головкой, после этой отметки — совместно домкратами и подъемной головкой.

## ТРЕБОВАНИЯ К ТОЧНОСТИ ПРИ ВОЗВЕДЕНИИ СООРУЖЕНИЙ БАШЕННОГО ТИПА

### § 6. Состав геодезических работ

Выполнение комплекса строительного-монтажных процессов при возведении башен должно обеспечить установленную точность геометрических параметров сооружений и их элементов, под которой мы понимаем степень приближения фактических, т. е. выполненных в ходе строительства, геометрических параметров к проектным. Учитывая размеры сооружений и особенности их возведения, инженерно-геодезические работы при строительстве башенных сооружений входят в состав общего технологического процесса строительного-монтажного производства. Они предшествуют и сопутствуют всем этапам возведения сооружений — проектированию, изысканию и строительству, являются необходимыми при эксплуатации.

Роль и значение геодезических работ при строительстве башенных сооружений определяются целым рядом особенностей, оказывающих воздействие на организацию, условия производства и точность инженерно-геодезических работ, среди которых следует выделить:

- конструкцию рассматриваемых сооружений, обеспечивающую жесткость и восприятие вертикальных и горизонтальных нагрузок при значительной высоте и малых размерах основания;
- методы возведения, использующие постоянно или дискретно перемещающееся формовочное и монтажное оборудование и обеспечивающие непрерывность процесса строительства;
- значительные горизонтальные нагрузки, возникающие под действием внешних факторов и приводящие к изменению геометрических параметров и их непостоянству во времени;
- повышенные требования к несущей способности оснований и конструкции фундаментов;
- требования к уровню собираемости конструкций при возведении сборных сооружений и установке технологического оборудования.

С учетом этих особенностей к геодезическим работам предъявляются повышенные требования, которые должны, с одной стороны, обеспечить необходимую точность выполнения всех строительного-монтажных процессов, а с другой — быть экономически и технологически оправданы и отвечать современным методам строительства.

Инженерно-геодезические работы в период изысканий должны проводиться в соответствии с требованиями СНиП II-9—79 «Инженерные изыскания для строительства. Основные положения» с учетом конструктивных и эксплуатационных особенностей сооружений. Особое внимание должно быть обращено на обеспечение

инженерно-геологических, в том числе и гидрологических, изысканий как работ, обеспечивающих изучение факторов, влияющих на устойчивость. На участках развития физико-геологических процессов и явлений (карсты, оползни и др.), а также в районах ведения горных выработок и интенсивной откачки подземных вод организуются специальные геодезические наблюдения и в необходимых случаях проводятся специальные съемки.

В предпроектный период на этапе проектирования, предусматривающем возведение башенных сооружений по типовым и повторно применяемым экономичным проектам, геодезической службой составляются генеральные планы, на которые наносятся существующие, проектируемые и подлежащие сносу здания и сооружения, объекты благоустройства, внутриплощадочные транспортные и инженерные коммуникации, масштабы которых 1:500 или 1:1000. Следует указать, что значительная часть башенных сооружений, имеющих большую высоту и оригинальные конструктивные решения, может возводиться по индивидуальным проектам.

В процессе строительства сооружений геодезические работы в соответствии с установленной последовательностью возведения могут быть разделены на этапы, обеспечивающие:

— производство земляных работ, устройство фундаментов и монтаж конструкций нулевого цикла;

— возведение или монтаж основной несущей конструкции (оболочка, ствол);

— монтаж технологического оборудования;

— производство исполнительных съемок и контроль точности геометрических параметров построенных сооружений и их элементов;

— определение деформаций сооружений и их оснований.

При разделении строительных работ между несколькими организациями, которые выполняют, как правило, работы, связанные с возведением фундаментов и нулевого цикла, подрядными организациями согласовываются вопросы, связанные с созданием опорных геодезических сетей с целью обеспечения их использования на весь период строительства и эксплуатации сооружений.

Проведение геодезических работ на объекте ведется на основании составленного проекта производства работ, который является организационно-методическим документом, определяющим последовательность и требуемую точность выполнения комплекса геодезических измерений.

В состав инженерно-геодезических работ, осуществляемых при строительстве основных несущих конструкций башенных сооружений входит:

— создание специального геодезического обоснования в виде систем пунктов, с которых выполняется контроль за геометрическими параметрами сооружения и точностью выполнения строительно-монтажных процессов;

— обеспечение точности сборки и установки монтажного обо-

рудования и подъемных устройств, используемых в принятом методе возведения;

— обеспечение планового и высотного положения возводимого сооружения и его элементов в соответствии с проектом;

— контроль положения и определение деформаций монтажного и формовочного оборудования в процессе возведения;

— определение деформаций строящихся сооружений под воздействием внешних факторов и учет их влияния.

Кроме того, в ряде случаев одновременно с обеспечением возведения сооружения проводятся исполнительные съемки с целью получения данных о его геометрии, фактических радиусах, отметках, толщине конструкций и т. п., позволяющие принять решение о функциональном соответствии.

## § 7. Основные нормативные требования

Как отмечалось в предыдущем параграфе, основным назначением геодезических работ при строительстве башенных сооружений является обеспечение пространственных связей различных технологических процессов и монтажных операций. В конечном счете геометрическая точность и, следовательно, эксплуатационная пригодность и функциональность сооружения реализуются через производство геодезических измерений и по ним же принимаются технические решения для устранения выявленных дефектов строительства или последствий деформаций. С учетом этой роли геодезических измерений, точность их проведения и способы выполнения имеют важное, а в отдельных случаях и решающее значение, так как они должны обеспечить работу используемого монтажного оборудования и возведение конструкций в пределах геометрических параметров, установленных на основе прочностных эксплуатационных или экономических расчетов и эстетических требований. Кроме того, принимая во внимание размеры башенных сооружений, многообразие факторов, влияющих на соблюдение их параметров, а также реально достигнутую сегодня точность строительно-монтажных процессов, к геодезическим работам предъявляется требование достоверности получения информации о положении сооружения и его отдельных частей, т. е. требование обеспечения производства геодезических работ с точностью, не оказывающей существенного влияния на оценку геометрических параметров сооружений и на технологию их выполнения.

Таким образом, точность геодезических работ всегда должна рассматриваться только в связи с необходимой, обоснованной расчетами точностью выполнения геометрических параметров, которые регламентируются для всех видов строительных конструкций нормативными документами.

Исходя из анализа конструкций башенных сооружений, представляющих собой консоль, закрепленную в основании, основным требованием к их геометрии является обеспечение вертикальности как параметра, определяющего прочностные свойства башни. Надо отметить, что нормативные требования геометрических пара-

метров всех высотных сооружений, в которых определяющими являются вертикальные элементы конструкции, ориентированные либо на обеспечение непосредственно вертикального их положения, либо на установку в проектное положение относительно существующей или условной вертикальной линии или плоскости.

Основная геометрическая характеристика башенных сооружений (отклонение оси от вертикали или крен) устанавливается нормативными документами в виде предельных допустимых величин исходя из необходимости соблюдения:

— технологических или архитектурных требований к допустимым величинам изменения проектных уровней и положения конструкции в целом, отдельных ее элементов и оборудования, включая требования к нормальной работе кранов, лифтов, подъемных устройств элеваторов и т. п.;

— требований к прочности, устойчивости и трещиностойкости конструкции, включая общую устойчивость сооружения.

В ряде случаев, особенно при нормировании геометрических параметров сооружений значительной жесткости (например, дымовых труб, градирен), второй род требований может не приниматься во внимание, что позволяет в целом упростить систему расчетов и использовать для них показатели технологических процессов, численные значения которых обычно определены.

В предположении жесткости башенных сооружений, но не принимая во внимание возможные вследствие этого перераспределения нагрузок на основание, в качестве исходных можно принять требования к предельным допустимым значениям деформаций оснований, установленным СНиП II-15—74 «Основания зданий и сооружений», величины которых приведены в табл. 1.

Таблица 1

Наименования и конструктивные особенности сооружений	Величины предельных деформаций оснований	
	Предельный крен	Абсолютная осадка, см
1. Дымовые трубы:		
а) $H \leq 100$	0,005	40
б) $100 < H \leq 200$	$1/2 H^*$	30
в) $200 < H \leq 300$	$1/2 H$	20
г) $H > 300$	$1/2 H$	10
Прочие высокие жесткие сооружения $H \leq 100$	0,004	20
2. Элеваторы из железобетонных конструкций:		
Рабочее здание и силосный корпус из монолитного железобетона, смонтированные на одной фундаментной плите	0,003	40
то же, из сборного железобетона	0,003	30
отдельно стоящее рабочее здание	0,003	25
отдельно стоящий силосный корпус из монолитного железобетона	0,004	40
то же, из сборного железобетона	0,004	30

\* $H$  — высота башни, м

Однако приведенные в таблице величины совместных деформаций оснований и самих сооружений, соответствующие пределу эксплуатационной пригодности и, следовательно, из-за жесткости башенных сооружений характеризующие отклонение их осей от вертикали, не могут служить основанием для назначения точности геодезических работ, но могут быть использованы и используются проектировщиками для установления точности производства строительного-монтажных работ в период возведения сооружения. В зависимости от метода и технологии строительства точность контроля выполнения основных геометрических характеристик зданий и сооружений назначается в 3—5 раз выше предельно допустимых технологических отклонений в параметрах. Так, например, для монолитных сооружений СНиП III-15—76 «Бетонные и железобетонные конструкции монолитные» устанавливает следующие допустимые величины отклонений  $\delta_m$  конструкций от вертикали при их возведении в зависимости от высоты  $H_i$ :

а) для стен сооружений, возводимых в скользящей опалубке при отсутствии промежуточных перекрытий —  $1/500 H_i$ , но не более 100 мм;

б) для стен, возводимых в скользящей опалубке при наличии промежуточных перекрытий —  $1/1000 H_i$ , но не более 50 мм, или в аналитическом виде

$$\text{а) } \delta_m = 0,002H_i \leq 0,1 \text{ м; } \quad \text{б) } \delta_m = 0,001H_i \leq 0,05 \text{ м,} \quad (1)$$

где  $\delta_m$  — величины допускаемых отклонений в положении конструкций от вертикали, предусмотренные в соответствующих главах III части СНиПа.

Являясь технологическими допусками, значения предельных отклонений, определяемых по формуле (1), могут рассматриваться как геометрические параметры, контроль которых производится путем выполнения геодезических работ с условием, что точность последних не исказит надежность определения этих параметров.

Определение точности геодезических работ следует выполнить на основании указаний СНиП III-2—75 «Геодезические работы в строительстве», в котором устанавливаются следующие критерии точности геодезических работ:

— допустимые погрешности определения кренов  $\delta_{г.р}$  высоких сооружений, в том числе и башенного типа, определяются по формуле

$$\delta_{г.р} = 0,0005H; \quad (2)$$

— средние квадратические погрешности измерений в процессе геодезического обеспечения строительного-монтажных работ:

$$m_{т.р} = 0,2\delta_{с.м}, \quad (3)$$

где  $\delta_{с.м}$  — допустимая погрешность положения конструкции.

Из анализа нормативных требований к обеспечению точности геометрических параметров сооружений и точности используемых для этих целей методов геодезических работ [31] можно сделать

выводы о несогласованности этих требований. Так, при определении невертикальности сооружений в соответствии с формулой (2) точность геодезических работ устанавливается вне зависимости от величин  $\delta_m$  и при высотах сооружения  $H_i \geq 200$  м погрешности достигают  $\delta_{г.р} = 0,1$  м, что составляет 100 % и более от величины допускаемых предельных отклонений и приводит к потере надежности определения вертикальности высоких башенных сооружений.

Для наглядности требования действующих нормативных документов сведены в табл. 2 с целью установления и выбора оптимальных критериев назначения точности геодезических работ.

Таблица 2

$H_i$	СНиП II-15-74, предельные отклонения, м $t=1/2 H$	СНиП III-15-76, допустимые отклонения при монтаже, м $\delta_m = 0,002 H$	СНиП III-2-75, допустимые погрешности определения кренов, м $0,0005 H$	СНиП III-2-75, допустимые погрешности геодезических работ, м $0,2 \delta_m$
1	2	3	4	5

*Дымовые трубы*

100	0,5	0,1	0,05	0,02
200	0,5	0,1 (0,2)	0,10	0,02 (0,04)
300	0,5	0,1 (0,3)	0,15	0,02 (0,06)
400	0,5	0,1 (0,4)	0,20	0,02 (0,08)

*Высокие жесткие сооружения (копры, силовы, ретрансляторы)*

30	0,12	0,06	0,015	0,01
50	0,20	0,10	0,025	0,02
70	0,28	0,10 (0,14)	0,035	0,02 (0,03)
100	0,40	0,10 (0,20)	0,05	0,02 (0,04)

Из анализа графы 3 табл. 2 видно, что предельные ограничения, наложенные на величины допустимых отклонений в положение выполненных бетонных и железобетонных сооружений в соответствии с формулой (1) и устанавливаемые величины в 100 мм (50 мм для сооружений с промежуточными перекрытиями), вступают в противоречие с требованиями СНиПа по геодезическим работам в строительстве (графа 4) и устанавливают завышенные трудно-реализуемые требования к точности геодезических работ (графа 5).

В случае исключения граничных критериев на величины вертикальности, значения допустимых отклонений сооружений от вертикали и, следовательно, погрешности геодезических работ будут иметь величины, указанные в скобках в графах 3 и 5.

Однако и в этом случае допустимые погрешности в размерах и положении конструкций по абсолютным величинам приближаются к значениям предельно допустимых отклонений, обоснованных, как указывалось выше, технологическими требованиями.

Все это приводит к выводу о необходимости более детальной проработки вопросов о назначении точности возведения башенных сооружений в функциональной зависимости от их высоты и особенностей конструкции.

В этой связи представляется полезным обратиться к опыту нормирования точностных параметров возведения высотных башенных сооружений в ряде стран [40].

Так, в ГДР оценка допускаемых отклонений от вертикали сооружений выполняется по эмпирической формуле вида

$$\delta_Q = 4,55 \sqrt[3]{H_i^2} \text{ мм.} \quad (4)$$

Находят применение формулы вида

$$\delta_Q = (0,8 + H/2000) \sqrt{H_i}; \quad (5)$$

$$\delta_Q = 0,167H_i. \quad (6)$$

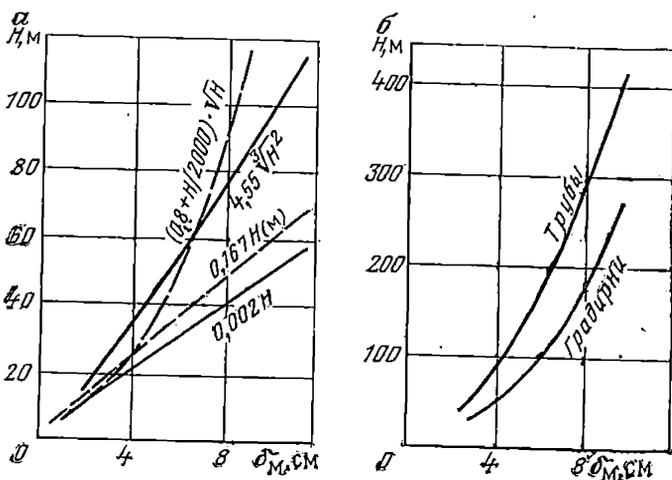


Рис. 11. Графики зависимости вертикальности сооружений от высоты

На рис. 11, а построены графики зависимости допускаемых отклонений высотных башенных сооружений в соответствии с представленными эмпирическими функциями и формулой (1), установленной СНиП III-15—76.

Здесь совершенно очевидным становится вывод о несостоятельности назначения конечных значений кренов, ограниченных предельными значениями для небольших высот сооружения  $H_i < 100$  м. Фактически ведомственные документы, используемые в практике строительства, учитывают это несоответствие и устанавливают допуски на положение несущих элементов башенных сооружений по отношению к вертикали в зависимости от высоты, на-

значения, жесткости самой конструкции и условий ее работы. Таким образом, наиболее целесообразным следует признать установление допустимых отклонений в геометрических параметрах высоких башенных сооружений в виде функции

$$\delta_Q = f(D, H, \delta_T),$$

где  $D$  — диаметр основания башенного сооружения или его площадь, характеризующие по отношению к высоте  $H$  конструкцию по устойчивости;  $\delta_T$  — допуски технологических параметров, определяемые назначением и характером работы технологического оборудования.

Анализ геометрических параметров возводимых в нашей стране и за рубежом башенных сооружений показывает, что отношения основных размеров ширины основания к высоте находится в пределах:

— для дымовых труб, элеваторов, ретрансляторов  $D/H = 0,10 \div 0,18$ ;

— для башенных градирен в зависимости от формы оболочки  $D/H = 0,65 \div 0,85$ , причем для особо высоких сооружений эти отношения минимальны.

Исследуя ряд объектов энергетического строительства и используя результаты исполнительных съемок, авторы установили эмпирические зависимости геометрической точности возведения башенных сооружений:

— для стволов дымовых труб  $\delta_M = \frac{3D}{H} \sqrt{H_{MM}}$  ;

— для оболочек градирен  $\delta_M = \frac{D}{2H} \sqrt{H_{MM}}$  , (7)

которые могут быть рекомендованы для расчета точности геодезических работ в соответствии с п. 4.9 СНиП III-2—75.

Числовые коэффициенты формул характеризуют различия в методах возведения сооружений и в требованиях, предъявляемых к точности монтажа технологического оборудования.

Вычисленные по формуле (7) расчетные величины допускаемых отклонений приведены в табл. 3, а график их зависимости от высоты — на рис. 11, б.

Таблица 3

H	Допустимые отклонения, мм	
	трубы при $D/H = 0,12$	градирни при $D/H = 0,75$
50	85	85
100	110	120
150	140	150
200	160	170
250	180	—
300	200	—
400	230	—

Таким образом, противоречивость и несогласованность действующих нормативов, отсутствие при назначении характеристик точности дифференцированного подхода к определению их величин значительно осложняют выбор методов и средств производства геодезических работ.

Остальные геометрические параметры, такие, как соблюдение проектных радиусов, высотного положения закладных деталей, являются дополнительными и устанавливаются, в частности, в соответствии с разработанными нормами, зафиксированными в ряде документов.

Аналогичный подход может быть применен и к нормированию точности геодезических работ при строительстве сборных сооружений из готовых элементов, блоков и металлоконструкций.

Следует указать, что для всех сооружений высотой свыше 250 м необходимо точность выполнения геометрических параметров следует определять специальными расчетами.

### **§ 8. Методика предрасчета точности геодезических работ**

Расчет точности геометрических параметров сооружений и их отдельных элементов проводится всегда на стадии проектирования с целью обеспечения возведения конструкций с заданными эксплуатационными свойствами при минимуме материальных и трудовых затрат. Общие правила расчета устанавливаются серией нормативных документов, среди которых определяющими являются государственные стандарты «Системы обеспечения точности геометрических параметров в строительстве».

Методика расчета точности геодезических работ вытекает из принятых методов расчета самих сооружений, так как производство геодезических работ рассматривается как один из составляющих технологических процессов строительства.

Для сооружений методика расчета состоит в определении суммарных характеристик точности замыкающих звеньев размерных цепей конструкций, в которых компенсируются погрешности участвующих в выполнении этого звена процессов и операций, и решении уравнений точности из условия соответствия этих характеристик функциональным требованиям.

Замыкающими звеньями размерных цепей, под которыми понимают замкнутый контур, образованный взаимосвязанными размерами составляющих звеньев, в сборных конструкциях обычно являются размеры в узлах сопряжения элементов, в монолитных — расстояния между функционально связанными несущими конструкциями или размеры самого сооружения относительно какой-либо базовой исходной поверхности или оси. В качестве замыкающего звена для несущих конструкций башенных сооружений следует рассматривать положение несущих конструкций (оболочек, стен, стоек) относительно вертикальной оси сооружения.

В общем случае зависимость между функциональными и суммарными характеристиками точности, как это устанавливается

нормативами, выражается без учета координаты середины поля суммарного допуска следующими уравнениями:

$$X_{\max} - X_0 = \frac{\Delta_{\Sigma}}{2}; \quad X_{\min} - X_0 = -\frac{\Delta_{\Sigma}}{2}, \quad (8)$$

где  $X_{\max}$  и  $X_{\min}$  — наибольшее и наименьшее предельные значения размера замыкающего звена, определяемые в ходе специальных технологических расчетов;  $X_0$  — номинальное значение размера замыкающего звена;  $\Delta_{\Sigma}$  — допуск замыкающего звена, определяемый суммированием технологических допусков составляющих звеньев размерной цепи.

Из выражений (8) следует вывод, что функциональность сооружения считается обеспеченной, если в результате принятых при расчете точности решений соблюдается условие

$$\Delta_{\phi} \geq \Delta_{\Sigma}, \quad (9)$$

где  $\Delta_{\phi}$  — допуск функционального размера, определяемый как разность  $X_{\max}$  и  $X_{\min}$ .

Для дальнейших расчетов необходимо составить уравнения точности. Входящие в эти уравнения величины могут быть определены из условия соблюдения требования (9) через величины средних квадратических погрешностей

$$m_{\Sigma}^2 = \sum_{i=1}^n m_i^2 + 2 \sum_{i=1}^n r_{i,j} m_i m_j, \quad (10)$$

где  $m_{\Sigma}$ ,  $m_{i,j}$  — средняя квадратическая погрешность замыкающего и составляющих размеров;

$r_{i,j}$  — коэффициент корреляции между  $i$  и  $j$  составляющими размерами.

В случае присутствия систематических составляющих  $\beta_i$  при выполнении технологических процессов среднее арифметическое отклонение замыкающего звена  $\beta_{\Sigma}$ , определяющего координаты середины поля суммарного допуска, вычисляется по формуле

$$\beta_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n \beta_i.$$

Сложность расчета уравнений точности связана с возможным их нелинейным видом, а также с необходимостью определения законов распределения погрешностей составляющих и замыкающих звеньев. Кроме того, как это показано выражением (10), на точности выполнения отдельных технологических процессов и положении конструкции в целом сказывается зависимость погрешностей различных строительно-монтажных и геодезических работ.

Однако любое уравнение погрешностей размерной цепи для основных конструкций башен может быть представлено в линейном виде, а учет законов распределения и корреляционных зави-

симостей отдельных погрешностей опущен вследствие их незначительного влияния на конечные численные характеристики строительно-монтажных процессов [16]. Таким образом, точность замыкающего звена через величины допустимых отклонений  $\delta_i$ , устанавливаемых строительными нормами и правилами, может быть выражена как

$$\delta_{\Sigma} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \delta_i^2}, \quad (11)$$

где составляющими правой части, наряду с технологическими, являются и погрешности геодезических измерений.

Кроме вероятностного метода расчета, представленного формулой (11), в отдельных случаях при технико-экономической обоснованности может быть использован метод максимума-минимума, реализующий формулу

$$\delta_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n \delta_i.$$

Существуют два способа решения уравнений погрешностей:

— прямой, когда по известным значениям погрешностей составляющих звеньев определяется допустимое отклонение замыкающего звена или функциональный допуск;

— обратный, когда по установленному функциональному допуску определяется точность строительно-монтажных и геодезических работ.

При предрасчете точности геодезических работ обычно рассматривается обратная задача, для решения которой могут быть применены следующие методы:

а) равного влияния, при котором, принимая  $\delta_1 = \delta_2 = \dots = \delta_n$ , из выражения (11) получим

$$\delta_{г.р} = \sqrt{\frac{\delta_{\Sigma}^2}{n}}, \quad (12)$$

где  $\delta_{г.р}$  — допустимое отклонение в положении конструкции, вызванное суммарным влиянием погрешностей геодезических работ;

б) равной точности [38], в котором выражение (11) приводится к виду

$$\delta_{\Sigma} = a(I_1 + I_2 + \dots + I_n),$$

где  $a$  — коэффициент точности, вычисляемый по предварительно установленным значениям единиц погрешностей  $I_i$  на отдельные технологические процессы;

в) ничтожно малого влияния, в котором точность геодезических работ устанавливается при условии их малого влияния на конечную точность выполнения замыкающих звеньев.

Учитывая структуру геодезических измерений, их роль в строи-

тельстве и реально достижимую точность, при расчетах обычно используют последний метод — ничтожно малого влияния.

Для нахождения критерия ничтожно малого влияния воспользуемся способом, предложенным в [18]. Точность замыкающего звена выразим через значения погрешностей формулой

$$m_{\Sigma}^2 = m_{с.м}^2 + m_{г.р}^2, \quad (13)$$

где  $m_{с.м}$  и  $m_{г.р}$  — погрешности строительно-монтажных процессов и геодезических работ соответственно.

Тогда можно считать влияние точности геодезических работ ничтожным, если выполняется неравенство

$$m_{\Sigma} - m_{с.м} \leq \varepsilon m_{\Sigma}, \quad (14)$$

где  $\varepsilon$  — малая величина, принимаемая равной 0,05.

Произведя определенные преобразования формулы (14) с учетом (13), получим

$$m_{г.р}^2 \leq \frac{2\varepsilon}{(1-\varepsilon)^2} m_{с.м}^2,$$

и при выбранном значении  $\varepsilon$

$$\frac{m_{г.р}^2}{m_{с.м}^2} \leq 0,11. \quad (15)$$

На основании выражения (15) при выполнении указанного условия влияние точности геодезических работ на установленную точность выполнения геометрических параметров сооружений можно считать ничтожно малым.

Анализируя требования СНиП III-2—75 к точности геодезических работ, выраженные формулой (3), получим

$$\frac{m_{г.р}^2}{\delta_{с.м}^2} = 0,04,$$

что удовлетворяет условию (15) и подтверждает правомерность назначения нормативными документами соотношения точности строительно-монтажных и геодезических работ.

Однако здесь следует иметь в виду, что расчет точности геодезических работ по принципу ничтожно малого влияния их погрешностей на точность возведения конструкций может быть выполнен только при условии отсутствия влияния факторов, приводящих к погрешностям, соизмеримым с точностью монтажных работ, что встречается, например, при строительстве особо высоких сооружений, подверженных влиянию внешних условий. В этих случаях расчеты должны вестись в предположении равного влияния всех погрешностей в соответствии с формулой (12).

Установленная формулой (3) погрешность геодезического обеспечения рассматривается как сумма погрешностей отдельных ви-

дов геодезических работ, выполняемых в ходе строительства сооружения.

Хотя детальные методы производства геодезических измерений будут рассмотрены в VI главе, здесь в качестве примера расчета точности геодезических работ обратимся к упрощенной методике их проведения при обеспечении возведения ствола дымовой трубы в подъемно-переставной или скользящей опалубке.

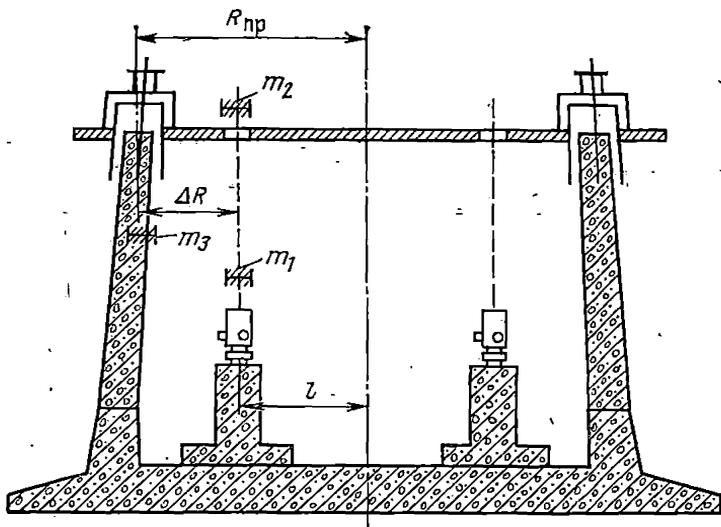


Рис. 12. Погрешности геодезических работ при возведении оболочки градирни

При строительстве ствола трубы в состав геодезических работ по обеспечению проектного положения опалубки в плане, устанавливаемой на расстоянии  $R_{пр}$  от центра, входят (рис. 12):

— разбивка и закрепление пунктов рабочего обоснования на расстоянии  $l$  от центральной оси трубы;

— вертикальное проектирование точек обоснования на монтажный горизонт;

— измерение расстояний  $\Delta R$  от вынесенных точек монтажного горизонта до выверяемых элементов опалубки и конструкции;

— погрешность в определении проектного радиуса за счет погрешности передачи отметки на монтажный горизонт.

Приняв погрешности указанных этапов геодезических работ соответственно за  $m_1, m_2, m_3, m_4$ , запишем

$$m_{г.р}^2 = m_1^2 + m_2^2 + m_3^2 + m_4^2. \quad (16)$$

Значения  $m_i$  устанавливаются через их аналитические выражения и записываются в формулу (16).

Так, например, погрешность в положении пункта рабочего обоснования определится по формуле

$$m_1 = \sqrt{m_k^2 + m_c^2 + m_h^2 + m_{\Delta t}^2 + m_{\Delta F}^2 + m_\phi^2 + m_n^2}, \quad (17)$$

в которой составляющие погрешности при разбивке рабочего обоснования рулеткой могут быть вычислены следующим образом: за компарирование

$$m_k = \frac{l}{L_N} m_{k_0},$$

где  $L_N$  — номинальная длина рулетки;  $m_{k_0}$  — погрешность компарирования;

за уложение мерного прибора в створ линии

$$m_c = \frac{2b^2}{l},$$

где  $b$  — величина отклонения рулетки от створа; за наклон в случае неравенства отметок конечных точек

$$m_h = \frac{h^2}{2l},$$

где  $h$  — превышение между измеряемыми точками; за температуру

$$m_{\Delta t} = \alpha \cdot l \cdot \Delta t,$$

где  $\alpha$  — коэффициент линейного расширения материала рулетки;  $\Delta t$  — погрешность определения температуры; за натяжение

$$m_{\Delta F} = \frac{l \cdot \Delta F}{\omega \cdot E},$$

где  $\Delta F$  — разность в силе натяжения при измерении и компарировании;  $\omega$  — площадь поперечного сечения полотна рулетки;  $E$  — модуль упругости материала рулетки.

Погрешности фиксирования  $m_\phi$  и собственно измерений  $m_n$ , характеризующие погрешностью отсчитывания, не превышают обычно соответственно 1,0 и 0,5 мм.

Общая погрешность проектирования точек на монтажный горизонт при использовании приборов вертикального проектирования может быть вычислена по формуле

$$m_2 = \sqrt{m_b^2 + m_0^2 + m_T^2 + m_{b,y}^2 + m_{\Delta}^2}, \quad (18)$$

а ее составляющие — по нижеприведенным формулам: погрешность визирования

$$m_b = \frac{30H}{\rho'' V^x} = 015 \cdot \frac{H}{V^x}, \quad (19)$$

где  $H$  — высота проектирования, м;  $V^x$  — увеличение прибора; погрешность отсчета по рейке или визирной цели

$$m_0 = 0,03t + 0,2 \frac{H}{V^x}, \quad (20)$$

где  $t$  — цена деления рейки;

погрешность за приведение визирной оси прибора в отвесное положение

$$m_\tau = 0,2\tau'' \frac{H}{\rho''}, \quad (21)$$

где  $\tau''$  — цена деления уровня.

В приборах с самоустанавливающейся линией визирования погрешность  $m_b$  зависит от точности работы компенсатора.

Погрешность влияния внешних условий  $m_{в.у}$ , вызванная колебаниями визирной цели вследствие воздействия на сооружение ветровой нагрузки и температурного нагрева, а также вертикальной рефракции, при значительных высотах достигает больших значений и становится преобладающей, что требует ее учета при проведении геодезических работ.

Погрешность центрирования  $m_c$  зависит от метода центрирования и точности оптического центра используемого прибора и обычно не превышает 0,5 мм [4].

Расчет величины погрешности  $m_o$  зависит от способа измерения расстояния до элементов опалубки.

При использовании стандартных или специально разграфленных реек в подсчет этой величины включаются погрешности несоответствия нулей шкал с пяткой рейки, неточного знания средней длины рабочего метра, нанесения отдельных шашек шкалы и др.

Погрешность передачи отметки на монтажный горизонт при наличии проектного уклона конической конструкции приводит к погрешности определения радиуса, которая может быть вычислена по формуле

$$m_a = im_H, \quad (22)$$

где  $i$  — проектный уклон возводимого участка сооружения;  $m_H$  — погрешность передачи проектных отметок.

Расчет точности этапов геодезического обеспечения позволяет либо решить прямую задачу — определить суммарную погрешность комплекса геодезических работ, либо обратную — рассчитать величины отдельных погрешностей, по которым произвести выбор методов и приборов.

В случае, если погрешность геодезических работ превышает величину, установленную нормативными документами, необходимо произвести перерасчет составляющих погрешностей через коэффициент пропорциональности, который определяется в соответствии с [17] по формуле

$$k_0 = D_N/D_{г.р}, \quad (23)$$

где  $D_N$  — дисперсия погрешностей, вычисляемая по нормативным величинам;  $D_{г.р}$  — предрасчетная дисперсия погрешности геодезических работ. Тогда для обеспечения условия  $D_N = D_{г.р}$  формулу (16) запишем в виде

$$m_{г.р}^2 = k_0 (m_1^2 + m_2^2 + m_3^2 + m_4^2)$$

и произведем повторное вычисление погрешностей этапов геодезических работ и отдельных источников по формуле

$$m_i = \sqrt{k_0 D_i} . \quad (24)$$

Аналогичным образом через составляющие источники погрешностей может быть произведен и расчет точности геодезических работ при установке элементов конструкций, закладных частей в тангенциальном направлении.

### *Глава III*

## *ГЕОДЕЗИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА СООРУЖЕНИЙ БАШЕННОГО ТИПА*

### **§ 9. Назначение геодезического обоснования и схемы его построения**

При строительстве сооружений башенного типа значительной высоты возникает необходимость для обеспечения высокого качества строительно-монтажных работ в создании двух разрядов планового геодезического обоснования: главной опорной сети и рабочей технологической основы. Первый разряд обоснования создается до начала строительства, а второй — после завершения нулевого цикла.

Главная опорная сеть используется для разбивки в натуре положения высотных сооружений, наблюдений за их деформациями, специальных разбивочных работ и контрольных измерений на территории строительства. Пункты этой основы являются исходными для построения рабочей технологической основы. Положение пунктов главной опорной сети устанавливаются по строительному генеральному плану с учетом строительной ситуации. Целесообразно размещение пунктов по направлениям главных осей сооружения на равных расстояниях от его проектного центра.

Высотная основа для строительства может быть выполнена в виде двух-трех реперов, расположенных вблизи строящегося сооружения. Часто в качестве таких реперов используют пункты плановой основы, отметки которых определяют посредством прокладки нивелирного хода. В случае, когда высотная основа должна быть использована для наблюдений за осадками группы башенных сооружений, создается специальная сеть.

При проектировании геометрических схем плановой основы необходимо учитывать следующее:

1. Возможность использования главной опорной сети для разбивки и определения положения пунктов рабочей технологической основы как до начала возведения наземной части сооружения, так и периодически в процессе строительства.

2. Возможность наблюдения с пунктов главной опорной сети за положением сооружения на всей его высоте.

3. Пункты геодезической опорной сети должны располагаться таким образом, чтобы в процессе возведения сооружения можно было произвести повторное измерение с целью учета возможных деформаций сети.

Главные опорные сети создаются для отдельных сооружений и для групп сооружений. Последнее наиболее характерно для силосных башен, элеваторов и ректификационных колонн.

В опубликованных к настоящему времени работах авторы редко останавливаются на вопросе о рациональных схемах и требуемой точности главных опорных сетей для строительства сооружений башенного типа, главным образом рассматривая построение технологической основы.

Поэтому остановимся подробнее на вопросе построения главной опорной сети.

В тех случаях, когда башни сооружаются на территории промышленного предприятия, их центры выносят в натуру, используя плановую опорную сеть данного предприятия. Если строительство выполняется в городе, для этой цели используют городскую сеть. Относительно закрепленного в натуре центра башни разбивают главные и вспомогательные оси, количество которых зависит от конструкции возводимого объекта, и закрепляют пунктами геодезического обоснования *I, II, III, IV*, как показано на рис. 13. В дальнейшем, после завершения нулевого цикла, выносят на фундамент центр башни и создают технологическую основу, которую используют в процессе строительного-монтажных работ.

При возведении сооружения положение пунктов технологической основы в результате осадки может меняться. Поэтому необходимо осуществлять контроль за их положением, выполняя периодически наблюдения с пунктов, расположенных за пределами башни.

Во время строительства с пунктов главной основы ведут наблюдения за кренами и изгибами башни, однако при этом не всегда возникает необходимость знать точное положение этих пунктов относительно ее центра.

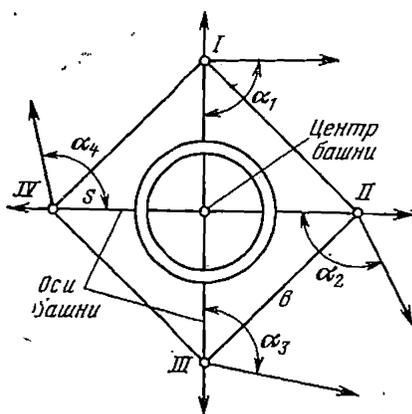


Рис. 13. Схема закрепления осей башенного сооружения

В каждом конкретном случае характер использования главной геодезической основы в процессе строительства может быть различным. В тех случаях, когда вынос в натуру центра сооружения может быть осуществлен посредством створных измерений, выполняемых по главным осям, можно ограничиться разбивкой и закреплением этих осей и измерениями расстояний, необходимых для определения кренов со сравнительно малой точностью

Следует, однако, отметить, что в этом случае отпадает возможность контроля стабильности самих пунктов, закрепляющих ось. Поэтому подобный вид плановой основы следует применять ограниченно для башен, сооружаемых в сравнительно короткие сроки.

В остальных случаях следует создавать геодезические сети в виде центральных систем или кольцевых сетей. Наличие таких сетей вокруг строящегося сооружения позволит решать задачи по выносу в натуру центра, помимо створного метода, прямой угловой засечкой, полярной засечкой и т. п., а также позволит осуществлять контроль за устойчивостью пунктов главной основы посредством повторных линейных и угловых измерений. Кроме того, пункты такой сети могут быть использованы для выноса в натуру подземных коммуникаций и сооружений, примыкающих к башням.

Аналогичный подход должен быть и тогда, когда возводятся группы сооружений башенного типа, технологически связанные друг с другом.

Рассмотрим вопрос о требуемой точности главной опорной сети при условии использования ее пунктов для контроля возведения башни. При решении этого вопроса исходим из заданного в СНиПе или проекте симметричного предельно допустимого отклонения оси башни  $\delta$ . Среднее квадратическое отклонение оси при вероятности 0,9973 будет  $m = \delta/3$ . Величина  $m$  зависит от следующих основных факторов:

- 1) средней квадратической погрешности, полученной в процессе всех геодезических измерений —  $m_r$ ;
- 2) средней квадратической погрешности, обусловленной ошибками при проектировании —  $m_{п}$ ;
- 3) средней квадратической погрешности, возникшей при проведении строительных и монтажных работ —  $m_c$ .

Для определения значения  $m_r$  использовать принцип равных влияний всех трех факторов нам не представляется возможным, так как практические результаты свидетельствуют о том, что  $m_{п}$  и  $m_c$  по абсолютным значениям во много раз превосходят  $m_r$ . Поэтому целесообразно принять суммарную среднюю квадратическую погрешность в положении башни из-за геодезических измерений такой, чтобы она не оказывала существенного влияния на конечный результат в соответствии с [36]. Величину  $m_r$ , в свою очередь, следует рассматривать как результат суммарного влияния четырех источников: погрешностей главной основы —  $m_o$ , выноса в натуру центра сооружения —  $m_{п}$ , рабочей технологической основы —  $m_{т}$ , проектирования с пунктов технологической основы на

рабочий горизонт —  $m_{пр}$ . Полагая эти источники независимыми и используя принцип равного влияния, получим

$$m_{г}^2 = m_0^2 + m_y^2 + m_{г}^2 + m_{пр}^2,$$

$$m_0 = \frac{m_{г}}{2} = \frac{0,2\delta}{2} = 0,1\delta. \quad (25)$$

Используя (25), можно рассчитать необходимую точность главной опорной сети для различных случаев строительства башенных сооружений.

Предположим, что для возведения башни используют сеть из четырех пунктов, закрепляющих оси сооружения (см. рис. 13), и в процессе строительства вынос центра возможен методом прямой угловой засечки. Тогда, рассматривая погрешности в положении пунктов как погрешности исходных данных, можно воспользоваться известной формулой

$$m_{и}^2 = \left( S \frac{m_b}{b} \right)^2 + \left( S \frac{m_{\alpha}}{\rho} \right)^2,$$

где  $S$  — расстояние пунктов от центра сооружения;  $b$  — расстояние между смежными пунктами;  $m_{\alpha}$  — средняя квадратическая погрешность разбивочного угла;  $m_b$  — средняя квадратическая погрешность расстояния между пунктами.

Принимая  $m_0 = m_{и}$  и полагая влияние ошибок разбивочных углов и линий равными, получим

$$m_b = \frac{m_0}{\sqrt{2}} \frac{b}{S} = 0,07\delta \frac{b}{S}; \quad (26)$$

$$m_{\alpha} = \frac{m_0}{\sqrt{2}} \frac{\rho}{S} = 0,07\delta \frac{\rho}{S}. \quad (27)$$

Таким образом, если необходимо создавать опорную сеть для дымовой трубы высотой  $H=300$  м, при  $\delta=17$  и  $S=H$ , получим

$$b = S \cdot \sqrt{2} = 420 \text{ м};$$

$$m_b = 0,07 \cdot 17 \cdot \frac{420}{300} = 1,5 \text{ см};$$

$$m_{\alpha} = 0,07 \cdot 170 \cdot \frac{2 \cdot 10^5}{3 \cdot 10^5} = 8,0''.$$

В том случае, если засечка выполняется с двух или трех базисов, полученные значения средних квадратических погрешностей следует умножить соответственно на  $\sqrt{2}$  и  $\sqrt{3}$ .

Предположим, что для строительства аналогичной дымовой трубы главная опорная сеть построена так, что видимость между пунктами отсутствует (см. рис. 13). В этом случае положение центра башни получают посредством отложения разбивочных уг-

лов  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$ , измеренных на первоначально закрепленный центр сооружения и удаленные ориентирные пункты  $A, B, B, Г$ .

Средняя квадратическая погрешность в положении центра за счет ошибок разбивочных углов при наблюдении с двух пунктов, расположенных на разных осях, будет

$$m_{\alpha} = 0,14\delta_0 \frac{p}{S} \sqrt{2} = 15''.$$

Мы видим, что в этом случае получается более свободный допуск. Однако главная опорная сеть такого вида имеет ряд существенных недостатков по сравнению с предыдущей. К ним в первую очередь следует отнести отсутствие возможности контроля устойчивости пунктов и те трудности, которые могут возникнуть при необходимости восстановления радиального направления на центр в случае утери какого-нибудь пункта.

Аналогичные расчеты могут быть выполнены по известным формулам, когда вынос на натуру центра сооружения планируется и другими методами.

Помимо рассмотренной схемы главной опорной сети могут применяться сети из трех, пяти, шести и более пунктов (рис. 14). При чем сети с количеством пунктов более четырех целесообразно применять при групповом расположении сооружений и для высоких башен. В последнем случае знаки можно располагать по два и более на каждом радиусе. Такая система удобна при использовании пунктов для наблюдения кренов.

Рис. 14. Вариант схемы закрепления пунктов опорной сети

На пунктах, расположенных на главных осях, целесообразно измерять углы на удаленные ориентиры.

При наблюдениях в главных опорных сетях, если имеется видимость между пунктами, в подготовительный период, т. е. до начала возведения сооружений, можно использовать методы триангуляции, линейно-угловых измерений или трилатерации. В этом случае данные сети можно рассматривать как центральные системы. При необходимости проведения наблюдений в процессе строительства и в тех случаях, когда между смежными пунктами нет видимости, применяют метод полигонометрии.

Однако в ряде случаев целесообразно на главных осях закладывать дополнительно пункты на меньших расстояниях, но за пределами возможных деформаций грунтов. Эти пункты используют для наблюдений за технологической основой и для производства детальных разбивок.

Однако в ряде случаев целесообразно на главных осях закладывать дополнительно пункты на меньших расстояниях, но за пределами возможных деформаций грунтов. Эти пункты используют для наблюдений за технологической основой и для производства детальных разбивок.

## § 10. Предрасчет точности геодезических сетей

Оценка точности проекта должна предусматривать определение обратных весов элементов сети, сторон и дирекционных углов, которые будут использоваться для выноса в натуру центра сооружения, построения технологической основы и наблюдений за положением башни.

Среднюю квадратическую погрешность единицы веса находят по известной формуле

$$\mu = m_F \sqrt{\frac{1}{P_F}}, \quad (28)$$

где  $P_F$  — вес функции;  $m_F$  — заданная средняя квадратическая погрешность.

В данном случае  $m_F$  следует приравнять необходимым значениям  $m_b$  и  $m_\alpha$ , вычисление которых показано в § 9.

В соответствии с найденными значениями  $\mu$  для длин сторон и дирекционных углов назначают приборы и программы измерений.

В настоящее время предрасчет точности геодезических сетей выполняют следующими методами:

1. По готовым формулам для типовых сетей.
2. Коррелятным или параметрическим методом.
3. Методом искаженной математической модели.

Первый из названных методов требует незначительных по объему вычислений и дает хорошие результаты во всех случаях, когда речь идет об оценке точности сетей в виде правильных фигур. Эти обстоятельства позволяют его считать наиболее удобным для решения поставленных задач. Коррелятный и параметрический способы являются строгими, они могут быть применены для оценки проектов любых сетей, но требуют значительно большего объема вычислительных работ. Поэтому их применяют в данном случае ограниченно и рекомендуют для оценки проектов сетей неправильной формы. Третий способ рекомендуется использовать при оценке очень сложных сетей, при этом требуется выполнение значительного объема вычисления на ЭВМ. В связи с этим его применение для оценки проектов сетей для сооружения башенного типа нецелесообразно.

При создании сети, изображенной на рис. 14, методом триангуляции расчет может быть выполнен в следующей последовательности:

1. Находят значения средних квадратических погрешностей логарифма наиболее слабой стороны  $CD$ :

$$m_{lg CD_1}^2 = \frac{2}{3} m_B^2 \sum_1^n (\delta_A^2 + \delta_B^2 + \delta_A \delta_B) + m_{lg b}^2;$$

$$m_{lg CD_2}^2 = \frac{2}{3} m_B^2 \sum_1^k (\delta_A^2 + \delta_B^2 + \delta_A \delta_B) + m_{lg b}^2,$$

где  $m_{\beta}$  — средняя квадратическая погрешность измерения угла в сети;  $\delta_A, \delta_B$  — изменения логарифмов синусов связующих углов при их изменении на  $1''$ ;  $n$  — число треугольников от базиса до стороны  $CD$  против хода часовой стрелки;  $k$  — то же по ходу часовой стрелки;  $m_{lg b}$  — средняя квадратическая погрешность логарифма базиса  $AB$ .

2. Вычисляют окончательное значение средней квадратической погрешности стороны  $CD$ :

$$m_{CD} = \frac{S}{0,43 \cdot 10^6} \sqrt{\frac{m_{lg CD_1}^2 \cdot m_{lg CD_2}^2}{m_{lg CD_1}^2 + m_{lg CD_2}^2} + m_{lg b}^2}.$$

3. Находят средние квадратические погрешности дирекционного угла  $\alpha_{CD}$ :

$$m_{\alpha_{CD_1}}^2 = \frac{2}{3} m_{\beta}^2 n;$$

$$m_{\alpha_{CD_2}}^2 = \frac{2}{3} m_{\beta}^2 k.$$

4. Окончательно среднюю квадратическую погрешность дирекционного угла вычисляют по формуле

$$m_{\alpha_{CD}} = \sqrt{\frac{m_{\alpha_{CD_1}}^2 m_{\alpha_{CD_2}}^2}{m_{\alpha_{CD_1}}^2 + m_{\alpha_{CD_2}}^2}}.$$

При этом следует иметь в виду, что полученная величина характеризует погрешность дирекционного угла  $CD$  относительно исходного  $AB$ .

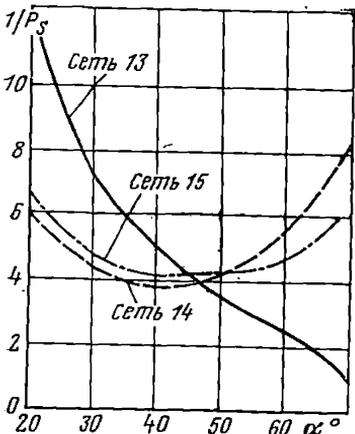


Рис. 15. Графики обратных весов центральных систем триангуляции

Для некоторых типовых схем триангуляций из правильных многоугольников Г. Н. Сизовой выведены формулы, позволяющие получить погрешность слабой стороны [34]. Эти формулы приведены в табл. 4.

Получив значения обратного веса по формулам, приведенным в табл. 4, вычисляют среднюю квадратическую погрешность угла  $\alpha$  по формуле (27).

Для схем 13, 14, 15 из табл. 4 построены графики (рис. 15), при помощи которых можно определить величину обратного веса в зависимости от величины угла  $\alpha$ , не прибегая к вычислениям.

Для сложных сетей неправильной формы в целях получения надежных результатов можно применить стро-

Таблица 4

№ п/п	Схема сети триангуляции	Формулы оборотных весов внешних сторон $\frac{1}{P_s}$ и радиальных $\frac{1}{P_r}$ при $k=2,104$
1	Центральная система, правильный треугольник $\alpha = 120^\circ$ , $\beta = 30^\circ$ , базис — внешняя сторона	$\frac{1}{P_s} = \frac{(2 \operatorname{ctg}^2 \beta + 4 \operatorname{ctg}^2 \alpha + 4 \operatorname{ctg} \alpha \cdot \operatorname{ctg} \beta) k^2}{9}$ $\frac{1}{P_r} = \frac{(10 \operatorname{ctg}^2 \beta + 4 \operatorname{ctg}^2 \alpha + 4 \operatorname{ctg} \alpha \cdot \operatorname{ctg} \beta) k^2}{9}$
2	Центральная система, правильный четырехугольник $\alpha = 90^\circ$ , $\beta = 45^\circ$ , базис — внешняя сторона	$\frac{1}{P_s} = \frac{(4 \operatorname{ctg}^2 \beta + 4 \operatorname{ctg}^2 \alpha + 4 \operatorname{ctg} \alpha \cdot \operatorname{ctg} \beta) k^2}{3}$ $\frac{1}{P_r} = \frac{(3 \operatorname{ctg}^2 \beta + \operatorname{ctg}^2 \alpha + \operatorname{ctg} \beta \cdot \operatorname{ctg} \alpha) k^2}{2}$
3	Центральная система, правильный пятиугольник $\alpha = 72^\circ$ , $\beta = 54^\circ$ , базис — внешняя сторона	$\frac{1}{P_s} = \frac{(26 \operatorname{ctg}^2 \beta + 20 \operatorname{ctg}^2 \alpha + 20 \operatorname{ctg} \alpha \cdot \operatorname{ctg} \beta) k^2}{15}$ $\frac{1}{P_r} = \frac{(32 \operatorname{ctg}^2 \beta + 8 \operatorname{ctg}^2 \alpha + 8 \operatorname{ctg} \alpha \cdot \operatorname{ctg} \beta) k^2}{15}$
4	Центральная система, правильный шестиугольник $\alpha = 60^\circ$ , $\beta = 60^\circ$ , базис — внешняя сторона	$\frac{1}{P_s} = \frac{(23 \operatorname{ctg}^2 \beta + 5 \operatorname{ctg}^2 \alpha + 5 \operatorname{ctg} \alpha \cdot \operatorname{ctg} \beta) k^2}{9}$ $\frac{1}{P_r} = \frac{(7 \operatorname{ctg}^2 \beta + 4 \operatorname{ctg}^2 \alpha + 4 \operatorname{ctg} \alpha \cdot \operatorname{ctg} \beta) k^2}{3}$
5	Центральная система, правильный семиугольник $\alpha = 51^\circ 26'$ , $\beta = 64^\circ 17'$ , базис — внешняя сторона	$\frac{1}{P_s} = \frac{(58 \operatorname{ctg}^2 \beta + 28 \operatorname{ctg}^2 \alpha + 28 \operatorname{ctg} \alpha \cdot \operatorname{ctg} \beta) k^2}{21}$ $\frac{1}{P_r} = \frac{(22 \operatorname{ctg}^2 \beta + 4 \operatorname{ctg}^2 \alpha + 4 \operatorname{ctg} \alpha \cdot \operatorname{ctg} \beta) k^2}{7}$
6	Центральная система, правильный восьмиугольник, $\alpha = 45^\circ$ , $\beta = 67^\circ 30'$ , базис — внешняя сторона	$\frac{1}{P_s} = \frac{(37 \operatorname{ctg}^2 \beta + 16 \operatorname{ctg}^2 \alpha + 16 \operatorname{ctg} \alpha \cdot \operatorname{ctg} \beta) k^2}{12}$ $\frac{1}{P_r} = \frac{(10 \operatorname{ctg}^2 \beta + 4 \operatorname{ctg}^2 \alpha + 4 \operatorname{ctg} \alpha \cdot \operatorname{ctg} \beta) k^2}{3}$
7	Центральная система, правильный треугольник $\alpha = 120^\circ$ , $\beta = 30^\circ$ , базис — радиальная сторона	$\frac{1}{P_s} = \frac{(10 \operatorname{ctg}^2 \beta + 4 \operatorname{ctg}^2 \alpha + 4 \operatorname{ctg} \alpha \operatorname{ctg} \beta) k^2}{9}$

№ п/п	Схема сети триангуляции	Формулы обратных весов внешних сторон $\frac{1}{P_s}$ и радиальных $\frac{1}{P_r}$ при $k=2,104$
8	Центральная система, правильный четырехугольник $\alpha = 90^\circ$ , $\beta = 45^\circ$ , базис — радиальная сторона	$\frac{1}{P_s} = \frac{(3 \operatorname{ctg}^2 \beta + \operatorname{ctg}^2 \alpha + \operatorname{ctg} \alpha \cdot \operatorname{ctg} \beta) k^2}{2}$
9	Центральная система, правильный пятиугольник, $\alpha = 72^\circ$ , $\beta = 54^\circ$ , базис — радиальная сторона	$\frac{1}{P_s} = \frac{(32 \operatorname{ctg}^2 \beta + 8 \operatorname{ctg}^2 \alpha + 8 \operatorname{ctg} \alpha \cdot \operatorname{ctg} \beta) k^2}{15}$
10	Центральная система, правильный шестиугольник, $\alpha = 60^\circ$ , $\beta = 60^\circ$ , базис — радиальная сторона	$\frac{1}{P_s} = \frac{(23 \operatorname{ctg}^2 \beta + 5 \operatorname{ctg}^2 \alpha + 5 \operatorname{ctg} \alpha \cdot \operatorname{ctg} \beta) k^2}{9}$
11	Центральная система, правильный семиугольник, $\alpha = 51^\circ 26'$ , $\beta = 64^\circ 17'$ , базис — радиальная сторона	$\frac{1}{P_s} = \frac{(2 \operatorname{ctg}^2 \beta + 4 \operatorname{ctg}^2 \alpha + 4 \operatorname{ctg} \alpha \cdot \operatorname{ctg} \beta) k^2}{7}$
12	Центральная система, правильный восьмиугольник, $\alpha = 45^\circ$ , $\beta = 67^\circ 30'$ , базис — радиальная сторона	$\frac{1}{P_s} = \frac{(43 \operatorname{ctg}^2 \beta + 7 \operatorname{ctg}^2 \alpha + 7 \operatorname{ctg} \alpha \cdot \operatorname{ctg} \beta) k^2}{12}$
13	Геодезический четырехугольник, один базис по внешней стороне $\alpha = 45^\circ$	$\frac{1}{P_s} = \frac{(3 \operatorname{ctg}^2 \alpha + 3 \operatorname{tg} \alpha + 2) k^2}{8}$
14	Геодезический четырехугольник, два базиса по внешним сторонам $\alpha = 45^\circ$	$\frac{1}{P_s} = \frac{(2 \operatorname{ctg}^2 \alpha + 3 \operatorname{tg} \alpha + 2) k^2}{8}$
15	Сдвоенный геодезический четырехугольник, два базиса по внешним сторонам $\alpha = 45^\circ$	$\frac{1}{P_s} = \frac{(5 \operatorname{ctg}^2 \alpha + 6 \operatorname{tg}^2 \alpha + 4) k^2}{16}$

гий метод. Предварительно в сети измеряют углы транспортиром. Затем составляют систему условных уравнений и функцию интересующего элемента. Решая систему нормальных уравнений, находят  $\frac{1}{P_F}$  и по формуле (28) значение  $\mu$ .

Как было отмечено в § 9, опорные сети могут создаваться и методом трилатерации. При этом строгая оценка точности проекта производится теми же методами. Форма и размеры сетей в этом случае те же, что и при применении триангуляции.

Для оценки точности элементов правильной центральной системы, состоящей из  $N$  треугольников, применяют следующие формулы:

$$\begin{aligned} M_i &= m_S(1,844 + 0,03657N); \\ m_{\alpha_r} &= \frac{m_S \rho}{r} (1,594 + 0,03894N); \\ m_{\alpha_b} &= \frac{m_S \rho}{r} (0,4391 + 0,2245N), \end{aligned} \quad (29)$$

где  $M_i$  — средняя квадратическая погрешность пункта;  $m_S$  — средняя квадратическая погрешность измерения стороны;  $m_{\alpha_r}$  — средняя квадратическая погрешность дирекционного угла радиальной стороны системы;  $r$  — длина радиуса;  $m_{\alpha_b}$  — средняя квадратическая погрешность дирекционного угла внешней стороны системы.

Формулы (29) применяют при  $N$  четном.

В случае нечетного числа треугольников в центральной системе используют формулы

$$\begin{aligned} M_i &= m_S(1,896 + 0,03372N); \\ m_{\alpha_r} &= \frac{m_S \rho}{r} (1,659 + 0,03547N); \\ m_{\alpha_b} &= \frac{m_S \rho}{r} (0,5971 + 0,2170N). \end{aligned} \quad (30)$$

В вышеуказанных формулах принято, что стороны сети измерены с одинаковыми средними квадратическими погрешностями, что соответствует случаю, когда расстояния измеряют светодальномером.

Значения средних квадратических погрешностей могут быть получены с помощью графиков, приведенных на рис. 16. По числу пунктов в сети  $N$  находят для соответствующих величин значения  $\frac{1}{P_F}$ . Например, при  $N=8$  будем иметь для  $M_i$ ,  $m_{\alpha_r}$  и  $m_{\alpha_b}$  соответственно 4,7; 3,7; 5,2. Полученные значения подставляют в формулы

$$\begin{aligned} M_i &= m_S \sqrt{\frac{1}{P_F}} = m_S \sqrt{4,7}; \\ m_{\alpha_r} &= \frac{m_S \rho}{r} \sqrt{\frac{1}{P_F}} = \frac{m_S \rho}{r} \sqrt{3,7}; \\ m_{\alpha_b} &= \frac{m_S \rho}{r} \sqrt{\frac{1}{P_F}} = \frac{m_S \rho}{r} \sqrt{5,1}. \end{aligned}$$

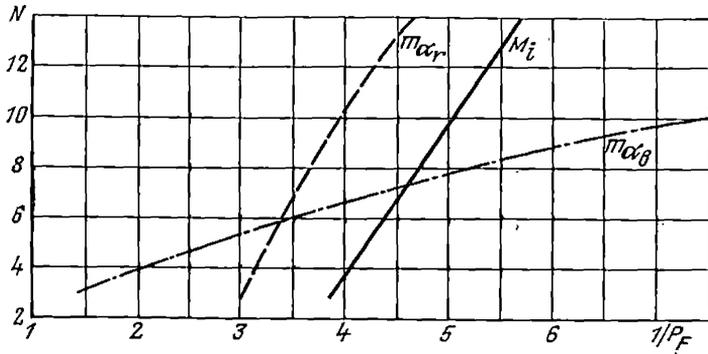


Рис. 16. Графики обратных весов систем трилатерации

Погрешности, полученные с помощью графиков, отличаются от погрешностей, вычисленных по формулам (29) и (30), в пределах 10 %.

Обратный вес уравненных элементов замкнутых полигонометрических ходов в виде правильных многоугольников может быть вычислен по формулам [36]:

$$\frac{1}{P_{\beta_{\text{ур}}}} = \frac{1}{P_{\beta}} \left[ \frac{n-1}{n} + \frac{\frac{2R^2}{P_{\beta}}}{\rho^2 n \left( \frac{1}{P_S} + \frac{R^2}{P_{\beta} \rho^2} \right)} \right];$$

$$\frac{1}{P_{S_{\text{ур}}}} = \frac{1}{P_S} \left[ 1 - \frac{2}{n P_S \left( P_S + \frac{R^2}{P_{\beta} \rho^2} \right)} \right];$$

$$\frac{1}{P_{\alpha_{\text{ур}}}} = \frac{1}{P_{\beta}} \left[ \frac{(i-1)(n-i+1)}{n} - \frac{2 \frac{R^2}{P_{\beta}} \sin^2 \frac{i-1}{2} \varphi}{\rho^2 n \left( \frac{1}{P_S} + \frac{R^2}{P_{\beta} \rho^2} \right) \sin^2 \frac{\varphi}{2}} \right],$$

где  $P_{\beta}$ ,  $P_S$  — соответственно вес измеренных углов и сторон;  $n$  — количество углов поворота;  $i$  — номер стороны хода;  $R$  — радиус, описанный вокруг многоугольника окружности;  $\varphi = 2\pi/n$ .

Оценку проектов полигонометрических сетей, состоящих из ходов неправильной формы, удобно выполнять методом эквивалентной замены.

Оценку проекта производят в следующей последовательности:

1. Вычисляют средние квадратические погрешности положения конечной точки относительно начальной для каждого хода по одной из известных формул

$$M^2 = m_{Sn}^2 + \frac{m_{\beta}^2}{\rho^2} \frac{n+3}{12} L^2,$$

для вытянутого хода,

$$M^2 = m_{sn}^2 + \frac{m_{\beta}^2}{\rho^2} [D_{цi}^2]$$

для изогнутого хода,

где  $m_s$  — средняя квадратическая погрешность измерений стороны;  $n$  — число сторон;  $m_{\beta}$  — средняя квадратическая погрешность угла поворота;  $D_{цi}$  — длина диагонали от центра тяжести хода до очередной точки хода.

2. Находят вес каждого хода по формуле

$$P_i = \frac{C^2}{M^2}.$$

Причем величину  $C$  удобно принять равной величине средней квадратической погрешности на единицу длины (например, на 1 км).

Для сетей, создаваемых при строительстве сооружений башенного типа, когда они прокладываются в виде замкнутых полигонов с диагональными ходами, удобно принять  $C$  примерно равной средней квадратической погрешности радиального хода.

3. На схему сети выписывают значения обратных весов  $Q_i = \frac{1}{P_i}$ .

4. Ориентировочно намечают слабое место в сети или пункт, точность которого хотят оценить. Ход, в котором расположен оцениваемый пункт, не должен подвергаться эквивалентным преобразованиям.

5. Выполняют эквивалентные преобразования системы ходов, добиваясь, чтобы в итоге был получен одиночный эквивалентный ход, соединяющий исходную точку с исследуемой.

6. Находят обратный вес исследуемой точки и среднюю квадратическую погрешность ее положения относительно начального пункта по формуле (28). Формулы для эквивалентных преобразований ходов аналогичны формулам в гл. VI.

## § 11. Методы и приборы, применяемые при создании планового и высотного геодезического обоснования

Как было сказано в § 10, сети планового обоснования при строительстве сооружений башенного типа создают методами триангуляции, полигонометрии и трилатерации, высотное обоснование — методом геометрического нивелирования.

Пункты планового обоснования закрепляются центрами, а высотного — реперами, которые служат для точного обозначения пункта и обеспечения его сохранности на период строительства и эксплуатации.

Для закрепления могут быть использованы центры и реперы, применяемые в государственных геодезических сетях, конструкции и способы закладки которых описаны в «Инструкции о построении

государственной геодезической сети СССР» (М., Недра, 1966) и в ряде ведомственных инструкций.

В то же время для закрепления целесообразно применять знаки, позволяющие вести наблюдения без штатива и выполнять редуцирование непосредственно на пластинке, установленной в верхней части знака (рис. 17).

Такой знак состоит из бетонного якоря, в котором укрепляется асбестоцементная труба диаметром 80—120 мм. Труба заполняется цементным раствором, а на верхней части ее крепится металлическая пластинка 20×20 см. Последнее удобно в случае необходимости закрепления осей сооружения.

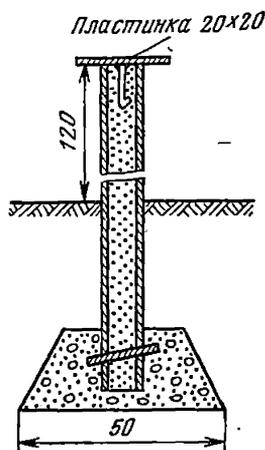


Рис. 17. Знак для закрепления главных осей

В целях обеспечения лучшей сохранности геодезических знаков, в условиях строительной площадки вокруг них следует делать деревянные или металлические ограждения.

Для сооружений башенного типа, особенно чувствительных к деформациям, в тех случаях, когда предусмотрены высокоточные наблюдения за их осадками и деформациями, применяют специальные геодезические знаки и реперные устройства, обладающие повышенной устойчивостью. Сведения о них даны в гл. VI.

В качестве основного метода измерения горизонтальных углов применяют способ круговых приемов. При этом в процессе наблюдений нужно обращать внимание на соблюдение следующего:

— перед началом каждого приема необходимо алидаду 2—3 раза повернуть в направлении ее движения в последующем приеме;

— между приемами следует переставлять лимб на угол

$$\beta = \frac{180^\circ}{n} + (5 - 10)',$$

где  $n$  — число приемов;

— если на пункте наблюдают два направления, повторное визирирование на начальное направление не делают;

— при наблюдениях на короткие расстояния следует производить переселение теодолита и визирных целей.

В соответствии с ГОСТ 10529—79 в СССР выпускаются теодолиты Т1, Т2, Т5, Т15, Т30, Т60. Из них наибольшее применение при создании обоснования для сооружений башенного типа имеют теодолиты, по точности соответствующие Т2 и Т5.

В табл. 5 приведены основные параметры применяемых на практике отечественных и зарубежных теодолитов этого класса точности.

Таблица 5

Параметры	Теодолиты					
	СССР					
	T2	2T2	TБ1	T5	T5K	2T5K
Средняя квадратическая погрешность измерения угла одним приемом, угл. с	2	2	3	5	10	5
Увеличение трубы, крат	25	27,5	25,5	25	27,5	27,5
Минимальное расстояние визирования, м	1,5	1,5	1,2	1,5	2,0	1,5
Цена деления уровня, угл. с:						
при алидаде горизонтального круга	15	15	10—20	30	30	30
при алидаде вертикального круга	20	15	15—20	15	—	—
Масса, кг	5	4,2	5,1	3,6	3,5	3,6

Продолжение табл. 5

Параметры	Теодолиты			
	ГДР		ВНР	
	010	020	Te-B1	Te-D2
Средняя квадратическая погрешность измерения угла одним приемом, угл. с	2	4	2	6
Увеличение трубы, крат	31	25	30	24
Минимальное расстояние визирования, м	2,0	1,5	2,0	2,0
Цена деления уровня, угл. с:				
при алидаде горизонтального круга	20	30	20	30
при алидаде вертикального круга	20	—	20	30
Масса, кг	5,3	4,2	5,5	4,6

Перед началом работ необходимо выполнить следующие проверки:

- перпендикулярности оси при алидаде горизонтального круга к основной оси вращения теодолита;
- совпадения вертикальной нити сетки нитей с коллимационной плоскостью;
- перпендикулярности визирной оси к оси вращения трубы;
- перпендикулярности оси вращения трубы к основной оси прибора;
- совпадения оси оптического центра с основной осью теодолита;
- величины и постоянства места зенита (MZ).

Во всех теодолитах обеспечивается измерение вертикальных углов в диапазоне от  $+60$  до  $-55^\circ$ .

Если предполагается использование теодолита при наблюдении направлений с большими углами наклона, следует определить цену деления накладного уровня или уровня при алидаде горизон-

тального круга для последующего введения поправок за наклон оси вращения прибора.

После выполнения поверок и юстировки теодолита выполняют исследование:

- правильности работы оптического микрометра и его точности;
- величины *рена* оптического микрометра;
- величины эксцентриситета горизонтального круга и его алидады.

Полученные результаты должны соответствовать требованиям ГОСТа. При производстве угловых измерений рабочие допуски не должны превышать указанных в табл. 6.

Таблица 6

Вид рабочего допуска	Допуск	
	T2	T5
Расхождения в полуприемах	8"	0,2'
Расхождения в приемах	8	0,2
Колебания двойной коллимационной ошибки в приеме	12	0,3
Разность отсчетов на начальное направление	8	0,2
Колебания направлений, приведенных к нулю, в отдельных приемах	8	0,2
Разность отсчетов по микрометру при первом и втором совмещении штрихов	3	—

Основными источниками ошибок при угловых измерениях являются:

- погрешности редукиции, обусловленные неточной установкой визирных целей;
- погрешности центрирования угломерного прибора над знаком;
- приборные ошибки из-за несовершенства конструкции теодолита;
- погрешности собственно измерения угла, складывающиеся из ошибок визирования и отсчета;
- погрешности за счет влияния внешних условий.

Вследствие того что при построении обоснования для сооружений башенного типа приходится измерять углы с короткими сторонами, первые два источника могут оказывать весьма существенное влияние.

Средняя квадратическая погрешность редукиции может быть вычислена по формуле

$$m_p^2 = \rho^2 \frac{l_1^2}{2} \left( \frac{1}{S_1^2} + \frac{1}{S_2^2} \right), \quad (31)$$

где  $l_1$  — средняя квадратическая погрешность элемента редукиции;  $S_1, S_2$  — длины сторон угла.

Средняя квадратическая погрешность центрирования может быть найдена из выражения

$$m_{ц}^2 = \frac{l^2 \rho^2}{2S_1^2 S_2^2} (S_1^2 + S_2^2 - 2S_1 S_2 \cos \beta), \quad (32)$$

где  $l$  — среднее квадратическое значение элемента центрирования;  $\beta$  — значение измеряемого угла.

Для того чтобы воспользоваться формулами (31), (32), необходимо знать величины  $l$  и  $l_1$ .

Значение этих величин зависит от величины линейного элемента и угла между ним и наблюдаемым направлением.

В работе [4] доказывается, что величина линейного элемента следует закону распределения Рэлея, а углового элемента — закону равномерного распределения. С учетом этого величину  $l$  при однократном центрировании можно вычислить по формуле

$$l = 0,64 \sqrt{\eta^2 + 1,566\sigma_k^2},$$

где  $\eta$  — величина систематической погрешности;  $\sigma_k$  — величина кругового рассеивания.

Для двукратного центрирования  $l = 0,6\sigma_k$ , а для трехкратного  $l = 0,4\sigma_k$ .

Значение  $\sigma_k$  зависит от увеличения оптического центра. В современных теодолитах применяют центриры с увеличением  $\Gamma = 1,4^x$  и  $\Gamma = 2,4^x$ , величины кругового рассеивания для них могут быть приняты равными соответственно 0,4 и 0,3 мм, а величина  $\eta$  равной 0,4 и 0,2 мм.

Для уменьшения влияния на результаты измерения углов погрешностей визирования при подборе визирных целей следует руководствоваться указаниями, данными в гл. VI.

Средние квадратические погрешности измерения углов одним приемом в условиях строительных площадок при соблюдении мер по ослаблению влияния погрешностей центрирования, редукции и визирования для предварительных расчетов количества приемов могут быть приняты для теодолитов типа Т2 равными 5", а для Т5—8". При этом минимальное количество приемов для обеспечения полевого контроля на станции должно равняться двум.

Для производства линейных измерений при создании планового обоснования применяют рулетки, длинномеры, проволоки, оптические дальномеры и светодальномеры.

Применяемые рулетки изготавливаются согласно ГОСТ 7502—80 по 2-му и 3-му классу точности. В табл. 7 приведены сведения о допусках для изготовления рулеток.

Характеристики наиболее часто встречающихся рулеток, применяющихся при выполнении инженерно-геодезических работ, приведены в табл. 8 [23].

Рулетки в основном изготавливают из стали 65Г с модулем упругости  $196,133 \cdot 10^5$  Па и коэффициентом линейного температурного расширения ( $\alpha = 1,2 \cdot 10^{-5}$  1/градус).

Таблица 7

Показатель допуска	Допуск, мм	
	2-й класс	3-й класс
Отклонения действительной длины интервала не должны превышать для интервалов:		
1 см	0,15	0,20
1 см	0,20	0,30
1 дм	0,30	0,40
более 1 м	$0,30+0,15(L-1)^*$	$0,40+0,20(L-1)$

\*  $L$  — длина отрезка рулетки, м.

Таблица 8

Характеристика рулеток	Тип рулеток				
	РЗ-20	РЗ-30	РЗ-50	РВ-50	РЛ-20
Длина, м	20	30	50	50	20
Цена деления, мм	1 или 10	1 или 10	1 или 10	1 или 10	1
Ширина ленты, мм	10	10	10	10	10
Толщина ленты, мм	0,22	0,25	0,25	0,25	0,25
Класс точности шкалы	2—3	2—3	2—3	2—3	3
Масса, кг	0,410	0,590	1,3	1,168	0,510

РЗ—рулетка в закрытом корпусе, РВ—рулетка на вилке, РЛ—рулетка с грузом.

Рулетки, предназначенные для измерений в сетях для строительства сооружений башенного типа, должны компарироваться на полевом компараторе «на весу». В процессе измерений вводят поправки за температуру, компарирование и наклон. Измерения пролетов выполняют между штативами с целиками либо между отвесами. Натяжение рулеток обеспечивается грузом или динамометром.

Однократное измерение пролетов «на весу» рулетками длиной 20, 30, 50 м может быть выполнено со средними квадратическими погрешностями соответственно 3; 4; 5 мм.

Измерение расстояний может также выполняться с помощью длиномеров.

Как показали детальные исследования длиномеров, выполненные на кафедре «Геодезия» МИИТа, ими целесообразно измерять расстояния от 50 до 500 м. При этом результаты могут быть получены с относительными ошибками около 1 : 20 000.

Длиномер состоит из эталонированного диска со счетным механизмом, тормозным устройством и рукояткой. При измерении расстояний между точками натягивают стальную проволоку диаметром 0,8 мм. Длину проволоки определяют посредством прокат-

ки по ней мерного диска и взятия отсчетов по счетчику. Концы измеряемой линии при этом фиксируют шкалами, укрепленными на проволоке. Измерение линии в одном направлении считается одним полуприемом.

Длину измеренной линии вычисляют по формуле [23]

$$S = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (N_{Bi} - N_{Ai} + n_{Ai} + n_{Bi}) + C + \Delta_R + \Delta_t + \Delta_F,$$

где  $m$  — число полуприемов;  $C$  — постоянная прибора (расстояние между фиксаторами);  $\Delta_R$ ,  $\Delta_t$ ,  $\Delta_F$  — поправки за компарирование мерного диска, температуру, за провес проволоки;  $N_A$  и  $N_B$  — отсчеты по счетчику;  $n_A$  и  $n_B$  — отсчеты по шкалам.

Компарирование длиномера выполняют на базисе длиной 150 м, предварительно измеренном проволоками с относительной ошибкой порядка 1 : 75 000 ÷ 1 : 100 000;

$$\Delta_R = (N_B - N_A) \left( \frac{b}{N_B - N_A} - 1 \right),$$

где  $b$  — длина базиса;

$$\Delta_t = \alpha (N_B - N_A) (t - t_0),$$

где  $\alpha$  — коэффициент линейного расширения проволоки;  $t$  — температура мерного диска при измерении линии;  $t_0$  — температура компарирования.

$$\Delta_F = \Delta_f \cos^2 v;$$

$$\Delta_f = - \frac{8f^2}{3(N_B - N_A)};$$

где  $v$  — угол наклона измеряемой линии;  $f$  — стрелка провеса проволоки.

В измеренную линию вводится поправка за приведение к горизонту, вычисляемая по известным формулам

$$\Delta_h = \frac{h^2}{2S} - \frac{h^4}{8S^3};$$

$$\Delta_h = 2S \cdot \sin^2 \frac{v}{2},$$

где  $h$  — превышение между концами мерного прибора.

При производстве измерений с большей точностью используют базисные комплекты проволок БП-1, БП-2, БП-3.

Если при построении геодезической основы не требуется высокая точность линейных измерений, могут быть применены оптические дальномеры.

Оптические дальномеры изготавливаются в виде самостоятельных приборов, к которым относятся Д2, ОТД и насадки на теодолиты

с постоянными углами ДН-10, ДНР-5, ДНР-06, ДН-04, насадки с постоянной базой и переменными углами ДН8, ДНО8.

Вышеуказанными дальномерами расстояние в 100 м может быть измерено с относительными ошибками от 1:1000 до 1:5000. Цифры, указанные в обозначении дальномера, характеризуют ошибку, выраженную в сантиметрах при измерении расстояния в 100 м.

При создании геодезических сетей для строительства крупных сооружений башенного типа для линейных измерений могут широко применяться отечественные и зарубежные светодальномеры.

Сведения о светодальномерах, которые могут быть использованы для этой цели, даны в табл. 9 [23, 36].

Таблица 9

Название или обозначение прибора	Страна-изготовитель	Диапазон измерений, м	Средняя квадратическая погрешность измерения, мм	Время измерения расстояния, мин	Напряжение источника питания, В	Диапазон допустимых углов наклона, градус	Температурный диапазон, °С	Масса прибора, кг
2СМ2	СССР	2—2000	20	2	12	±25	±40	22
СМ3	СССР	20—2000	30	10	15	±15	-40—+50	27
МСД-1М	СССР	До 500	2+5 D <sub>км</sub>	8	15	-45+ +90	-10—+40	27
ДК-001	СССР	2—300	2	10	12	—	-30—+40	—
ЕОК 2000	ГДР	0,3—2000	10	2	12	±40	-25—+45	16
ЕОТ 2000	ГДР	0,2—2000	10	0,2	12	—	-25—+45	11

Расстояния в сетях могут измеряться параллактическим методом. На рис. 18 показаны некоторые типы параллактических звеньев, которые целесообразно применять при измерении в данных сетях.

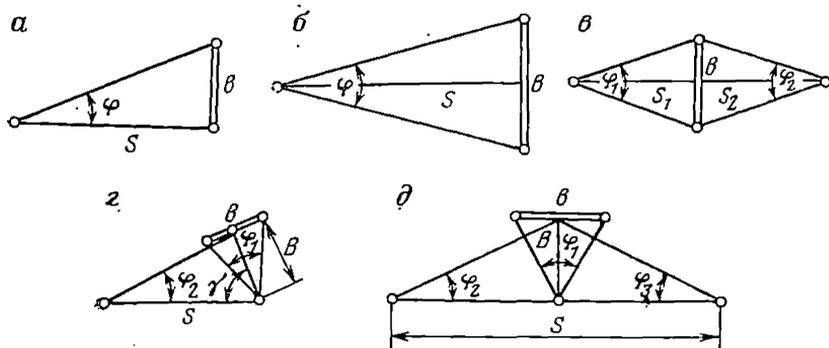


Рис. 18 Типы параллактических звеньев

Вычисление расстояний и оценка их точности производятся по следующим формулам [36]:

1. Звено, рис. 18, а:

$$\left(\frac{m_S}{S}\right)^2 = \left(\frac{m_b}{b}\right)^2 + \left(\frac{m_\varphi}{\varphi}\right)^2;$$

$$S = b \operatorname{ctg} \varphi.$$

2. Звено, рис. 18, б: Оценка точности по той же формуле, что и для звена «а».

$$S = (b/2) \operatorname{ctg} \frac{\varphi}{2}.$$

3. Звено, рис. 18, в:

$$S = S_1 + S_2 = b/2 \left( \operatorname{ctg} \frac{\varphi_1}{2} + \operatorname{ctg} \frac{\varphi_2}{2} \right);$$

$$\left(\frac{m_S}{S}\right)^2 = \left(\frac{m_b}{b}\right)^2 + \frac{1}{2} \left(\frac{m_\varphi}{\varphi}\right)^2.$$

4. Звено, рис. 18, г:

$$B = (b/2) \operatorname{ctg} \frac{\varphi_1}{2}; \quad S = B \frac{\sin(\gamma + \varphi_2)}{\sin \varphi_2},$$

при  $\gamma \approx 90^\circ$

$$m_S^2 = \frac{S^2}{b^2} m_b^2 + \frac{m_\varphi^2}{\rho^2} \left( \frac{S^2 B^2}{b^2} + \frac{S^4}{B^2} \right).$$

5. Звено, рис. 18, д:

$$S = b \operatorname{ctg} \frac{\varphi_1}{2} (\operatorname{ctg} \varphi_2 + \operatorname{ctg} \varphi_3) = B (\operatorname{ctg} \varphi_2 + \operatorname{ctg} \varphi_3);$$

$$m_S^2 = \frac{S^2}{b^2} m_b^2 + \left(\frac{m_\varphi}{\rho}\right)^2 \left[ \frac{B^2 S^2}{b^2} + \frac{S^4}{8B^2} \right].$$

В качестве базиса целесообразно применять горизонтальные жезлы длиной 2 и 3 м. Такие жезлы выполняются из инварного стержня, заключенного в защитный корпус, или из инварной ленты или проволоки, натянутой внутри защитного корпуса. На жезлах укрепляются уровень для приведения его в горизонтальное положение и визирное устройство для установки жезла перпендикулярно к измеряемой линии. В настоящее время имеется опыт применения жезлов из волокнистого углепластика (карбопласта) [22], обладающего низким коэффициентом линейного расширения.

Базис в параллактическом звене может быть принят и большей длины. Его удобно делать примерно равным длине мерного прибора 10, 20 или 24 м.

Для этого на концах базиса устанавливают штативы с целиками, между которыми измеряют расстояние рулеткой, инварной лентой или проволокой.

Параллактические углы измеряют теодолитами типа Т2. Для ослабления влияния ошибок делений лимба углы измеряют на специально подобранной части лимба, где ошибки делений минимальны.

Компарирование базисных жезлов выполняют на полевом компараторе, длина которого соответствует длине параллактических звеньев.

При создании высотного обоснования используют нивелиры типа Н-3 и рейки РН-03. В тех случаях, когда высотное обоснование проектируется не только для обеспечения строительства, но и для наблюдений за осадками башенных сооружений (см. гл. VI), нивелирование может выполняться с большей точностью (с применением нивелиров типа Н-05 и реек РН-05).

Поверки и исследования нивелиров и реек производят в соответствии с указаниями инструкции по нивелированию I, II, III и IV классов. В табл. 10 приведены данные о применяемых нивелирах.

Таблица 10\*

Марка прибора	Страна-изготовитель	Увеличение зрительной трубы, крат	Наименьшее расстояние визирования, м	Цена деления цилиндрического уровня, с	Чувствительность компенсатора, с	Диапазон работы компенсатора, мин	Масса прибора, кг
Н-1	СССР	49	4,2	8—10	—	—	6,9
Н-2	СССР	40	2,0	10	—	—	6,0
Н-3	СССР	30	2,0	15	—	—	2,0
Нс-3	СССР	30	2,0	—	1,0	10	2,5
Нс-4	СССР	30	2,0	—	1,5	15	1,9
Ni-004	ГДР	22	3,0	10	—	—	6,2
Ni-002	ГДР	40	1,5	—	0,05	10	6,5
Ni-007	ГДР	31,5	2,2	—	0,5	10	3,9
Ni-025	ГДР	20	1,5	—	0,4	8	2,3
Ni-A3	ВНР	30—50	2,0	—	0,1—0,2	6	4,2
Ni-B6и	ВНР	28—32	3,0—5,0	—	0,4	8	2,3
Ni-B3							

\* Данные взяты из книги: *Васютинский И. Ю., Рязанцев Г. Е., Ямбаев Х. К.* Геодезические приборы при строительномонтажных работах. М., Недра, 1982.

## § 12. Особенности уравнительных вычислений

Поскольку теория уравнивания геодезических сетей подробно изложена в [2, 8, 36], в данном параграфе этот вопрос не рассматривается. В вышеуказанных работах читатель может найти примеры уравнивания сетей, аналогичных создаваемым при строительстве сооружений башенного типа.

В связи с этим ниже даются общие рекомендации по выбору методов уравнивания в зависимости от избранной схемы сети и методов измерений.

В данном случае сети геодезического обоснования уравниваются как свободные относительно начального пункта, в качестве которого принимают пункт в центре сооружения либо один из пунктов, координаты которого вычислены в строительной системе координат. Одно из направлений также принимают в качестве исходного.

Поскольку в сетях измеряются и разнородные величины, для их совместного уравнивания целесообразно, чтобы среднее численное значение всех весов было близким к единице; поэтому в сетях для строительства сооружений башенного типа следует выражать угловые величины в секундах, а длины сторон в сантиметрах.

В тех случаях, когда для создания сети используют метод триангуляции, для уравнивания наиболее удобным оказывается коррелятный способ.

Общее число условных уравнений будет равно [8]:

$$N = n - 2(p - 2) + (c - 1),$$

где  $n$  — число всех измеренных в сети углов;  $p$  — число всех пунктов;  $c$  — число базисов.

В свободной сети триангуляции возникают условия фигур, горизонта и полюсов. При измерении нескольких базисов возникают базисные условия.

Количество отдельных видов этих уравнений можно подсчитать по формулам:

$$\begin{aligned} f &= L - m + 1; \\ g &= r; \\ d &= L + l - 2m + 3; \\ b &= c - 1, \end{aligned}$$

где  $f$  — число условий фигур;  $g$  — число условий горизонта;  $r$  — число пунктов, на которых измерен горизонт;  $d$  — число условий полюсов;  $b$  — число базисных условий;  $L$  — число линий в сети, на которых наблюдались прямые и обратные направления (сплошные линии на схеме сети);  $l$  — число линий в сети, на которых наблюдались односторонние направления (несплошные линии на схеме сети).

Свободные члены уравнений сравнивают с допустимыми.

Допустимые значения свободных членов вычисляют по формулам [8]:

$$\begin{aligned} W_{f,ig} &\leq 2,5\mu \sqrt{n}; \\ W_d &\leq 2,5\mu \sqrt{\sum_{i=1}^n \Delta_i^2}; \end{aligned}$$

$$W_b \leq 2,5 \sqrt{\mu^2 \sum_{i=1}^n \Delta_i^2 + 2m_{lg b}^2}$$

где  $W_{f,lg}$  — свободные члены условий фигур или горизонта;  $W_d$  — свободный член полюсного условия;  $W_b$  — свободные члены базисных условий;  $\mu$  — принятая для данной сети средняя квадратическая погрешность измерения угла;  $\Delta_i$  — изменение логарифмов синусов связующих углов при их изменении на 1 (в единицах 6-го знака логарифмов);  $m_{lg b}$  — средняя квадратическая погрешность в логарифме длины базиса (в единицах 6-го знака логарифма).

При производстве уравнильных вычислений должна быть предусмотрена оценка точности наиболее слабых элементов из числа используемых при последующих геодезических работах для выноса в натуру центра сооружения, контроля рабочей технологической основы, наблюдений кренов и т. п.

Как правило, оценивают один-два элемента сети. Обратный вес функции этих элементов получают в результате решения системы нормальных уравнений. Среднюю квадратическую погрешность функции получают по формуле (28), а среднюю квадратическую погрешность единицы веса по результатам уравнивания — по формуле

$$\mu = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n V_i^2}{N}}$$

где  $V$  — поправки в углы;  $N$  — число условий.

Уравнивание опорной сети в виде линейно-угловой триангуляции целесообразно выполнять параметрическим способом. При уравнивании этим способом находят поправки в приближенные значения координат.

В координаты начального пункта и в значение исходного дирекционного угла поправки не вводят, поэтому в уравнениях поправок члены, содержащие поправки в эти элементы, принимают равными нулю.

Среднюю квадратическую погрешность уравненных углов находят по формуле

$$\mu = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n V_i^2}{n - k}}$$

где  $n$  — число поправок в углы;  $k$  — число независимых поправок в координаты пунктов;  $V_i$  — поправки в измеряемые углы.

Средняя квадратическая погрешность координат последнего уравненного пункта

$$m_x = \frac{\mu}{\sqrt{P_x}}$$

где  $P_x$  — преобразованный коэффициент при последнем неизвестном из схемы решения нормальных уравнений.

Системы трилатерации удобно уравнивать коррелятным способом. При этом число условий

$$N = n - 2p + 3,$$

где  $n$  — число измеренных линий;  $p$  — число пунктов сети.

В свободных сетях трилатерации возникают условия сумм углов и условия горизонта.

Число условий первого вида равняется числу независимых геодезических четырехугольников, а второго — числу центральных систем.

Допустимые значения свободных членов для этих условий вычисляются по формуле

$$W = 2 \sqrt{\sum_{i=1}^{n'} m_{\beta_i}^2},$$

где  $n'$  — число поправок, входящих в данное условное уравнение;  $m_{\beta}^n$  — средняя квадратическая погрешность вычисленного угла.

Значение  $m_{\beta}^n$  может быть вычислено по формуле, предложенной И. А. Кузузовым:

$$m_{\beta}^n = \frac{5}{4} \frac{m_s}{S} \rho,$$

где  $m_s$  — средняя квадратическая погрешность сторон;  $S$  — средняя длина сторон.

В тех случаях, когда сети создаются методами полигонометрии, уравнивание выполняют либо методом полигонов, либо узлов.

Аналогичные методы применяют при уравнивании высотной основы, когда она представлена сетью нивелирных ходов.

## Глава IV

### ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ ДЛЯ НУЛЕВОГО ЦИКЛА И ПРИ СОЗДАНИИ РАБОЧЕЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНОВЫ

#### § 13. Закрепление рабочих осей

Рабочие оси сооружений башенного типа выносятся в натуру от знаков планового обоснования и закрепляются знаками попарно с каждой стороны сооружения.

Закрепление осевых знаков вызвано необходимостью восстановления центра сооружения в процессе работ по мере изменения стадий строительства и для выбора исходного направления при производстве детальных разбивочных работ.

Исходные данные для выноса центра сооружения и точки закрепления одной из осей получают из решения обратной геодезической задачи по координатам пунктов планового обоснования и проектным координатам центра сооружения. Размещение точек закрепления основных осей производят по стройгенплану, увязывая их положение с ситуацией, проектом организации строительных работ, размещением оборудования и материалов на строительной площадке.

Вынос центра сооружения может выполняться следующими методами:

- угловой засечкой;
- полярным способом;
- прямоугольных координат (при использовании в качестве обоснования пунктов строительной сетки);
- створным методом (при расположении пунктов обоснования на продолжении осей сооружения).

Для постоянного закрепления осей используют грунтовые знаки, конструкция которых обеспечивает возможность выполнения от них разбивочных работ. Закладка знаков производится на глубину 50 см ниже глубины промерзания. К верхней части знака приваривается пластина размером  $150 \times 150$  мм, на которую выносятся ось сооружения.

Створные знаки, закрепляющие оси, следует устанавливать на расстоянии 0,4—1,0 высоты сооружения, расстояние между внутренними и внешними створными знаками рекомендуется принимать равным 0,2 высоты сооружения.

Все вынесенные знаки маркируются. Составляется схема с указанием привязок знаков к долговечным сооружениям. Для удобства работы строителей основные закрепленные оси переносятся на обноски и после устройства фундамента закрепляются на его конструкциях.

#### § 14. Геодезические работы при устройстве котлованов сооружений

Геодезическое обслуживание при производстве земляных работ состоит в перенесении на местность проектного контура котлована фундамента и днища бассейна (для градирен), в передаче отметок на дно котлована, в подсчете объемов земляных масс, в контроле за качеством работ.

Исходными геодезическими документами, содержащими разбивочные данные, являются рабочие чертежи, на которых указаны все параметры, определяющие положение элементов фундамента относительно центра сооружения и его главных осей.

Разбивку контура котлована выполняют способом полярных координат от центра сооружения, способом прямоугольных координат от створов, соединяющих внутренние знаки закрепления осей, способом вписанного многоугольника. (Подробно эти способы рассмотрены в § 16).

Вынесенные точки, определяющие границы контура котлована, закрепляются кольями через 3—5 м по окружности.

Согласно СНиП III-2—75 «Геодезические работы в строительстве», допустимые средние квадратические погрешности разбивочных работ при устройстве котлована определяются величинами:

$$m_B = 30''; m_S/S = 1/1000; m_h = 10 \text{ мм},$$

т. е. углы можно откладывать теодолитом Т30, расстояние измерять рулеткой без учета поправок за температуру и компарирование. Предварительное нивелирование поверхности можно производить нивелиром Н-10 с шашечной рейкой от пунктов высотной основы, которыми являются пункты строительной сетки.

По мере производства земляных работ с пунктов, закрепляющих основные оси сооружения, на дно котлована методом створной засечки переносится центр сооружения.

Высотные отметки на дно котлована передаются путем проложения замкнутого нивелирного хода IV класса по въезду в котлован. При разработке котлована способами, исключаяющими въезд транспорта, передача отметки на дно котлована осуществляется при помощи подвешенной рулетки.

Разбивка границ нижнего контура котлована осуществляется после выемки грунта до проектной отметки. Ошибки определения границ верхнего и нижнего контура котлована не должны превышать в плане и по высоте 5 см.

По окончании земляных работ производится исполнительная съемка.

По материалам нивелирования поверхности и исполнительной съемки производится подсчет объемов земляных работ путем разбивки объема выемки на элементарные объемы.

## § 15. Геодезические работы при укреплении оснований

Укрепление оснований выполняется с целью увеличения их прочности, уменьшения водопроницаемости и ослабления чувствительности к изменениям внешней среды. При строительстве сооружений башенного типа применяют механические и физико-химические способы укрепления грунтов.

При механических способах основания укрепляют посредством погружения железобетонных и металлических свай или устройства буронабивных свай.

Физико-химическими способами основания укрепляют в основном посредством силикатизации, цементации, битумизации, смолизации грунтов.

При устройстве свайных оснований в зависимости от вида сооружения, его массы, места приложения нагрузок сваи могут располагаться в виде рядов, кустов и свайных полей.

В состав геодезических работ входят:

1. Геодезические работы по обеспечению динамических и статических испытаний свай.

2. Разбивка и закрепление на местности главных и основных осей сооружения.
3. Контрольное нивелирование дна котлована, вынос в натуру и закрепление отметок верха свай.
4. Разметка положения отдельных свай, контрольные измерения в процессе их погружения и установки.
5. Исполнительные съемки свайных полей, свайных ограждений.
6. Контрольные измерения при сдаче свай заказчику и проектной организации.

Испытания свай производятся при изысканиях, в процессе погружения и при сдаче свайного законченного основания. Цель этих испытаний — исследование неоднородности свойств пород в пределах сооружения, определение несущей способности свай и уточнение их длины. В том случае, когда испытание свай производят методом динамических нагрузок, используют оборудование, применяемое при забивке свай. Определяют число ударов молота на каждый метр погружения и величину отказа (величину погружения от одного удара). Величину перемещения сваи в процессе испытаний определяют или при помощи отказомера, или нивелированием. Для получения надежных результатов величины перемещений необходимо определить со средней квадратической погрешностью 1 мм.

При производстве нивелирования необходимо принять меры к тому, чтобы сотрясения, возникающие при работе молота, не оказывали влияния на нивелир. Для этого нивелир нужно устанавливать на расстоянии не менее 20 м от забиваемой сваи, надежно закрепив ножки штатива. При нивелировании следует избегать установки рейки на верхний торец сваи, так как вследствие его деформации от ударов молота трудно обеспечить постановку рейки в одних и тех же точках. Следует на свае делать сбоку риску или закрепить на ней небольшой штырь диаметром 3—4 мм для установки рейки. В некоторых случаях, когда определяется отказ сваи, конец которой на несколько метров выше поверхности земли, можно наклеивать на ней специальные шкалки для отсчитывания. На некотором расстоянии от нивелира выбирают твердую точку, относительно которой ведут наблюдения во время испытаний.

Значение смещения свай после каждого цикла ударов молота вычисляют по формуле:

$$\Delta l_i = a_i - b_i - a_{i+1} + b_{i+1},$$

где  $a_i, a_{i+1}$  — отсчеты по рейке на твердой точке в начале и в конце цикла;  $b_i, b_{i+1}$  — отсчеты по рейке на свае в начале и в конце цикла.

В некоторых случаях наблюдения ведут без твердой точки, беря отсчеты только по рейке на свае, тогда смещение сваи находят по разностям отсчетов

$$\Delta l_i = b_{i+1} - b_i.$$

В процессе измерений необходимо следить при работе молота за постоянством положения пузырька цилиндрического уровня. Однако следует отметить, что этот метод менее надежен, так как не позволяет достаточно уверенно судить о неизыблемости нивелира. Данные, получаемые при статических испытаниях свай, обладают большей достоверностью. Этот метод заключается в постепенном нагружении свай статической нагрузкой при одновременных наблюдениях за ее осадкой.

Наблюдения производят после каждой очередной нагрузки до затухания осадки, т. е. до того момента, когда средняя скорость достигнет величины 0,1 мм за последние 2 ч. Наблюдения ведут через следующие интервалы: в первый час через 15 мин, во второй через 30 мин и далее через 1 ч.

Для обеспечения необходимой точности наблюдений при статических испытаниях необходимо применять нивелиры с плоскопараллельной пластинкой, расстояние от нивелира до сваи и опорной точки выдерживать в пределах 6—10 м. Кроме того, целесообразно на наблюдаемой свае и опорной точке закрепить специальные реперы с головкой в виде шаровой поверхности для постановки реек.

Вынос в натуру основных осей перед забивкой свай осуществляется в соответствии с требованиями СНиП III-2—75 «Геодезические работы в строительстве».

Перед погружением свай необходимо выполнить контрольное нивелирование дна котлована. При этом следует иметь в виду, что удаление недобранного до проектной отметки грунта после забивки свай является достаточно трудоемким процессом.

Поэтому по результатам контрольного нивелирования должна быть своевременно произведена окончательная зачистка дна котлована. После этого выносятся отметка верха свай.

При разметке свай, выполняемой посредством промеров рулетки от лески или проволоки, натянутой вдоль оси, определяется положение каждой сваи, которое закрепляется колом или металлическим штырем. Как правило, эту работу выполняет мастер или бригадир.

Ниже приведены установленные СНиП III-9—74 «Основания и фундаменты» допускаемые отклонения в положении свай.

Тип свай, шпунта	Допускаемые отклонения
Сваи и шпунт, применяемые в качестве ограждения котлованов	150 мм
Забивные сваи при устройстве фундаментов:	
а) при однорядном расположении:	
в поперечном направлении	0,2d*
в продольном направлении	0,3d
б) при двух- и трехрядном расположении ряда:	
для крайних свай ряда в поперечном направлении	0,2d
для остальных свай в любом направлении	0,3d

в) для сплошных свайных полей:	
для крайних свай . . . . .	0,2d
для средних свай . . . . .	0,4d
Полые круглые сваи диаметром 0,5—0,8 м	
при ленточном расположении:	
в поперечном направлении . . . . .	100 мм
в продольном направлении . . . . .	150 мм
Одиночные круглые сваи под колонны . . . . .	80 мм

\* d—диаметр круглой сваи или меньшая сторона прямоугольной сваи.

По каждой свае, имеющей отклонения, превышающие допуски, должно быть принято решение, согласованное с проектной организацией.

После окончания работ по погружению свай производится исполнительная съемка.

При этом геодезические измерения должны выполняться методами, обеспечивающими получение положения свай с предельной ошибкой, не превышающей 0,1 отклонений, указанных выше.

Для определения фактического положения свай чаще всего применяют створный метод и метод бокового нивелирования.

Измерения при этом выполняют в следующей последовательности:

а) закрепляют вспомогательную ось, параллельную разбивочной оси ряда и смещенную на удобную для измерений величину 0,3—1,0 м;

б) на одном конце вспомогательной оси устанавливают теодолит, а на другом — визирную цель (отвес, марка, гвоздь, штырь);

в) получают положение свай в поперечном направлении посредством отсчетов по горизонтальной реечке, пятку которой прикладывают последовательно к каждой свае.

В продольном направлении положение свай получают посредством промеров рулеткой от разбивочных осей фундамента до центра сваи.

Материалы съемки оформляют в виде чертежа, выполненного в масштабе проекта, на котором стрелками показывают направление отклонения каждой сваи и величину его в миллиметрах.

При производстве работ по силикации в грунт через скважины или инъекторы вводят растворы жидкого стекла и хлористого кальция, в результате чего частицы грунта связываются в монолит, обладающий высокой прочностью и водонепроницаемостью.

Этот способ применяется для увеличения несущей способности грунтов под башнями, а также с целью ограждения фундамента от притока грунтовых вод.

Радиус закрепления вокруг одного инъектора (скважины) находят по известной формуле

$$R = 0,25 \sqrt[3]{k} \text{ , м,} \tag{33}$$

где  $k$  — коэффициент фильтрации грунта, м/сут.

Расстояние между рядами инъекторов принимают равным  $l_1 = 1,5R$ , а расстояние между инъекторами в ряду  $l_2 = 1,73R$ .

При производстве работ по цементации заполняют трещины, пустоты и поры в породах цементным раствором, нагнетаемым через скважины под высоким давлением.

Хорошие результаты получают при проведении цементации в скальных и полускальных породах с трещинами более 0,1 мм при скорости течения подземных вод, менее 300 м/сут, а также при цементации гравийно-галечниковых пород с размерами пор не более 1—2 мм.

Цементацию не применяют при наличии агрессивных вод, а также в песках, пльвунах, илах и глинах.

При битумизации в грунт через скважины нагнетают битум. Этот способ применяют при закреплении крупнопористых и трещиноватых пород независимо от агрессивности подземных вод. Способ неприменим в несвязных грунтах.

При смолизации в породы через инъекторы вводят водные растворы смолы с отвердителем, в результате чего грунт прочно закрепляется и приобретает водонепроницаемость и морозостойчивость. Способ применяют для закрепления сухих и водонасыщенных песчаных грунтов. При закреплении грунтов этим способом расстояния между инъекторами определяют по формуле (33).

Геодезические работы в период проведения изысканий для закрепления грунтов включают:

- 1) создание топографического плана необходимого масштаба;
- 2) геодезические измерения при проведении геологических и гидрогеологических испытаний;
- 3) геодезические измерения при опытных работах по закреплению грунтов.

При проектировании химического закрепления используют план площадки в масштабе 1 : 200, который составляется путем увеличения топографического плана масштаба 1 : 500.

На этом плане показывают контуры зданий, все разведочные выработки, а также все выработки, использованные для проведения полевых гидрогеологических и геологических испытаний.

Все подземные коммуникации наносятся по уточненным данным по результатам шурфования. На плане по данным контрольного нивелирования подписывают отметки верха колодцев, лотков труб до миллиметров, отметки кабелей до сантиметров. Вблизи площадки за пределами зоны возможных осадков и деформаций закрепляют два-три репера, которые привязывают к высотной сети и используют в качестве исходных для проведения нивелирных работ.

Отметки геологических скважин должны быть получены с предельными погрешностями не более 10 мм, а отметки скважин, используемых для определения уровня грунтовых вод, коэффициентов фильтрации, скорости движения воды, — с предельной погрешностью не более 5 мм относительно исходных реперов.

Все скважины, колодцы и камеры подземных коммуникаций в

плане привязывают к существующим зданиям линейными засечками. В случае, если площадка расположена на большем расстоянии от здания, прокладывают теодолитный ход между ближайшими пунктами геодезической сети, к которому привязывают вышеупомянутые выработки и подземные коммуникации. Опытные полевые работы по закреплению грунтов проводят посредством нагнетания закрепляющих растворов через скважины или инъекторы в двух-трех точках. После того как закрепление окончено, в этих точках проходят шурфы, отбирают пробы закрепленного грунта и выполняют геодезические работы по привязке этих выработок в плане и по высоте.

В отдельных случаях проводят опытные закрепления целого массива для более полного изучения распространения раствора в грунте, исследования плотности закрепления и несущих способностей массива.

После вскрытия опытного массива в целях изучения распространения закрепляющих растворов производят его детальную съемку. Микрорельеф изображают линиями равного удаления от осей инъекторов, которые проводят через 5—10 см, а положение инъекторов — пунктирными линиями.

Геодезические работы при выносе в натуру проектов химического закрепления состоят из разбивки на местности основных осей, контуров закрепленных массивов, положения инъекторов и контрольных скважин.

В большинстве случаев основные оси и контуры закрепляемых массивов выносят в натуру по привязкам к существующим сооружениям, используя простейшие методы разбивок (линейные засечки, способ перпендикуляров, полярный способ и т. п.). Как правило, предельные ошибки разбивочных работ не должны превышать 5 см относительно исходных сооружений или ближайших пунктов геодезического обоснования.

Величину предельной ошибки разбивки инъекторов относительно осей массива  $\Delta$  принимают такой, чтобы она не оказывала существенного влияния на сплошность массива:

$$\Delta = 0,2R(1 - k)^*, \quad (34)$$

где  $R$  — радиус закрепления грунта;  $k$  — коэффициент запаса, обычно принимаемый 0,8.

Значения  $R$  определяют в зависимости от коэффициента фильтрации по формуле (33) или находят из соотношения\*\*:

Коэффициент фильтрации, м/сут	0,3—1	1—5	5—10	10—20	20—50
Радиус закрепления грунта, м	0,3—0,5	0,5—0,65	0,65—0,85	0,8—0,95	0,9—1,0

Основные оси и контуры массива закрепляют на местности металлическими штырями на бетоне, а ряды инъекторов — колья-

\* Формула предложена В. В. Бушем.

\*\* Основания и фундаменты. Под редакцией М. И. Смородинова. М., Стройиздат, 1976.

ми. На кольях фиксируют горизонт, от которого определяют глубины погружения инъекторов.

Положение в плане каждого инъектора разбивают на местности при помощи отложения рулеткой проектных расстояний в створе по каждому ряду.

## § 16. Геодезические работы при устройстве фундаментов и возведении нулевого цикла

Устойчивость высотных сооружений башенного типа в значительной мере зависит от качества исполнения фундамента.

Для большинства сооружений башенного типа устраиваются кольцевые фундаменты из сборного или монолитного железобетона. Подсилованная плита является основанием для сооружения силовос. Наиболее трудоемким и сложным является устройство фундаментной части монолитных железобетонных градирен.

Разбивка круговых элементов фундаментов сооружений, как и контуров котлованов под фундаменты, производится различными способами:

### 1. Способ вписанного многоугольника

Предварительно на местности выносят и закрепляют точки  $M$  и  $N$  главных осей сооружения (рис. 19). Длины хорд  $l$  и разбивоч-

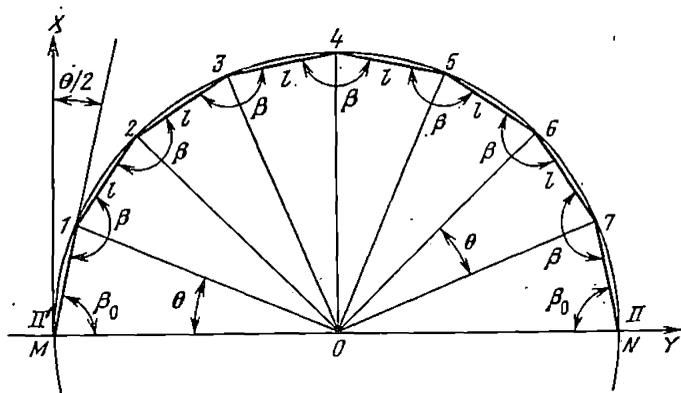


Рис. 19. Схема разбивки круговых фундаментов способом вписанного многоугольника

ные углы вычисляют по формулам

$$l = 2R \cdot \sin \frac{\theta}{2};$$

$$\beta = 180^\circ - \theta.$$

Углы при точках, закрепляющих главные оси, определяют по формуле

$$\beta_0 = 90^\circ - \frac{\Theta}{2}.$$

Для повышения точности разбивку способом вписанного многоугольника производят при длинах хорд не менее 50 м, для чего значения центральных углов принимают равными 3—5-кратному значению углов между рабочими осями.

Способ вписанного многоугольника удобен для применения в стесненных условиях строительной площадки.

## 2. Способ полярных координат от центра сооружения

Разбивку выполняют с помощью теодолита, устанавливаемого в центре сооружения, и мерной ленты или рулетки путем откладывания с заданным промежутком постоянного радиуса фундамента.

## 3. Способ прямоугольных координат от створов, соединяющих внутренние знаки закрепления осей (рис. 20)

При равных расстояниях  $S_i$  от центра сооружения до осевых знаков прямоугольные координаты  $X$  и  $Y$  разбиваемых точек вычисляются по формулам (35)—(37).

При разбивке от знака  $I$ , когда значение центрального угла  $\Theta_i$ , характеризующего положение выносимых точек на проектной окружности, возрастает:

$$\begin{aligned} \text{при } \Theta_i < 45^\circ \quad X_i &= R - R \sin(45^\circ - \Theta_i) + C; \\ \text{при } \Theta_i > 45^\circ \quad X_i &= R + R \sin(\Theta_i - 45^\circ) + C, \end{aligned} \quad (35)$$

При разбивке от знака  $II$ , когда значение угла  $\theta$  убывает:

$$\begin{aligned} \text{при } \Theta_j < 45^\circ \quad X_j &= R + R \sin(45^\circ - \Theta_j) + C; \\ \text{при } \Theta_j > 45^\circ \quad X_j &= R - R \cdot \sin(\Theta_j - 45^\circ) + C. \end{aligned} \quad (36)$$

Значение  $Y_{i,j}$  вычисляют по формулам

$$\begin{aligned} \text{для } \Theta < 45^\circ \quad Y_i &= 2R \sin^2 \frac{45^\circ - \Theta}{2} + C; \\ \text{для } \Theta > 45^\circ \quad Y_i &= 2R \sin^2 \frac{\Theta - 45^\circ}{2} + C. \end{aligned} \quad (37)$$

Постоянная  $C$  вычисляется по формуле

$$C = 0,70711S - R.$$

Согласно СНиП III-2—75 «Геодезические работы в строительстве», разбивочные работы при устройстве фундаментов производятся со следующими точностными характеристиками:

$m_B = 20''$ ;  $m_S/S = 1/5000$ ;  $m_h = 2$  мм,

что обеспечивается применением теодолитов Т15, стальных компарированных рулеток РК-50, РК-75 и нивелиров Н-3.

Установка опалубки или фундаментных блоков может выполняться по створам закрепленных точек с помощью нитяных отвесов. Нивелирование верха щитов опалубки (блоков) выполняется нивелиром, установленным в центре сооружения, или с точек высотного хода от временных рабочих реперов, закрепленных в непосредственной близости от сооружения, а на градириях — внутри ее контура.

В ходе бетонирования фундаментного кольца градирен особое внимание должно быть обращено на расположение стаканов под колонны градирен, закладных деталей и анкерных болтов.

После окончания бетонирования кольцевого фундамента на нем закрепляют рабочие оси путем заделки в фундамент стержней диаметром до 30 мм, верхний обрез которых выступает на 20—50 мм над поверхностью бетона. На боковых гранях фундаментного кольца или блоков выполняют откраску рабочих осей.

Оси для последующих монтажных работ или установки щитов опалубки выносят визированием по отложенным проектным углам между осями. Все последующие работы, связанные с устройством наклонной колоннады, сооружением опорного кольца на градириях, выполняют от осевых точек, отмеченных на фундаменте.

При строительстве труб выполненная откраска осей используется для монтажа первых ярусов опалубки.

При сдаче фундаментов под последующие виды работ (сооружение ствола трубы, монтаж наклонной колоннады и др.) к акту выполненных работ прилагаются акт геодезической разбивки фундамента и его исполнительная схема с указанием всех высотных реперов, осадочных марок и осевых штырей, заделанных в тело фундамента.

Установка опалубки для бетонирования основания водосборного бассейна градири производятся по сетке вспомогательных осей, разбиваемых по методу перпендикуляров параллельно главным осям сооружения.

Для установки наклонной колоннады градири на уровне чаши по створу рабочих осей с погрешностью, не превышающей 2 мм, металлическими стержнями закрепляют контрольные точки

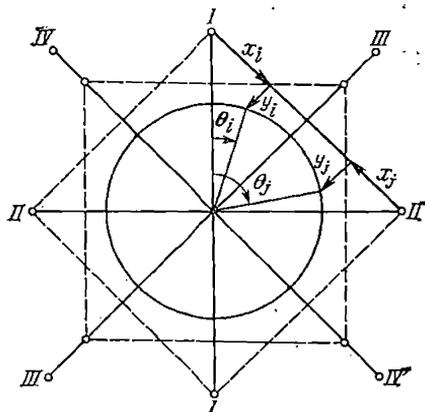


Рис 20. Схема разбивки круговых фундаментов способом прямоугольных координат

на расстоянии  $l$ , равном проекции внутренней грани колонны на горизонтальную плоскость (рис. 21).

Установку наклонных колонн производят с помощью монтажного кондуктора, положение элементов которого определяют по маркировочным рискам осей на колоннах и геометрическим осям стаканов колонн.

Оси симметрии колонн перед установкой маркируют в их верхней части. Установку колонн в тангенциальном направлении выполняют с помощью теодолита, ориентированного по створу рабочей оси, для задания которой используют откраску осей на фундаментах.

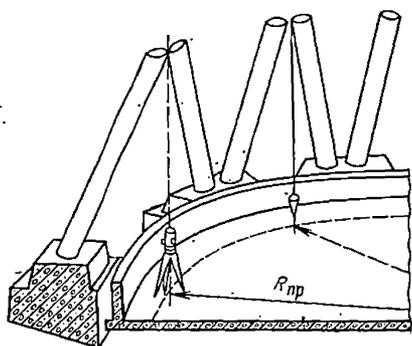


Рис. 21. Установка элементов наклонной колоннады градирни

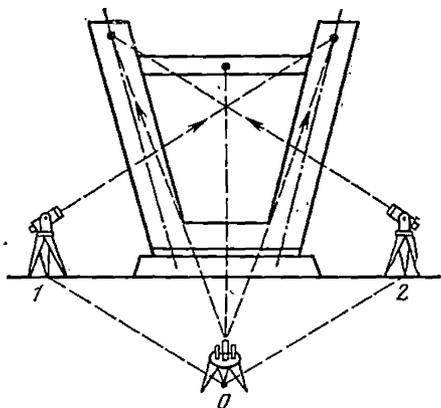


Рис. 22. Установка колоннады методом угловой засечки

Наклон колонн проверяется с помощью отвесов, закрепляемых на верхнем внутреннем ребре колонны на осях симметрии в контрольных точках. Для контроля радиального положения верха смонтированных элементов колоннады могут быть использованы приборы вертикального проектирования, устанавливаемые над контрольными точками (см. рис. 21). Положение внутренней грани колонны определяют с помощью рейки.

Контроль высотного положения верха колонн выполняется с помощью подвешенной рулетки или тригонометрическим нивелированием.

Может быть также использован при соответствующей маркировке колонн метод угловых засечек (рис. 22) с использованием теодолитов, установленных над центром башни в точке  $O$  и над точками рабочего обоснования  $1$  и  $2$ . Разбивочные данные легко вычисляются аналитически по рабочим чертежам с учетом исполнительной съемки положения пунктов рабочего обоснования.

Монтаж железобетонных блоков опорного кольца выполняют по установочным рискам на ригелях, фиксирующих величины пло-

щадок опирания. Для установки плоскости опорного кольца на оголовках колонн устраивают маяки из бетона.

После замоноличивания опорного кольца с помощью отвесов или приборов вертикального проектирования выполняют плановую исполнительную съемку положения кольца. Для нивелирования плоскости верха кольца нивелир устанавливают на площадке башенного крана, шахтного подъемника, светофорной мачты и т. п.

По окончании строительных работ по сооружению нулевого цикла рабочие оси методом наклонного проектирования выносятся от центра сооружения и от внешних точек закрепления рабочих осей при двух кругах теодолита и закрепляются откраской или наклейкой визирных марок на бетон с внешней и внутренней сторон кольца.

При контроле высотного положения дна котлована, щитов опалубки, элементов колоннады и опорного кольца могут быть использованы лазерные нивелиры и приборы вертикального проектирования с разверткой луча в горизонтальную плоскость. Для повышения точности высота лазерного луча или плоскости над контролируемой поверхностью должна быть минимальной.

При сдаче выполненного опорного кольца к акту прилагаются материалы исполнительной съемки, в которых указываются фактические расстояния от центра сооружения до бетонных блоков, отметки верха и величины площадок опирания.

## § 17. Рабочая технологическая основа

Рабочая технологическая основа на строительстве сооружений башенного типа создается после завершения работ нулевого цикла. Созданию рабочей технологической основы для возведения оболочек градирен и стволов дымовых труб предшествует закрепление радиальных осей сооружения.

Размещение знаков рабочей основы должно обеспечивать возможность переноса их планового положения на монтажный горизонт методом вертикального проектирования в любой момент возведения сооружения.

Расположение точек рабочей технологической основы должно обеспечивать взаимную увязку, контроль их положения от центра сооружения и основных осей за его пределами, а также возможность быстрого восстановления в случае утраты.

Конструкция знаков должна предусматривать возможность использования механических отвесов и оптических приборов вертикального проектирования, обеспечивая оперативность установки последних над знаками и удобство работы в условиях строительства.

Геодезический контроль за положением всех типов опалубки при возведении оболочек вытяжных башен градирен осуществляется от группы опорных точек, выполненной в виде радиально-кольцевой базисной сети. Точки рабочего обоснования располагаются на окружностях различных радиусов с центром, совпадаю-

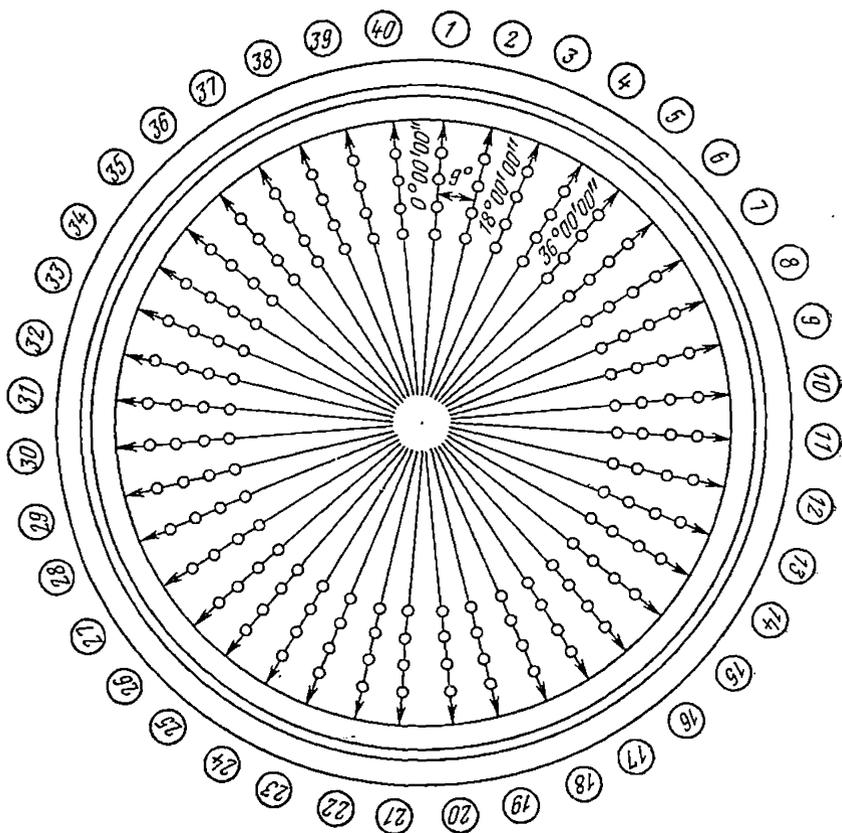


Рис. 23. Схема размещения точек рабочего обоснования для строительства башенной градирни

щим с центром градирни. Типовая схема размещения точек рабочего обоснования представлена на рис. 23. Точки базисной сети закрепляются по направлениям радиусов-векторов. Количество радиусов, по которым закрепляются точки рабочего обоснования, зависит от габаритов градирни и соответствует количеству используемых секций опалубки или домкратных рам. При возведении градирен в скользящей опалубке с числом домкратных рам более 50 рабочее обоснование создается только по четным радиусам-векторам.

Радиусы окружности, по которым располагаются точки, назначаются из условия применения при контроле движения опалубки начальных частей рек РН-3 и РН-4 длиной 1,5 или 2 м соответственно. Число окружностей вычисляется по формуле

$$n = \frac{R_{\max} - R_{\min}}{l},$$

где  $R_{\max}$  и  $R_{\min}$  — радиусы оболочки градирни;  $l$  — рабочая длина используемой рейки, равная 1100 или 1600 мм, с округлением  $n$  до ближайшего большего целого числа.

Для уменьшения объема работ по закладке рабочей основы при сооружении градирен высотой свыше 100 м расстояние между точками допускается устанавливать равным 4—5 м.

Разбивка рабочего обоснования выполняется теодолитом путем отложения проектных углов между рабочими осями, значения которых для типовых сооружений составляют  $6^\circ$ ,  $7^\circ 12'$ ,  $9^\circ$  и  $12^\circ$ .

Направления радиусов задают от начального, расположенного по створу главной оси, с обязательным замыканием горизонта инструмента. Абсолютные отметки точек определяются геометрическим нивелированием от исходного репера. В дальнейшем отметки точек, закрепляющих главную ось, используются как исходные для передачи высот на рабочий пол.

Конструкция знаков рабочего технологического обоснования, бетонируемых на уровне чаши бассейна градирни, должна обеспечивать их устойчивость на период производства строительных работ по возведению оболочки и не препятствовать процессу строительного-монтажных работ внутри контура градирни. Металлические сердечники знаков обычно выполняются из арматурных стержней различного сечения длиной 250—300 мм и устанавливаются в шпур, места сверления которых предварительно определяются. На бетонной поверхности бассейна в местах закладки знаков выполняется окраска, а сами знаки защищаются металлическими крышками.

После закрепления знаков рабочего обоснования выполняются контрольные измерения. Отклонение измеренных значений расстояний  $S$  между знаками от проектного не должно превышать значений, вычисленных по формуле

$$\Delta S = \frac{S}{T},$$

где  $T$  — знаменатель предельной относительной погрешности, с которой выполнялась разбивка положения знаков.

В случае недопустимых отклонений положения точек рабочего обоснования выполняется их редуцирование.

По результатам контрольных измерений составляют исполнительную схему, на которой указывают величины отклонений положения знаков по радиусам и фактические абсолютные отметки.

После завершения работ по построению рабочего обоснования схема размещения знаков доводится до сведения всех ИТР участка, а сами знаки рабочего обоснования должны быть переданы по акту производителю работ.

При возведении дымовых труб и копров для определения положения щитов скользящей и подъемно-переставной опалубки применяют метод контроля по одной или двум точкам рабочего технологического обоснования.

Метод контроля по одной точке используется при возведении ствола трубы в подъемно-переставной опалубке с использованием центральной ячейки шахтного подъемника для геодезических наблюдений.

При возведении труб в скользящей опалубке шахтный подъемник отсутствует, опалубка может подвергаться кручению, вследствие чего рабочее обоснование должно состоять из двух пунктов, закрепленных внутри сооружения по одной из его основных осей (см. рис. 22). Расположение их выбирается с учетом сохранности на весь период строительства и возможности производства геодезических работ в любое необходимое время. Расстояние каждого пункта от центра не должно превышать минимального проектного радиуса сооружения.

Конструкция знаков рабочего обоснования должна обеспечивать их жесткость, устойчивость и оперативность работы при наблюдениях за положением элементов опалубки. Наиболее приемлема в условиях строительства установка трубного знака диаметром 200—250 мм с закладкой бетонного якоря на глубину, превышающую глубину промерзания.

Для повышения скорости геодезических работ отверстие для станového винта в верхней части знака должно иметь диаметр, обеспечивающий принудительное однозначное центрирование инструмента.

Контроль положения знаков рабочего обоснования обеспечивается визированием по створу с пунктов закрепления главных осей, что требует обеспечения видимости между створными пунктами.

Количество и места расположения закрепленных точек рабочего обоснования для строительства надшахтных копров зависят от высоты и конфигурации копра. Как правило, при возведении копров в шахтной части закрепляют два-три, а в лифтовом отделении один-два знака консольного типа, позволяющие производить центрирование зенит-прибора.

## *Глава V*

### *ГЕОДЕЗИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СТРОИТЕЛЬСТВА И МОНТАЖА БАШЕН*

#### **§ 18. Геодезические работы при монтаже опалубочного оборудования**

Возведение наземной части башенных сооружений начинается с проверки точности геометрических параметров ранее выполненных конструкций.

До начала монтажа опалубочного оборудования (независимо от предполагаемого к использованию его типа) оформляется акт готовности фундамента или плиты основания стен сооружения; включая наклонную колоннаду и опорные кольца для градирен,

т. е. всех элементов и частей нулевого цикла (рис. 24). При приемке нулевого цикла особое внимание обращается на его готовность в соответствии с проектом, подтвержденную необходимой технической документацией. К акту приемки наряду с рабочими чертежами прикладываются следующие исполнительные материалы, подготовленные геодезической службой подрядчика:

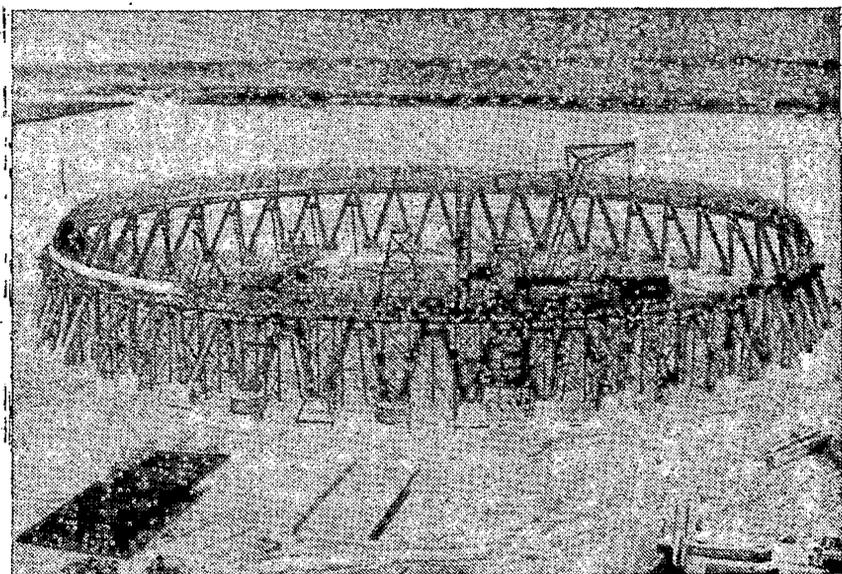


Рис. 24. Возведение наклонной колоннады и нижнего опорного кольца башенной градири площадью орошения 100 тыс. м<sup>2</sup>

а) акт на закрепленные центр и оси сооружения (с указанием способа закрепления) со схемой привязки центра и осей к геодезическому обоснованию;

б) схемы расположения створных и ориентирных знаков, фиксирующих главные оси сооружения или предназначенных для наблюдения за деформациями башен и их конструкций;

в) акт на установку и закрепление на местности исходных реперов с исполнительной схемой их расположения в плане, указанием отметок и чертежами конструкции реперов;

г) исполнительная схема фундамента с указанием высотных отметок и геометрических размеров, а также развертка и план расположения выпусков арматуры из фундамента;

д) схемы расположения осей стен сооружения, вынесенные на фундаментную плиту или перекрытия.

Указанные документы являются исходными для разбивочных работ по монтажу элементов опалубочного оборудования.

Как правило, установка опалубки ведется от закрепленного центра сооружения и знаков рабочего технологического обоснования. В случае, если для этой цели используются и пункты внешнего обоснования, положение вынесенного центра должно быть проверено, с тем чтобы избежать при возведении сооружения эксцентриситета нагрузки, вызванного смещением тела сооружения от геометрического центра фундамента за счет погрешности выноса центра. Отклонения в положении центра не должны превышать 2 мм. Аналогичное требование предъявляется и к точности совмещения центра кондукторов, используемых для установки опалубки. Центр кондуктора механически или с помощью отвеса совмещают с рабочим знаком, закрепляющим центр сооружения.

Геодезические работы, включающие плановую и высотную установку элементов и всей конструкции опалубки, ведутся с точностью, обеспечивающей монтаж опалубки с отклонениями, не превышающими значений, указанных в табл. 11.

Таблица 11

№ п/п	Элементы конструкции опалубки	Допустимые отклонения, мм
1	Расстояние от вертикали или проектного наклона плоскостей опалубки и линий их пересечений: на 1 м высоты на всю высоту (до 5 м)	5 10
2	Смещение осей опалубки от проектного положения	8
3	Наибольшая разность отметок плоскостей верхних кружал или поверхности рабочего пола на расстоянии: до 3 м от 3 м и более	10 15
4	Наибольшая разность в отметках ригелей	10
5	«Конусность» скользящей опалубки на одну сторону	+4—2
6	Расстояние между домкратами, рамами (за исключением мест, где расстояние между рамами является свободным размером)	10
7	Смещение осей домкратов от оси конструкции	2
8	Смещение осей перемещаемой или переставляемой опалубки относительно осей сооружения	10
9	Расстояние между внутренними поверхностями опалубки стен от проектных размеров	3

Для облегчения и ускорения монтажа опалубок в опорной поверхности фундамента или опорного кольца равномерно по контуру внутренней стены наращивают по 10—15 выпусков вертикальной арматуры на высоту 1,5—1,7 м, но не ниже горизонта нивелира. Проводят нивелирование основания «нулевого цикла» для определения наивысшей точки, отметка которой принимается за 0. Одновременно с нивелированием основания фиксируют горизонт инструмента на стержнях арматуры. Нивелирование выполняется по одной стороне рейки.

При отсутствии разбивки контура стен выносят на опорную поверхность внутреннюю грань по периметру всего сооружения в виде прерывистой линии. При разбивке окружности используют стальные рулетки. Разбивка сооружений значительных габаритов, например башенных градирен, может проводиться от хорд по предварительно вычисленным значениям перпендикуляров.

Разбивку окружности выполняют методом приближения, отложив и закрепив на фундаменте приближенное значение проектного радиуса. Затем это расстояние с необходимой точностью измеряют с учетом всех поправок. Получив после обработки длину отложенного отрезка, находят линейную поправку, равную разности фактической и проектной длины, и откладывают величину домера по радиальному направлению от конечной точки отрезка. Основные поправки — за компарирование, за наклон линии и за изменение температуры мерного прибора вводят со знаками, противоположными знакам поправок при измерении линии.

Точность отложения радиуса устанавливается в соответствии с п. 2 табл. 11 на основании формулы (3). Относительная средняя квадратическая погрешность зависит от величины радиуса начального яруса сооружения и принимается

$$\frac{m_R}{R} = \frac{1}{5000} \div \frac{1}{10\,000}$$

и обеспечивается при измерениях выполнением требований, указанных в табл. 12.

В зависимости от технологии установки вспомогательного оборудования выполняются разбивка и закрепление краской осей домкратных рам путем отложения проектных углов теодолитом, установленным в центре сооружения.

Таблица 12

Требования	Условия обеспечения точности измерений при относительных погрешностях	
	1/10 000	1/5000
Допустимые отклонения от номинальной длины:		
по всей длине рулетки	3	5
по наименьшему интервалу	0,1	0,1
Натяжение прибора	Динамометром $\pm 1$ кг	
Учет разности температур компарирования и измерений	Термометром $\pm 3^\circ\text{C}$	
Методика отсчетов	Три пары отсчетов и два сдвига	Две пары отсчетов и один сдвиг
Фиксация пунктов	Кернением на металле	Карандашные рис-ки на гладком бетоне
Превышение концов рулетки	По нивелиру	
Рекомендуемые типы рулеток	РК 50, РГ 30	РК 50, РГ 30

В соответствии с п. 6 табл. 11 погрешность геодезических работ при установке рам в тангенциальном направлении определяется по формуле

$$m_{г.р} = \frac{0,2 \cdot \delta_N}{\sqrt{2}},$$

где  $\delta_N$  — допустимая погрешность в расстоянии между опорными элементами опалубки.

Тогда точность построения радиальных направлений может быть вычислена на основании формулы

$$m_{\rho} = \frac{m_{г.р} \rho''}{R} = \frac{0,14 \delta_N}{R} \rho'', \quad (38)$$

где  $R$  — радиус сооружения, и характеризуется величинами 8—10'' для градирен и 15—30'' для труб, силосов, копров и пр.

В дальнейшем опалубочное самоподъемное оборудование монтируется по монтажной схеме с соблюдением следующей технологической последовательности.

По вынесенному контуру стен производится установка кондукторов, монтажных стоек и кружал. Выполняют монтаж домкратных рам. После соединения домкратных рам с кружалами их установку выверяют по отвесу или теодолитом в двух направлениях. После окончания монтажа домкратных рам приступают к монтажу металлоконструкций рабочего пола опалубки, после окончания которого монтируют механизмы подъема опалубки.

Представленный здесь в сокращенном варианте порядок монтажа применяется для подготовки к возведению сооружений в скользящей опалубке с самоподъемными подмостями.

В соответствии с приведенным порядком закрепленные на монтажных стойках кружала 1 (рис. 25) устанавливаются на одном уровне, для чего опорными винтами 2 монтажных стоек 3 или кондуктора вертикальную полку верхнего яруса кружал устанавливают по условному горизонту с помощью шаблона или специальной рейки 4. Центровка верхних кружал выполняется с помощью рулетки и отвеса. Одновременно верхние кружала устанавливаются по отвесу с нижними. При возведении стволов труб и оболочек градирен, имеющих проектный уклон, установка кружал ведется с учетом уклона, толщины щита и регулирующих конусность болтов. Правильность установки поясов верхних и нижних кружал может быть проверена визированием теодолитом из центра сооружения 5 по стыкам кружал, которые должны располагаться в одной вертикальной плоскости.

Следует подчеркнуть, что сборка внутренних кружал является наиболее ответственным этапом монтажа, т. е. от ее правильности зависит качество сборки остальных элементов опалубки.

После монтажа кружал на них визированием из центра сооружения переносят оси расположения домкратных рам. Установка домкратных рам производится попарно. Для обеспечения установ-

ленных размеров расстояния между осями рам измеряются рулеткой или контролируются измерением центрального угла. По окончании монтажа домкратных рам и закрепления поясов кружал приступают к монтажу металлоконструкций рабочего пола скользящей опалубки, начиная с опорных швеллеров главных балок.

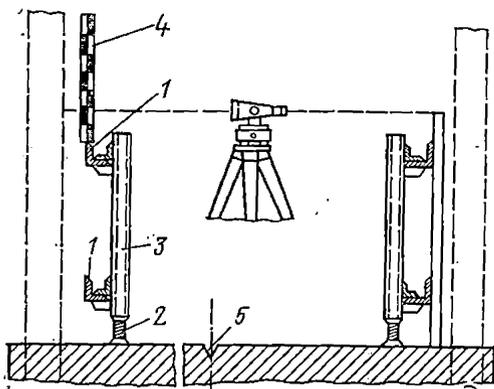


Рис 25. Схема установки кружал и их центровка

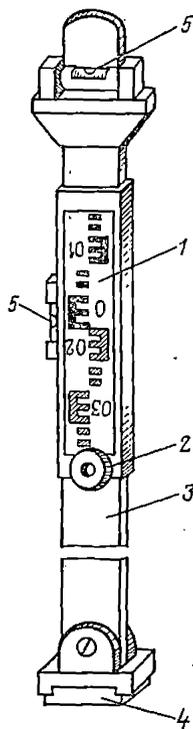


Рис. 26. Универсальная монтажная рейка

При установке опалубочного оборудования с помощью кондуктора его центр механически или с помощью отвеса совмещают с рабочим знаком, закрепляющим центр сооружения.

После подвески домкратных рам на радиальные балки перед установкой рабочего пола выполняют контрольные измерения расстояний от центра кондуктора до метровых индексов на балках. На балке устанавливают контрольные рейки для определения радиального положения элементов опалубки, нули которых совмещают с ближайшими метровыми индексами.

При монтаже опалубок для возведения силосных сооружений, состоящих из целого ряда силосных башен, работы начинают с одного из центральных силосов.

В варианте скользящей опалубки или самоподъемных подмостей по окончании монтажа опалубочного оборудования производится исполнительная съёмка домкратов, материалы которой яв-

ляются исходными документами для геодезического контроля за горизонтальностью рабочего пола. Для нивелирования домкратов рекомендуется использовать специальные рейки с условным нулем, позволяющие значительно упростить методику наблюдений. С этой целью нивелирные рейки (рис. 26) выполняют с подвижными шкалами 1, закрепляемыми с помощью стопорного винта 2 на опорной конструкции 3 с возможностью перемещения. Шкала имеет двойную оцифровку от нуля рейки, располагаемого по середине. Рекомендуется нижнюю часть шкалы выполнить с красной разграфкой, верхнюю — черной, для чего могут быть использованы элементы нивелирных шашечных реек.

Также может быть использована и универсальная монтажная рейка с аналогичной системой оцифровки шкалы, снабженная для повышения устойчивости при установке на металлические элементы опалубки опорной пяткой 4 с постоянным магнитом и двумя цилиндрическими уровнями 5, позволяющими использовать рейку при методе бокового нивелирования для определения отклонений элементов оборудования в плане.

Для определения высотного положения домкратов рейку устанавливают на один из них, принимаемый за исходный, и ее нуль совмещают с горизонтом инструмента. Отметки остальных домкратов определяют относительно исходного.

Нивелир устанавливают на рабочем полу опалубки или на специально выполненных площадках осветительных мачт или кранов.

При строительстве железобетонных сооружений в подъемно-переставной опалубке с использованием шахтного подъемника при его установке необходимо обеспечить:

1. Горизонтальность опорной рамы подъемника.

2. Параллельность швеллера опорной рамы основным осям сооружения.

3. Совмещение центра рамы с центром сооружения.

Если в проекте предусмотрен разворот шахтного подъемника относительно основных осей, то опорная рама разворачивается в плане на угол, указанный в проекте производства работ.

В дальнейшем при монтаже подъемника необходимо периодически, по мере окончания отдельных этапов сборки, выполнять проверку горизонтальности монтажной и рабочей площадок, вертикальности подъемных винтов и направляющих. Установка подвесок и щитов опалубки на каркасе шатра подъемника производится по величине верхнего проектного радиуса щитов нижнего яруса путем промеров рулеткой от вынесенного центра. Правильность установки наружной опалубки необходимо проверить путем измерения радиусов под всеми винтами механизмов радиального перемещения. Измерения выполняют последовательно, начиная от середины группы панелей к стыкам (конечным панелям).

В зависимости от высоты стакана фундамента при определении высотного положения элементов шахтного подъемника нивелир устанавливается либо на земле, либо на ригелях подъемника, изолированных от помоста наблюдателей.

При использовании трехъярусной подъемно-переставной опалубки ее установка выполняется с нижнего яруса. Верхние ярусы опалубки устанавливаются на проектный радиус с помощью нитяных отвесов или жестких центриров.

Геодезическим работам при монтаже подъемно-переставной опалубки для возведения градирен предшествует работа по разбивке кольцевого рельсового пути для одно- или двухстрелового крана. Разбивку производят по направлениям закрепленных радиусов рулеткой от центра градирни или от точек рабочего обоснования. Отклонение осей рельсов от проекта не должно превышать 5 мм.

При использовании неподвижных высотных кранов разбивке подлежат углы фундамента крана, а также точки закладки анкерных болтов для последующей установки его опор.

Для высотной привязки кружал первого яруса опалубки при их проектной высоте над дном бассейна градирни до 10 м могут использоваться стальные разборные штанги-калибры, проектное значение отметки на которых фиксируется горизонтальной планкой.

При возведении градирен большой мощности основной задачей при монтаже элементов опалубки является разбивка в плане и по высоте положения закладных трубок для крепления на оболочке лизен — устройств, предназначенных для создания локальных утолщений оболочки в вертикальном направлении и обеспечивающих устойчивость движения опалубочного оборудования в период твердения бетона. Инструментально задается, как правило, положение только основных лизен, число которых определяется типом используемой опалубки. Например, для градирен высотой 150 м с площадью орошения 10 000 м<sup>2</sup> число основных лизен равно 50. Положение этих лизен определяется путем отложения проектных углов из центра градирни. От осей основных лизен, закрепленных на опалубочных щитах опорного кольца по окружности с радиусом, равным радиусу внутренней стены оболочки, в обе стороны откладывают домеры для определения положения вспомогательных лизен. Оси последних должны быть определены относительно основных с погрешностью, не превышающей 1 мм, что достигается использованием металлической рулетки.

Положение трубок по высоте задается нивелированием от отметок рабочих реперов, закрепленных на опорном кольце (НОК), причем нивелир может устанавливаться внутри опалубки нижнего опорного кольца.

Для определения высотного положения закладных трубок на внутренней опалубке нижнего опорного кольца используется нивелирная рейка, однако определение с ее помощью высоты трубок у внешней опалубки затруднено из-за ее наклона. Здесь рекомендуется использовать монтажный уровень с регулируемой стойкой, на опорную площадку которого устанавливается рейка.

При монтаже опалубок всех типов установка стоек, ригелей, рам и других элементов выполняется с наклоном, равным проект-

ному наклону образующей сооружения на данной высоте. Для установки проектного наклона и контроля величины конусности щитов опалубки используют различные рейки-отвесы и механические угломеры, уклон опорной плоскости которых определяется по горизонтальной измерительной линейке с уровнем.

На смонтированное опалубочное оборудование составляют исполнительные схемы, на которых показывают фактическое плановое и высотное положение элементов конструкции, а затем размещают визирные цели и приспособления для контроля геометрической точности в процессе возведения. Визирные цели размещают над центрами знаков рабочего обоснования с помощью отвесов или жестких центриров. После подъема опалубки на высоту 2,5—3 м положение центров мишеней относительно центров знаков определяют приборами вертикального проектирования. При отклонении визирных целей на величину более 2 мм их положение корректируют и цели окончательно закрепляют.

При использовании для контроля положения опалубки утяжеленных отвесов центрирующие струны приспособления закрепляют в установленных точках рабочего пола опалубки после ее монтажа или после подъема опалубки на 1,5—2 м.

## **§ 19. Геодезические работы по обеспечению возведения монолитных сооружений**

Основная цель геодезических работ, выполняемых при возведении башен, обеспечение вертикальности осей сооружений и получение необходимой информации для своевременной корректировки их положения. Кроме того, параллельно определяется деформация опалубочного оборудования или самих конструкций как факторов, также приводящих к нарушению геометрических параметров сооружений.

При возведении башенных сооружений определяют не только их отклонения от вертикали, но и величину кручения верха сооружений вместе с опалубочным оборудованием, что приводит к значительным отклонениям в положении и в геометрических параметрах возводимых конструкций.

Кручение непосредственного влияния на вертикальность не оказывает, но значительно увеличивает погрешности установки закладных частей и технологического оборудования в башенных сооружениях и приводит к закручиванию домкратных стержней, что затрудняет их извлечение, создает другие негативные последствия, приводящие к дополнительным затратам средств и времени.

Определение значений горизонтального сдвига и кручения верхнего яруса возводимого сооружения позволяет их устранить путем использования специальных технологических приемов: изменением наклона рабочего пола, регулированием скорости подъема отдельных частей опалубки или введением жестких связей в виде форкопфов или тросов между монтируемыми и возведенными ярусами,

что приводит к созданию момента, противоположного по направлению вращению сооружения.

Контроль вертикальности осей башен осуществляется путем определения положения элементов опалубки или конструкций самого сооружения относительно системы геодезических плановых знаков, закрепленных в качестве опорной сети на исходном строительном горизонте. В зависимости от параметров сооружения, технологии возведения и необходимой точности обеспечения проектных размеров геодезические работы по контролю вертикальности выполняются одним из двух методов: снесения и проектирования.

При методе снесения на монтажном горизонте закрепляются точки или элементы конструкций, положение которых является определяющим для обеспечения проектных размеров. Эти точки затем переносятся сверху вниз по вертикали на исходный горизонт, где их координаты сравниваются с координатами геодезических плановых знаков. При реализации этого метода используется как механический, так и оптический способ передачи положения контрольных точек.

Метод проектирования основан на передаче планового положения геодезических знаков или зафиксированных ими линий на монтажный горизонт, от которых проводятся разбивочные геодезические работы и контрольные измерения. Перенос центров геодезического обоснования на монтажный горизонт в этом случае осуществляется путем наклонного или вертикального проектирования с использованием оптических приборов. Как правило, метод наклонного проектирования широко применяется в начальной стадии возведения башен или при незначительной высоте сооружения. Кручение сооружений определяется обычно одновременно с измерением сдвигов.

*Механический метод.* Для контроля вертикальности возводимого сооружения на монтажном ярусе закрепляют блоки, через которые пропускается проволока диаметром 0,5—1,5 мм с подвешенным к ней отвесом 8—12 кг [19]. Направляющие блоки крепят на кронштейнах к кружалам, стойкам домкратных рам или к радиальным прогонам кондуктора опалубки после подъема с уровня исходного горизонта на 1,5—2 м. Ручные лебедки с проволокой размещают на рабочем полу опалубки или устанавливают на фундаменте сооружения (рис. 27). В последнем случае длина проволоки должна быть равна двойной проектной высоте возводимого сооружения. Смещения опалубки в плане определяют по положению отвеса относительно знака рабочего обоснования, забетонированного на уровне исходного горизонта, или измерением расстояния от отвеса до фиксированных конструкций цокольной части башни. При высотах более 20 м для уменьшения влияния колебаний отвеса используют жидкостные демпферные устройства, а определение положения отвеса производят с помощью координатомера, закрепленного к стенам башни так, чтобы его оси были параллельны осям сооружения. В отдельных случаях для определения приближенного положения центра монтажного яруса в

период между вынесением точек оптическими методами метод отвесов может быть применен для высот до 100 м с использованием грузов 50—100 кг.

Количество устанавливаемых на опалубке отвесов определяется методикой геодезических разбивочных и контрольных работ.

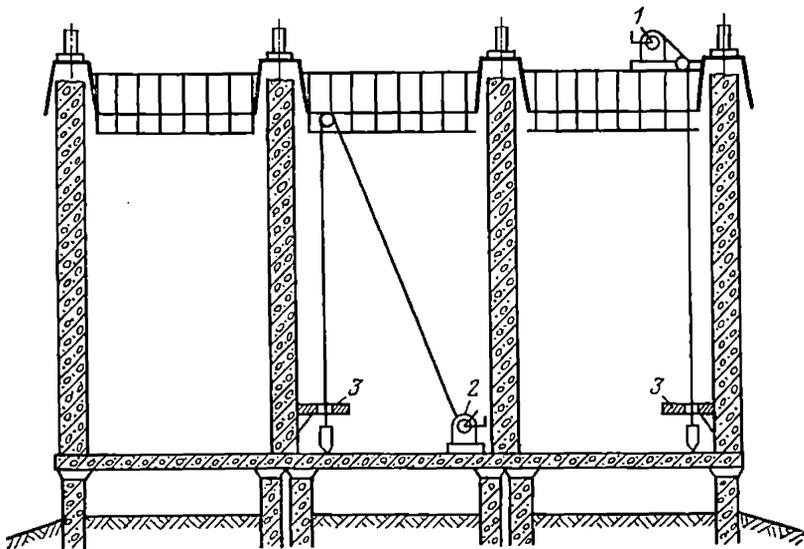


Рис 27. Схема закрепления механических отвесов на опалубке

*Сверные положения центра конструкции оптическими приборами.* Метод оптического проектирования с монтажного горизонта на исходный основан на установке надир-прибора на вертикальной линии, проходящей через центр знака рабочего обоснования. Кроме обеспечения безопасных условий работ метод позволяет при применении приборов с взаимозаменяемыми осями перейти сразу же к детальной разбивке монтажного горизонта с помощью теодолита. В качестве надир-приборов могут использоваться оптические отвесы типа К-11 (ГДР), прибор с ртутным зеркалом QNL (ГДР), прибор оптического вертикального проектирования (ПОВП) и др.

*Наклонное проектирование.* Контроль за положением монтажного горизонта сооружения методом наклонного проектирования выполняют с помощью теодолита визированием на марки, закрепленные с внешней стороны опалубки. В качестве исходного направления используют направление на центр основания сооружения или ориентирный пункт, привязка которого к направлению на центр основания известна. Для определения составляющих смещения-сдвига и кручения с пунктов, закрепляющих взаимно перпендикулярные направления, измеряются горизонтальные углы между направлением на центр основания и направлениями на обра-

зующие сооружения или края опалубки —  $\beta_1', \beta_1'', \beta_2', \beta_2''$  и углы между визирными марками на монтажном горизонте —  $\beta_1$  и  $\beta_2$  (рис. 28). Требуемые величины вычисляются по формулам [10]:

$$C_X = \frac{S_2 (\beta_2'' - \beta_2')}{2\rho}; \quad C_Y = \frac{S_1 (\beta_1'' - \beta_1')}{2\rho}; \quad (39)$$

$$d_X = \frac{(S_2 - R)}{\rho} \beta_2; \quad d_Y = \frac{(S_1 - R)}{\rho} \beta_1, \quad (40)$$

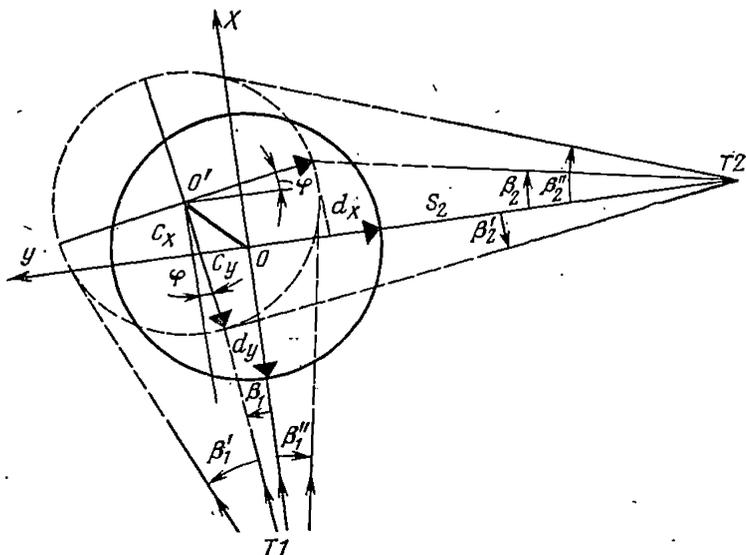


Рис. 28. Схема определения сдвига и кручения башни

где  $C_X, C_Y$  — проекции общего смещения на направления линии визирования;  $S_1, S_2$  — горизонтальные расстояния от точек установки инструментов до центра сооружения;  $d_X, d_Y$  — смещения осевых марок опалубки.

Общий сдвиг определяется как

$$C = \sqrt{C_X^2 + C_Y^2}, \quad (41)$$

и его направление

$$\alpha_C = \text{arctg} \frac{C_Y}{C_X} \quad (42)$$

угол кручения определится по формуле

$$\varphi = \frac{(C_X - d_X)}{R} \rho = \frac{(C_Y - d_Y)}{R} \rho. \quad (43)$$

Величины  $d_x$  и  $d_y$  могут быть определены по горизонтально установленной на исходном горизонте рейке путем проектирования положения визирной марки по вертикали на плоскость рейки.

Определение величины кручения значительно упрощается при наблюдении за визирными марками с двух противоположных пунктов, закрепляющих ось сооружения. В этом случае получим (рис. 29)

$$d = d' + a_1; \quad d = d'' - a_1, \quad (44)$$

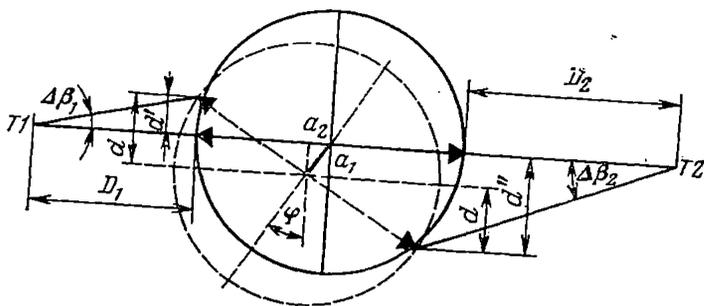


Рис 29. Схема определения кручения со створных пунктов

где  $a_1$  — линейная величина составляющей смещения верха сооружения из-за неперпендикулярности оси в направлении, перпендикулярном к наблюдаемой линии;  $d'$ ,  $d''$  — величины смещения диаметрально противоположных визирных марок.

Значения  $d_i$  определяются по измеренным малым углам  $\Delta\beta_1$  и  $\Delta\beta_2$  и расстояниям  $D_1$  и  $D_2$  по формуле

$$d_i = \frac{\Delta\beta_i}{\rho} D_i.$$

Тогда величина кручения в линейной мере  $d$  может быть вычислена как среднее арифметическое из двух независимых наблюдений по формуле

$$d = \frac{1}{2\rho} (\Delta\beta_1 D_1 + \Delta\beta_2 D_2). \quad (45)$$

Направление кручения монтажного яруса обычно устанавливается по принципу: по часовой стрелке — плюс, против — минус.

При  $D_1 = D_2$  средние квадратические погрешности определения элементов смещения методом наклонного проектирования устанавливаются по формулам

$$m_c = \frac{D m_\beta}{\rho};$$

$$m_\varphi = 1,22 \frac{D}{R} m_\beta, \quad (46)$$

где  $m_\beta$  — средняя квадратическая погрешность измерения угла.

В рассматриваемом методе точность измерения углов определяется инструментальной точностью используемого прибора и погрешностью, вызванной наклоном оси его вращения, которая определяется по формуле

$$m_{\beta, \nu} = i'' \operatorname{tg} \nu,$$

где  $i''$  — погрешность установки основной оси прибора;  $\nu$  — угол наклона направления.

При углах наклона свыше  $45^\circ$  значение погрешности измерения угла составляет  $10\text{--}20''$ , что приводит к необходимости введения поправок в измеренные направления при контроле сооружений большой высоты.

При строительстве групп цилиндрических сооружений, например многобачных силосов, контроль вертикальности возведения наиболее целесообразно осуществлять, используя метод бокового нивелирования с пунктов, закрепляющих систему взаимно перпендикулярных створов (рис. 30).

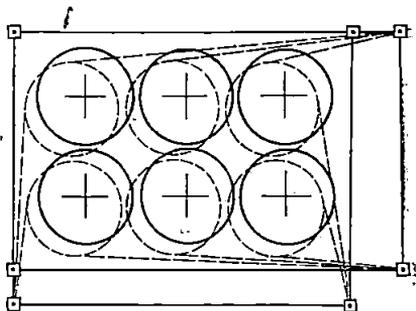


Рис. 30. Схема определения смещенной группы сооружений

**Вертикальное проектирование.** Применение этого метода основывается на использовании приборов вертикального проектирования, задающих вертикальную базовую линию, проходящую через центр знака рабочего обоснования внутри контура сооружения. Относительно этой линии и производится определение смещения на монтажном горизонте.

Смещение башни устанавливается путем снятия отсчетов по специальным визирным целям или рейкам, установленным на кронштейнах или жестких связях опалубки, и их сравнения с проектными величинами.

Оси визирных целей, имеющих соответствующую разграфку в виде координатной сетки, обычно устанавливаются параллельно главным осям сооружения. Положение проекции центра пункта рабочего обоснования получают как среднее значение координат из отсчетов по горизонтальной нити прибора при четырех его положениях ( $0; 90; 180; 270$ ). Для контроля положения башенных сооружений и определения их смещений в плане методом вертикального проектирования наиболее широкое распространение в нашей стране получил прибор PZL (ГДР).

В зависимости от габаритов и конструктивных особенностей возводимых сооружений типа используемого опалубочного оборудования геодезический контроль ведется по одной, двум, трем, четырем и группе точек.

Способ контроля по одной точке, совмещенной обычно с центром сооружения, рационален практически для всех методов воз-

ведения и используемых типов опалубок и применяется в тех случаях, когда визирование с исходного горизонта на монтажный может осуществляться беспрепятственно и имеется возможность закрепления вынесенной точки. Разбивка проектного положения опалубки выполняется с помощью рулетки по радиальным направлениям, задаваемым с помощью теодолита. От вынесенного центра выполняется и исполнительная съемка ранее возведенной части сооружения, а также другие контрольные измерения, обеспечивающие строительные-монтажные работы.

Значение отклонения оси сооружения от вертикали по результатам наблюдения визирной цели вычисляются по формуле

$$C = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2},$$

где

$$\Delta X = x_i - x_0; \quad \Delta Y = y_i - y_0;$$

$x_0, y_0$  — отсчеты по визирной мишени при установке визирных целей на исходном горизонте при монтаже опалубки;  $x_i, y_i$  — отсчеты по мишеням на контролируемом ярусе.

При установке визирной мишени на исходном горизонте над центрами рабочих знаков с погрешностью не более 3 мм значения  $x_0$  и  $y_0$  могут быть приняты равными 0. Тогда

$$C = \sqrt{x_i^2 + y_i^2}.$$

Направление отклонения при известной азимутальной ориентировке координатных осей мишени вычисляются по формуле

$$\alpha = \arctg \frac{\Delta y}{\Delta x}.$$

В варианте контроля вертикальности башни по одной точке определение кручения верхнего яруса выполняется только с пунктов внешнего обоснования описанным ранее методом.

Рассмотрим методику производства геодезических работ с использованием одной опорной точки при сооружении башен в подъемно-переставной опалубке. В этом случае установка приборов вертикального проектирования и визирных целей производится на ригелях шахтного подъемника.

Зенит-прибор устанавливают на специальном опорном столике, выполненном в виде пластины с отверстием диаметром 18 мм для станкового винта, приваренной к двум уголкам, закрепленным на ригелях на расстоянии двух-трех пролетов от верха фундаментальной плиты. Центрировочное приспособление на монтажном горизонте может быть выполнено с возможностью перемещения в горизонтальной плоскости по двум направлениям, что позволяет фиксировать спроектированный центр на рабочем полу. Центрировочное оборудование состоит из жесткой коробки 1, закрепляемой на конструктивных элементах 2 подъемника или его головки с помощью струбцины 3 (рис. 31). По продольным ребрам короб-

ки перемещается рамка 4, имеющая стопорные винты. Рамка несет пластину-мишень 5, имеющую направление перемещения, перпендикулярное к продольным ребрам коробки. Подвижный в двух взаимно перпендикулярных направлениях центр мишени может быть совмещен с вертикальной линией, заданной зенит-прибором 1 (рис. 32), сцентрированным над знаком 2, закрепляющим центр сооружения на исходном горизонте, что позволяет исключить вычисления и производить разбивочные работы на монтажном горизонте непосредственно с вынесенного центра.

В пластине-мишени может быть выполнено отверстие под становой винт теодолита, которое также может быть использовано для подвески в центре мишени отвеса длиной 2—3 м для центровки очередной секции подъемно-переставной опалубки.

При использовании для производства геодезических разбивочных работ на монтажном горизонте одной точки мишень обычно выполняется двусторонней, что позволяет легко фиксировать проекции пункта рабочего обоснования.

На шахтном подъемнике для ускорения процесса выноса осей и плановой разбивки горизонта можно вынести центр на два горизонта выше, в точку 3, и ниже, в точку 4, рабочей площадки.

Далее верх наружной опалубки устанавливают по верхнему проектному радиусу очередной секции путем промера рулеткой от вынесенного центра или нити центрального отвеса до внутренней грани опалубки под всеми винтами радиального перемещения. Центрирование панелей наружной опалубки выполняют последовательно от середины панелей к стыкам, как и при монтаже опалубки на исходном горизонте.

Одним из рациональных способов является устройство вокруг шахтного подъемника центрировочного кольца 5, от которого проводятся все контрольные измерения с помощью рулетки или с использованием натянутых грузами тросиков 6.

Для производства разбивочных работ на уровне рабочей площадки на монтажный горизонт выносят оси одним из следующих способов:

1. Теодолит устанавливают над вынесенным центром 3 на столб-мишень и ориентируют трубу на точки 7, 8 или 9, значения направлений на которые из центра сооружения известны. Для последующей разбивки закладных частей ниже уровня рабочей площадки фиксируется точка 10 на наружной опалубке.

2. Наклонным проектированием с пунктов внешнего обоснования. В этом случае, как правило, выносятся точки на элементы наружной опалубки или козырек подмостей.

3. При возведении цилиндрических или конических сооружений с небольшой величиной уклона образующей используется вариант с закреплением в пределах габарита сооружения основной или вспомогательной оси тумбой или кронштейном 11. На уровень рабочей площадки эта точка выносится отвесом или оптическим прибором, площадка оснащается визирной целью 12 указанной выше конструкции. Выбирая точку закрепления основной или вспо-

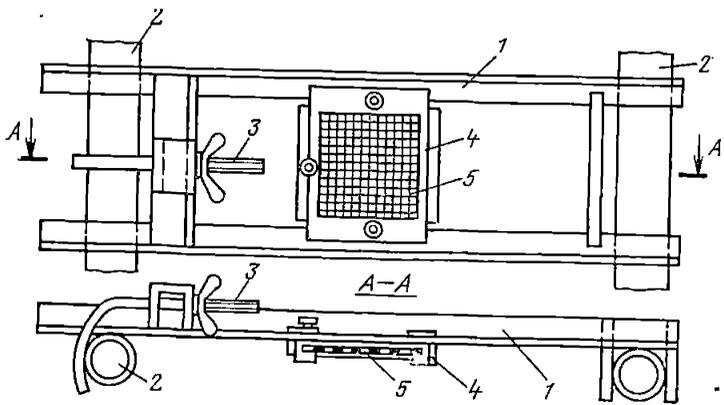


Рис 31. Центрировочное приспособление

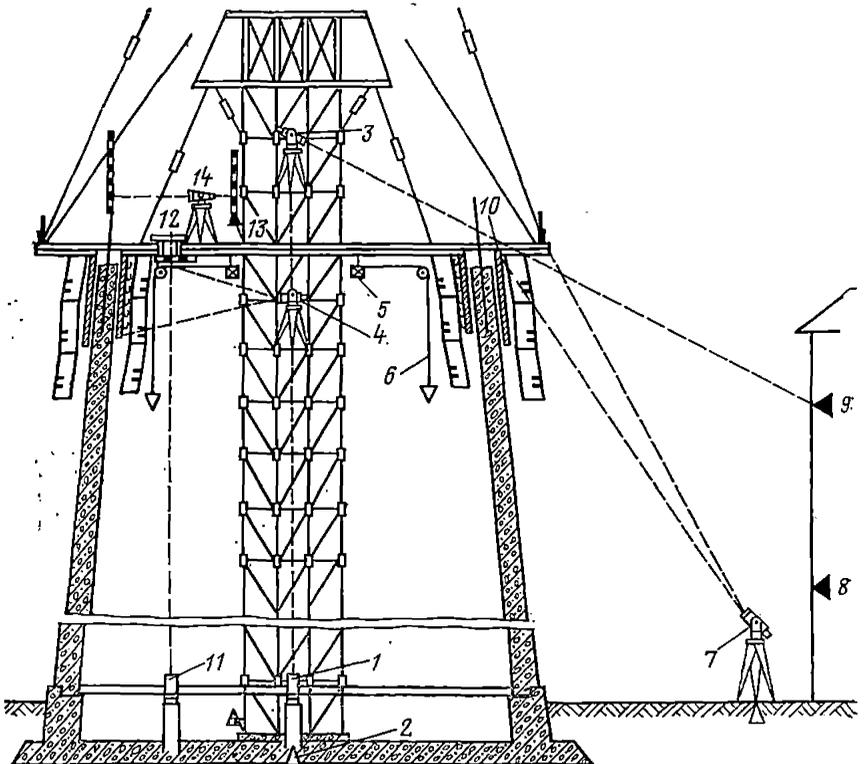


Рис. 32. Схема геодезического контроля башни, сооружаемой в подъемно-переставной опалубке

могательной оси, необходимо для обеспечения видимости учесть положение радиальных балок рабочей площадки.

Разбивка осей сооружения в этом случае ведется с пункта 3 отложением проектных углов от направления на вынесенный центр мишени 12. При разбивке нижнего яруса с пункта 4 ориентирное исходное направление задается по визированию на нить отвеса, закрепленного в отверстии вспомогательной мишени.

Вследствие больших углов наклона трубы теодолита, вызванных короткими длинами визирных лучей, для исключения погрешностей из-за непараллельности горизонтальной оси вращения трубы и оси цилиндрического уровня при алидаде все разбивочные работы выполняются при двух кругах.

При применении скользящих опалубок без радиальных кондукторов и самоподъемных подмостей традиционное место расположения подъемного агрегата по центру сооружения может быть изменено, что приводит к значительному осложнению методики производства геодезических работ и необходимости использования внецентренного

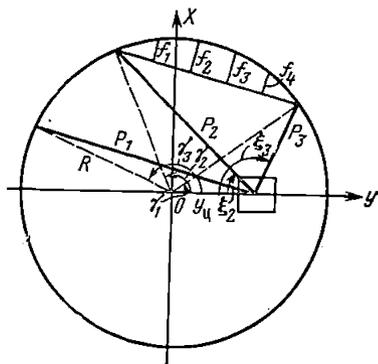


Рис. 33. Схема внецентренной разбивки оболочки

метода разбивки с подъемника, установленного на расстоянии  $U_{ц}$  от центра (рис. 33). В этом случае, в связи с недоступностью центральной точки, разбивка оболочки проводится полярным методом с пункта, вынесенного на монтажный ярус от точки рабочего обоснования методом вертикального проектирования. Длина стороны до определяемой точки, откладываемая по заданному направлению рулеткой с обязательным использованием динамометра для натяжения, определится из формулы

$$P_i = R \frac{\sin \gamma_i}{\sin \xi_i},$$

где  $R$  — проектный радиус яруса на данной высоте;  $\xi$  — полярный угол, откладываемый от ориентирного направления на внешний пункт.

Для уменьшения объема измерений полярным способом выполняют вынос только основных точек (через 6—8 щитов опалубки), а промежуточные разбиваются ортогональным методом путем построения перпендикуляров от хорд, соединяющих основные точки. Данный метод обеспечивает необходимую точность разбивки при  $m_B = 0,5'$  и  $m_d = 1/5000$ .

Способ контроля вертикальности возведения башенного сооружения с использованием двух точек рабочего обоснования, предполагаемых, как правило, на створе одной из главных осей со-

ружения, обеспечивает одновременное определение кручения опалубки или конструкций верхнего яруса. Применяется также при строительстве сооружений, центр которых закрыт технологическим оборудованием. Оптическим прибором вертикального проектирования положение опорных точек выносится на рабочий горизонт, где по створу вынесенных точек фиксируется центр. Определение положения щитов по радиусу при отсутствии разметок и контрольных линий на радиальных балках рабочей площадки выполняют

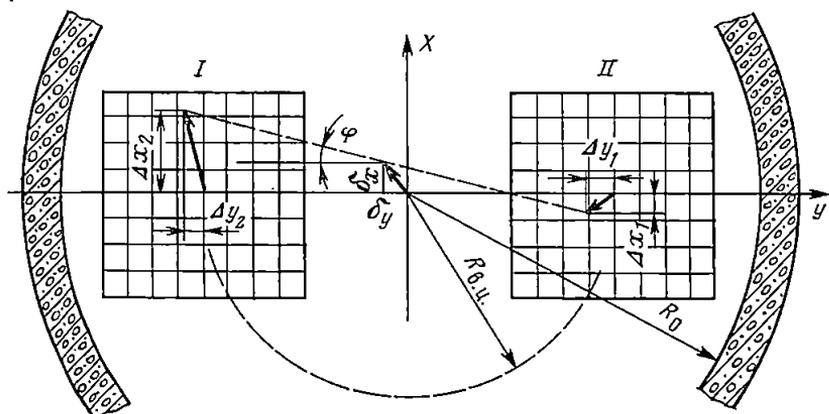


Рис. 34. Определение смещения опалубки по двум точкам

путем линейных измерений по настилу рабочего пола от зафиксированного центра.

Величину отклонения от вертикали по результатам геодезических наблюдений двух мишеней *I* и *II* в этом случае вычисляют по формуле (рис. 34)

$$C = \sqrt{\delta_x^2 + \delta_y^2},$$

где

$$\delta_x = \frac{\Delta x_1 + \Delta x_2}{2};$$

$$\delta_y = \frac{\Delta y_1 + \Delta y_2}{2}.$$

Значения  $\Delta x_{1,2}$  и  $\Delta y_{1,2}$  являются разностями отсчетов по координатным осям визирных мишеней *I* и *II* на монтажном и исходном горизонтах.

Линейный элемент кручения при ориентировании створа рабочих знаков по оси *Y* вычисляют как

$$d' = \frac{\Delta x_1 - \Delta x_2}{2}.$$

С учетом значения радиусов закрепления визирных целей  $R_{в.д}$  и проектного радиуса башни  $R_0$  линейное смещение точек опалубки из-за ее кручения определится по формуле

$$d = \frac{(\Delta x_1 + \Delta x_2)}{2R_{в.д}} R_0,$$

а величина угла разворота опалубки — из выражения

$$\varphi = \frac{(\Delta x_1 + \Delta x_2)}{2R_{в.д}} \cdot \rho.$$

Без учета погрешностей определения радиусов средняя квадратическая погрешность определения кручения будет равна

$$m_d = \frac{R_0}{\sqrt{2} R_{в.д}} m_{\Delta x} = \frac{R_0}{R_{в.д}} m_x.$$

В наиболее ответственных случаях для контроля измерений возможно использование трех точек. Тогда элементы смещения вычисляются по следующим формулам:

$$\delta_x = \frac{\Delta x_I + \Delta x_{II} + \Delta x_{III}}{3};$$

$$\delta_y = \frac{\Delta y_I + \Delta y_{II} + \Delta y_{III}}{3};$$

$$\varphi = \frac{\Delta y_{II} + \Delta y_{III} - 2\Delta y_I}{3R_{в.д}} \rho.$$

При возведении башен прямоугольной формы положение точек рабочего обоснования определяется в зависимости от конструктивных особенностей сооружения, а количество их устанавливается обычно равным 4, располагается, как правило, по углам. Для контроля положения опалубки используют зенит-приборы, устанавливаемые на знаки консольного типа 1, вертикальное проектирование с которых осуществляют на визирные марки 2, закрепляемые к низу рабочего пола, козырьку или кружалам опалубки (рис. 35). С целью упрощения обработки результатов наблюдений марки устанавливают таким образом, чтобы направление оцифровки на них было противоположно направлению осей X и Y. Результаты геодезических наблюдений в этом случае представляется удобным представить графически в виде проекций горизонтальных сечений сооружения [19]. По угловым точкам I—II—III—IV вычерчивают проектное сечение башни в масштабе 1:50 и шкалы визирных марок в масштабе 1:1, которые наносят на чертеж так, чтобы начальные отсчеты по ним соответствовали исходному положению угловых точек (рис. 36). Для построения сечения на любом горизонте положения углов наносят по координатной сетке в соответствии с фактическим смещением этих точек, полученным



Угол кручения опалубки может быть найден по формуле

$$\varphi_i = \frac{2P_i}{B} \rho,$$

где  $P_i$  — длина перпендикуляра из угла башни на диагональ исходного сечения;  $B$  — длина диагонали.

В общем случае вертикальность стен сооружения и соответствие его горизонтальных сечений проектной форме зависят от смещения, кручения и деформации опалубки. Исследования показали, что деформации различны в разных точках по величине и направлению и приводят, как правило, к увеличению проектных размеров. Так как геодезический контроль позволяет определить только суммарное отклонение, то строгое решение задачи раздельного определения количественных характеристик воздействия каждого из указанных факторов невозможно. В этом случае значения сдвига и кручения целесообразно определить относительно вписанной в деформированную фигуру опалубки ее первоначальной проектной фигуры [40]. Решение этой задачи будет оптимальным при условии, что сумма квадратов разностей координат деформированной опалубки  $X_i', Y_i'$  и вписываемой первоначальной  $X_i'', Y_i''$  будет удовлетворять равенству

$$F_i = \sum_{i=1}^n (X_i' - X_i'')^2 + \sum_{i=1}^n (Y_i' - Y_i'')^2 = \min.$$

Геодезический метод контроля от группы точек применяется при значительных габаритах сооружений и отсутствии жестких связей элементов опалубочного оборудования, например при возведении башен самоподъемными подмостями и переставными секционными опалубками. Исходными являются заложенные в специально пробуренные шпурсы пункты геодезической рабочей основы, располагаемые обычно для круглых по форме сооружений, концентрически относительно центра сооружения. Величины радиуса закладки знаков назначаются с таким расчетом, чтобы обеспечить производство наблюдений во всем диапазоне изменений радиуса сооружений от  $R_{\max}$  до  $R_{\min}$ . Величина домера от вынесенных на монтажный горизонт точек рабочей основы до оболочки сооружения обычно устанавливается не превышающей 2 м, что при обеспечении возведения башен с уклоном образующей поверхности определяет количество окружностей с закрепленными знаками и радиальное расстояние между ними (рис 37).

Для определения положения опалубки над точками рабочего обоснования поочередно устанавливается зенит-прибор, центрирование которого выполняется либо оптическим центриром, либо для повышения оперативности механическим центриром. По контрольной рейке, закрепленной на выверяемой секции опалубки, выполняют отсчет и по формуле

$$R_{\text{факт}} = R_0 + a + b, \quad (47)$$

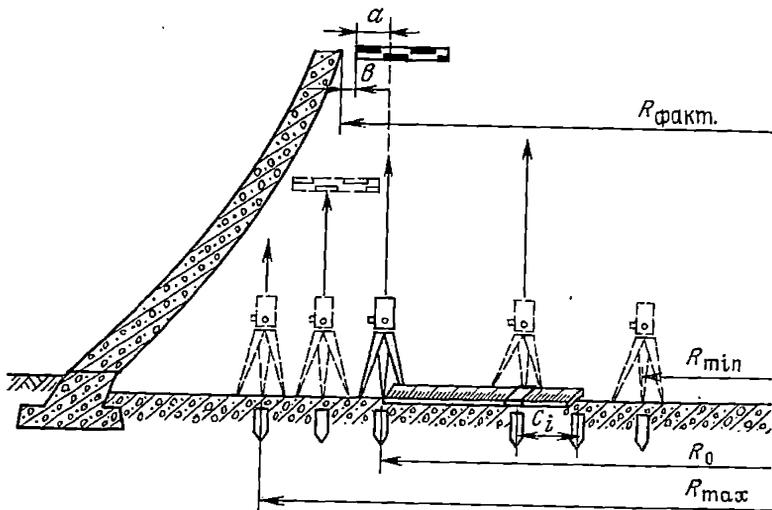


Рис. 37. Схема контроля положения опалубки с группы точек

где  $R_0$  — радиус закрепления точек рабочего обоснования;  $a$  — отсчет по контрольной рейке;  $b$  — расстояние от внутренней кромки щитов опалубки до нуля рейки, определяют фактический радиус опалубки. Результаты измерений используют для корректировки положения опалубки, что выполняется путем радиального перемещения секций опалубочного оборудования. По мере увеличения высоты сооружения контроль его положения производится с точек, расположенных ближе к центру сооружения.

Для сокращения количества знаков рабочего обоснования можно использовать специальную установочную рейку длиной 5—8 м с индексом (см. рис. 37), по которому производится установка зенит-прибора в любой точке интервала между знаками. Вычисление радиуса в этом случае выполняется с учетом отсчета по рейке.

Отклонение опалубки вычисляют как разность фактического радиуса установки опалубки, полученного по результатам контрольных измерений, и проектного, вычисляемого по измеренной высоте монтажного горизонта.

Значения проектных радиусов вычисляются для конических оболочек по формуле

$$R_{\text{пр}} = R_{\text{max}} - H_i \cdot \operatorname{tg} i,$$

и для гиперболических башен из выражения

$$R_{\text{пр}} = R_{\text{min}} \sqrt{1 + \frac{(H_i - H_0)^2}{2^2}},$$

где  $R_{min}$  — минимальный радиус башни;  $H_0$  — высота вершины гиперболы;  $z$  — размер вертикальной мнимой полуоси;  $H_i$  — текущая высота башни.

При использовании подъемно-переставной опалубки контроль ее положения выполняется через три яруса, например 3, 6, 9, и т. д. при трехъярусной системе возведения. Установка и контроль опалубки на остальных ярусах выполняются с помощью отвеса или оптических центриров, установленных на специальных консолях на опорных рамах.

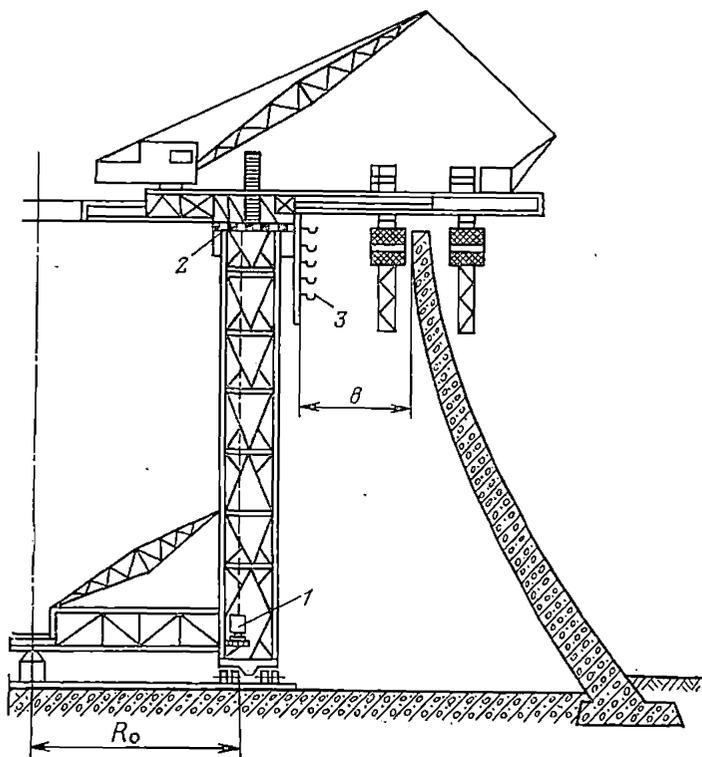


Рис 38. Схема контроля положения опалубки с кругового монтажного крана

При использовании кругового крана для монтажа башенных градирен, высоких цилиндрических резервуаров большого диаметра (рис. 38) объем и трудоемкость геодезических работ по вертикальному проектированию точек рабочего обоснования на монтажный горизонт могут быть значительно уменьшены путем установки зенит-прибора на кронштейне крана в точке 1 [32]. Закрепив в верхней части крана на подвижной обойме в горизонтальном положении нивелирную рейку 2 по направлению радиуса соору-

жения так, чтобы пятка рейки была направлена к оболочке градирни, производят при каждой остановке крана отсчеты по рейке по горизонтальной нити сетки зенит-прибора при двух его положениях (0 и 180°). Расстояние от центра сооружения до оси зенит-прибора измеряют по горизонтальной балке крана. При известном проектном радиусе величина домера от нуля рейки до контрольной точки опалубки определится по формуле вида (47).

Для разбивки положения щитов опалубки к торцу нивелирной рейки, перпендикулярно к ней, крепится шток 3 длиной 2—3 м с

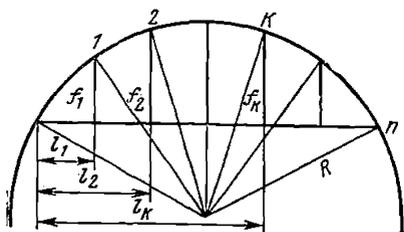


Рис 39. Разбивка осей домкратных рам способом перпендикуляров

рабочего обоснования. Величины разбивочных элементов  $l_i$  и  $f_i$  (рис. 39) вычисляются по формулам

$$l_i = 2R \sin \frac{k\psi}{2} \cos \frac{\psi}{2} (n - k),$$

$$f_i = 2R \sin \frac{k\psi}{2} \sin \frac{k\psi}{2} (n - k),$$

где  $\psi$  — центральный угол между направлениями на оси соседних домкратных рам, лизен или других разбиваемых элементов;  $n$  — количество элементов в секции, ограниченных хордой;  $k$  — порядковый номер разбиваемого элемента в секции.

Разбивка может быть выполнена методом бокового нивелирования при помощи теодолита и горизонтально установленной рейки, снабженной для фиксации выносимой точки особым башмаком.

При составлении программы геодезического обслуживания возведения башен должны быть предусмотрены в соответствии со схемами места расположения и способы закрепления контрольных точек на монтажном горизонте, устройство необходимых проемов и перекрытий, освещение визирных мишеней и целей, обеспечены связь между исполнителями, работающими на разных горизонтах, и безопасные условия труда.

Периодичность контроля планового положения устанавливается через 2—3 м по высоте сооружения или на каждой группе ярусов подъемно-переставной опалубки, но не реже одного раза в сутки.

## § 20. Геодезический контроль высотного положения башенных сооружений

Геодезические измерения при возведении башенных сооружений включают в себя контроль высотного положения их частей, элементов опалубочного оборудования или монтажной оснастки и разделяются на два этапа:

— передачу отметок на монтажный горизонт с целью установки по высоте в соответствии с проектом технологических элементов и закладных частей;

— нивелирование монтажного горизонта для получения данных о высотном положении монтажного оборудования и обеспечения вертикальности последующих ярусов сооружения.

В качестве временной высотной основы на монтажном горизонте закрепляются рабочие реперы, на которые передаются отметки и которые принимаются за исходные при нивелировании. Количество рабочих реперов зависит от числа станций в нивелирных ходах, прокладываемых на монтажном горизонте. При возведении труб, копров, ретрансляторов и других одиночных сооружений устанавливается один репер, на градирнях, блоках силосов — два репера.

Точность передачи отметок на монтажный горизонт или рабочий пол опалубки, последующего нивелирования элементов опалубочного оборудования и исполнительной съемки положения закладных деталей устанавливается исходя из нормативных требований, в соответствии с нижеизложенными соображениями.

Передача отметок при возведении цилиндрических сооружений должна обеспечить сборку основного технологического оборудования, для чего, как правило, геодезические работы по определению высотного положения элементов и конструкций относительно реперов исходного горизонта достаточно выполнить с точностью, характеризующейся величинами относительных ошибок от  $1/3000$  до  $1/5000$ .

Исходной для определения погрешностей передачи отметок при возведении конических башен является точность обеспечения планового положения конструкций, устанавливаемая для монолитных железобетонных сооружений на основании выражения (1), равная  $0,002H_i$ , но не более 100 мм. Тогда средняя квадратическая погрешность геодезических работ определится по формуле (3), а погрешность в определении проектного радиуса за счет погрешности передачи отметок  $m_{RH}$  — из выражения (16) и при равном влиянии составляющих погрешностей будет равна

$$m_{RH} = 0,1\delta_{с.м.}$$

С учетом (22) погрешность определения отметки элементов опалубочного оборудования определится как

$$m_H = \frac{0,1\delta_{с.м.}}{\operatorname{tg} i}. \quad (48)$$

Учитывая, что

$$m_H = \sqrt{m_{\Delta H}^2 + m_h^2},$$

где  $m_{\Delta H}$  — погрешность передачи отметки со строительного репера исходного горизонта на рабочий репер монтажного горизонта;  $m_h$  — погрешность нивелирования верха держателей опалубки или ее других элементов, по отметке которых устанавливается радиус сооружения, приняв  $m_{\Delta H} = m_h$ , запишем выражение для вычисления  $m_{\Delta H}$

$$m_{\Delta H} = \frac{0,1\delta_{с.м}}{\sqrt{2} \operatorname{tg} i}. \quad (49)$$

Величина угла наклона образующей оболочек градирен обычно не превышает  $20^\circ$ , а стволов труб и антенных комплексов  $5-7^\circ$ . Требуемая точность передачи отметок на монтажный горизонт может быть определена по формуле (49), например, для башенных градирен высотой 150 м:  $m_{\Delta H} = 19$  мм, что по величине относительной погрешности составляет 1 : 7500.

Для стволов дымовых труб и других сооружений, имеющих малую величину уклона образующих, точность передачи отметки определяется требованиями к высотному положению закладных частей.

Точность нивелирования монтажного горизонта и определение высотного положения элементов опалубки устанавливаются исходя из требований к точности монтажа каждого яруса опалубки в соответствии с табл. 11 (п. 3 и 4). Приняв допустимую разность в отметках выверяемых элементов опалубки равной 10 мм, с учетом (3) получим

$$m_{\Delta h} = 2 \text{ мм.}$$

При нивелировании верхних кружал, поверхности рабочего пола или ригелей домкратных рам, выполняемом для труб обычно с одной установки нивелира в центре рабочего пола, указанная точность обеспечивается нивелированием по программе III класса.

Точность нивелирования монтажного горизонта в случае продолжения нивелирного хода по периметру сооружения определится из формулы

$$m_{\Delta h} = \eta \sqrt{n},$$

где  $\eta$  — средняя квадратическая погрешность определения превышения на станции;  $n$  — число станций хода.

Передачу отметок в сооружениях большого диаметра, например градириях, для контроля проводят в двух диаметрально противоположных пунктах, между которыми прокладывается нивелирный ход. Тогда величина  $\eta$  определится из выражения

$$\eta = \frac{\sqrt{2} \cdot m_{\Delta h}}{\sqrt{n}}.$$

При числе станций в каждой секции, равном трем,  $\eta=1,7$  мм, а при  $n=4$ ,  $\eta=1,4$  мм. Учитывая короткие длины сторон хода, нивелирование элементов опалубки градирни можно также выполнять по методике III класса с определением превышений по двум сторонам рейки в прямом и обратном ходе.

Передачу отметок на монтажный горизонт выполняют двумя нивелирами и компарированной рулеткой по традиционной схеме. Отметка строительного репера  $H_0$  на исходном горизонте совпадает обычно с полом первого этажа, верхней плоскостью стакана фундамента или дном водосборного бассейна и принимается за нуль чистого поля.

Отметка рабочего репера  $H_p$  определяется по формуле

$$H_p = H_0 + (a - b) + (l_2 - l_1) + \Delta t + \Delta k - \Delta T - \Delta l,$$

где  $a$ ,  $b$  — отсчеты по рейкам, установленным на исходном и рабочем реперах;  $l_1$ ,  $l_2$  — отсчеты по рулеткам;  $\Delta t$  — поправка в длину рулетки за разность температур компарирования и измерения;  $\Delta k$  — поправка за компарирование.

Поправка  $\Delta T$  в длину рулетки за разность температур сооружения  $t_6$  и рулетки  $t_i$  учитывается только при солнечном нагреве башен и вычисляется по известной формуле

$$\Delta T = \alpha_6 H_i (t_6 - t_i).$$

Поправка  $\Delta l$  за удлинение рулетки под действием массы груза определится по формуле

$$\Delta l = \frac{PH_i}{2EF},$$

где  $P$  — масса груза;  $E$  — модуль упругости, равный для стали  $2 \cdot 10^{11}$  Па;  $F$  — поперечное сечение рулетки.

Для стандартных стальных рулеток типа РВ и РК длиной 30, 50, 75 и 100 м, обычно используемых при геодезических работах,

$$\Delta l = 0,0125PH_i \text{ мм},$$

где  $H_i$  — высота передачи отметки, м.

Средняя квадратическая погрешность передачи отметки при числе промежуточных передач, равном  $k$ , определится [40] по формуле

$$m_{\Delta H} = \sqrt{(4m^2 + m_i^2 + m_T^2 + m_k^2 + m_l^2)} k, \quad (50)$$

где  $m$ ,  $m_i$ ,  $m_T$ ,  $m_k$  и  $m_l$  — погрешности отсчета по рейкам и рулетке и определения соответствующих поправок.

Наибольшее влияние на точность передачи отметок в формуле (50) оказывает погрешность определения поправки  $\Delta T$ , вычисляемая [31] по формуле

$$m_T = l \cdot 10^{-6} \sqrt{(t_6 - t_i)^2 + 144m_{\Delta T}^2},$$

где  $m_{\Delta T}$  — погрешность определения разности температур сооружения и рулетки.

При разности температур сооружения и рулетки в  $5^\circ\text{C}$  погрешность определения величины поправки  $\Delta T$  составляет для высот 100 и 200 м соответственно 2,5 и 5 мм.

Приняв в формуле (50) другие составляющие погрешность равными 1 мм, при использовании рулетки типа РК 50 для высот 50, 100 и 200 м погрешности передачи отметок будут равны соответственно 3,0; 6,0; 11 мм.

При передаче отметок рассматриваемым методом целесообразно использовать рулетки большой длины (100, 150 м) с пластиковым покрытием полотна, имеющие четкие деления и малый коэффициент линейного расширения. Передачу рекомендуется выполнять в моменты остановки опалубки.

Для избежания колебаний рулеток под действием восходящих ветровых потоков целесообразно закреплять их вдоль вертикальных элементов кранов и шахтоподъемников. Для контроля отметка передается по двум стойкам. Отметка репера 13 (см. рис. 32) на стойке шахтоподъемника принимается как средняя из двух, полученных путем промеров по стойкам от исходного горизонта.

Установка нивелира при передаче отметок выполняется либо на специальных кронштейнах, привариваемых к направляющим стойкам щитов по внутреннему радиусу сооружения, либо на штативе 14 на рабочем полу опалубки или шахтного подъемника.

При использовании для монтажа подъемно-переставной опалубки центровых подъемных кранов большой высоты нивелир может быть установлен на ригелях крана, которые должны быть изолированы от воздействия наблюдателя.

Для цилиндрических сооружений высотой до 100 м может быть рекомендовано отсчетное устройство с рулеткой, применение которого позволяет использовать только один нивелир на монтажном горизонте, что достигается закреплением нуля рулетки на исходном горизонте на высоте, равной высоте визирной оси прибора над полом опалубки.

При относительной погрешности определения высоты до 1 : 2000 может быть использован способ передачи отметки по рейкам, устанавливаемым в вертикальном положении в тело башни и наращиваемым по мере подъема опалубки.

При строительстве высотных сооружений для передачи высот на монтажный горизонт или рабочий пол опалубки находят применение длиномеры, принцип действия которых основан на определении длины проволоки, разматываемой с барабана. В качестве такого прибора может быть рекомендован к использованию автоматический длиномер ДА-2, снабженный ручной лебедкой, в котором барабан с намотанной на него проволокой и мерный диск с отсчетной шкалой смонтированы на общей горизонтальной оси. Шкала диска с ценой деления, равной 1 см, позволяет производить отсчеты до миллиметра на глаз. Использование длиномера позволяет определять высоту монтажного горизонта по разности

отсчетов счетчика в моменты механического или электрического контакта груза на конце проволоки с физически установленными поверхностями исходного и монтажного горизонтов.

В комплект длиномера, переоборудованного для измерения высот, входят груз-рейки и контрольные рейки круглой формы с сантиметровыми делениями, обеспечивающие возможность их использования при вращении [14].

Расстояние между груз-рейками и контрольными рейками устанавливается равным 1—2 м. Используя два нивелира, измерения ведут в следующем порядке:

— опускают проволоку с грузом до горизонта нивелира, установленного на рабочей площадке, и берут отсчеты по счетчику, груз-рейке и нивелирной рейке, стоящей на рабочем репере или связующей точке;

— при дальнейшем опускании груза в момент прохождения горизонта нивелира контрольной рейкой спуск прекращают и указанные отсчеты повторяют;

— аналогично выполняются две серии отсчетов при пересечении грузом и контрольной рейкой горизонта второго нивелира, установленного на исходном горизонте.

Отметка рабочего репера  $H_p$  определится по формуле

$$H_p = H_0 + (a - b) + \Delta c + \Delta N + r + \sum_{i=1}^n \Delta h_i,$$

где  $H_0$  — отметка репера исходного горизонта;  $a$ ,  $b$  — отсчеты по рейкам, установленным на реперах исходного и монтажного горизонтов;  $\Delta c$  — разность отсчетов по груз-рейке на двух горизонтах;  $\Delta N$  — разность отсчетов по счетчику мерного диска;  $r$  — постоянная прибора;  $\sum \Delta h_i$  — сумма поправок в длину проволоки.

Основной поправкой является поправка за компарирование, которая вычисляется по формуле

$$\Delta h_k = \Delta N (l - 1),$$

где  $l$  — длина окружности диска по паспорту.

Поправка за диаметр проволоки определяется через выражение

$$\Delta h_d = 0,0012\pi d \Delta N,$$

где  $d$  — диаметр проволоки, равный для ДА-2 0,8 мм.

Контроль передачи высот длиномером проводится по разности отметок рабочего репера на монтажном горизонте, определенной по груз-рейкам и контрольным рейкам, которая не должна превышать величины  $\Delta H_{\text{доп}} = 0,0002 H_i$ .

Автоматический длиномер ДА-2, так же как и другие приборы этого типа, удобен в работе, обеспечивает весь возможный диапазон измерений по высоте и точность передачи отметок не ниже 1 : 10 000.

Для привязки по высоте конструкций башенных сооружений и закладных деталей на них может использоваться метод тригонометрического нивелирования, при котором передача отметок осуществляется наклонным визированием с пунктов рабочего обоснования или центра сооружения. Превышение, измеренное этим методом, определится по известной формуле

$$h = S \operatorname{ctg} z + i - l,$$

где  $S$  — расстояние от теодолита до визирной цели;  $z$  — зенитное расстояние;  $i, l$  — высота инструмента и визирной цели.

Точность передачи отметок методом тригонометрического нивелирования через средние квадратические погрешности измеренных величин  $S, z, i, l$  может быть подсчитана по формуле

$$m_h^2 = \operatorname{ctg}^2 z \cdot m_S^2 + \frac{S^3}{\sin^4 z} \frac{m_z^2}{\rho^2} + (m_i^2 + m_l^2). \quad (51)$$

Определим условия использования метода тригонометрического нивелирования для передачи отметок на монтажный горизонт. Исходя из принципа равного влияния погрешностей, в формуле (51) запишем

$$m_h = \operatorname{ctg} z \cdot m_S \sqrt{3};$$

$$m_h = \frac{S}{\sin^2 z} \frac{m_z}{\rho} \sqrt{3}.$$

Разделив обе части этого выражения на  $h$ , получим

$$\frac{m_h}{h} = \frac{S}{h} \frac{m_z \sqrt{3}}{\rho \sin^2 z},$$

и с учетом того, что

$$\frac{S}{h} = \operatorname{tg} z,$$

запишем

$$\frac{m_h}{h} = \frac{2m_z \sqrt{3}}{\rho \sin 2z}.$$

Приняв в соответствии с вышеприведенными расчетами  $m_h/h = 1 : 5000$ , получим

$$m_z = 12 \sin 2z. \quad (52)$$

При средней квадратической погрешности измерения зенитного расстояния, равной  $10''$ , получим  $z = 28^\circ$ .

Запишем формулу для определения предельного значения зенитного расстояния при тригонометрическом нивелировании

$$\operatorname{tg} z = \frac{\sqrt{3} m_S}{m_h}.$$

Приняв относительную погрешность определения расстояний равной точности создания рабочего обоснования, т. е. 1:10 000, получим  $z=42^\circ$ .

Таким образом, тригонометрическое нивелирование из центра сооружения как метод передачи может быть использовано для высот, не превышающих значений радиусов монтируемого яруса ( $z \geq 45^\circ$ ).

В период возведения башенных сооружений одним из основных требований является обеспечение горизонтальности рабочего пола опалубки или ее направляющих элементов, так как отклонение от горизонтали приводит к наклону и кручению сооружений, неравномерному распределению нагрузок, а также срывам бетона из-за нарушения конусности щитов.

Наклон рабочего пола по результатам нивелирования диаметрально противоположных точек пола определится по формуле

$$\varphi = \frac{a_{\max} - a_{\min}}{2R},$$

где  $a_{\max}$ ,  $a_{\min}$  — максимальный и минимальный отсчеты по рейке при нивелировании монтажного горизонта.

Нивелирование домкратных рам или кружал опалубки выполняется с использованием укороченных шашечных реек. При работе с рейкой, имеющей подвижную шкалу, превышения определяют по отношению к той точке, на которой на рейке был установлен нулевой отсчет. При нивелировании точек монтажного горизонта каждую новую станцию на рабочем полу опалубки выбирают с таким расчетом, чтобы была видна точка, отсчет по которой равен нулю. По результатам нивелирования составляется исполнительная схема высотного положения опалубки, которая является исходным документом для корректировки положения опалубки и монтажа следующего яруса.

Для выравнивания рабочего пола скользящей опалубки на домкратных стержнях окрашивается горизонт инструмента и устанавливаются шайбы, дойдя до которых домкраты, работающие с опережением, совершают «шаг на месте», в то время как остальные домкраты продолжают подъем до заданного уровня.

При отклонении возводимого сооружения от вертикали подъем опалубки ведут при наклонном положении рабочего пола. Величина создаваемого наклона рассчитывается в зависимости от величины отклонения сооружения от проектного положения и радиуса опалубки. Наклон рабочего пола на каждом ярусе проверяют путем нивелирования домкратов, постепенно уменьшая его при возвращении сооружения в проектное положение.

При использовании самоподъемных подъемно-переставных подмостей (рис. 40) отметку измерительных реек 1 можно получить в процессе монтажа среднего яруса нивелированием кронштейна с измерительной рейкой путем совмещения нуля нивелирной рейки 2 с верхом измерительной рейки. Горизонт инструмента 3, установленного на кронштейне выполненного яруса, получают путем

отсчета по рулетке 4, подвешенной к элементам яруса с измерительными рейками.

Для обеспечения постоянного контроля высотного положения секций опалубки и горизонтальности рабочего пола могут быть использованы лазерные нивелиры с разверткой луча в горизонтальной плоскости, устанавливаемые на консолях рабочей площад-

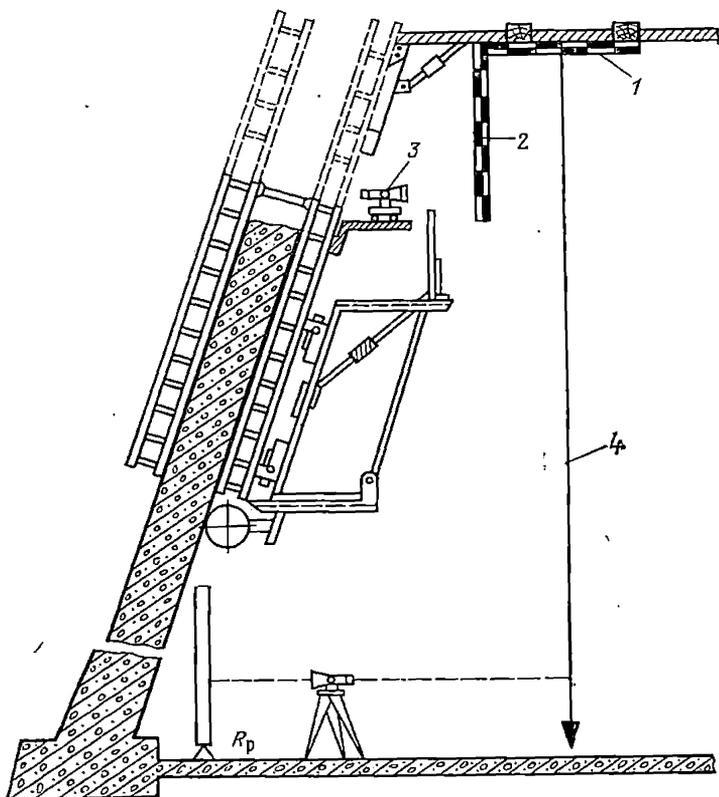


Рис. 40. Схема нивелирования измерительных реек самоподъемных подмостей

ки или подъемного агрегата. В строительстве сооружений сложной формы в скользящей опалубке находят применение стационарные гидростатические системы.

Весьма перспективно для целей контроля горизонтальности рабочего пола — использование электронных уровней, постоянно закрепленных на радиальных балках опалубки и позволяющих корректировать ее положение в процессе возведения башен.

## § 21. Геодезический контроль монтажа сборных и секционных сооружений

В связи с развитием индустриальной базы, выпускающей широкую номенклатуру железобетонных изделий, определенное распространение получило возведение сборных башенных сооружений. Этим методом, как правило, осуществляется строительство шахтных копров, силосов, дымовых труб незначительной высоты. Широкое применение при возведении сооружений связи находят металлоконструкции. Возведение сборных железобетонных и металлических башен выполняется обычно одним из четырех распространенных методов: наращивания, подрачивания, подъема и методом поворота вокруг шарнира. Использование того или иного метода зависит от условий строительства и наличия соответствующего монтажно-подъемного оборудования.

На монтаже сборных башенных сооружений комплекс геодезических и контрольных работ определяется последовательностью строительно-монтажных работ и включает в себя:

- контроль точности изготовления используемых элементов и конструкций и их разметку;
- обеспечение установки конструкций на монтажном ярусе в проектное положение;
- проведение исполнительных съемок фактического положения смонтированных конструкций.

Условия монтажа высотных башенных сооружений затрудняют проведение доводочных работ на монтажном горизонте, что усугубляет жесткие требования к ведению входного контроля геометрических параметров элементов, к которому привлекаются как служба линейного контроля, так и геодезисты. При строительстве сборных и секционных сооружений, как правило, проводится сплошной контроль габаритов по всем параметрам, оказывающим влияние на точность сборки самого сооружения. Кроме линейных размеров для крупноэлементных и объемных конструкций проводится проверка их форм и взаимного положения поверхностей.

Фактические отклонения линейных размеров элементов от проектных, определяющие точность их изготовления по длине, ширине, высоте, толщине или диаметру, точность размеров и положения выступов, выемок, проемов, крепежных деталей, а также точность положения наносимых на элементы ориентиров, не должны превышать допусков, установленных ГОСТ 21779—82 «Технологические допуски» в зависимости от номинального размера  $L$  и приведенных в табл. 13.

Контроль габаритов выполняется металлическими рулетками с использованием для фиксации граней различных уголков упоров. Широкое применение находят измерительные телескопические рейки и шаблоны.

Для секционных металлических башен при проверке монтируемых элементов важен контроль их прямолинейности, величины отклонений от которой не должны превышать допусков, указанных

Таблица 13

Интервал номинального размера, мм	Значение допуска для класса точности, мм					
	1	2	3	4	5	6
1000—1600	1,0	1,6	2,4	4,0	6,0	10,0
1600—2500	1,2	2,0	3,0	5,0	8,0	12,0
2500—4000	1,6	2,4	4,0	6,0	10,0	16,0
4000—8000	2,0	3,0	5,0	8,0	12,0	20,0
8000—16 000	2,4	4,0	6,0	10,0	16,0	24,0
16 000—25 000	3,0	5,0	8,0	12,0	20,0	30,0
25 000—40 000	4,0	6,0	10,0	16,0	24,0	40,0

Таблица 14

Интервал номинального размера, мм	Значение допуска для класса точности, мм					
	1	2	3	4	5	6
1000—1600	2,4	4	6	10	16	24
1600—2500	3,0	5	8	12	20	30
2500—4000	4,0	6	10	16	24	40
4000—8000	5,0	8	12	20	30	50
8000—16 000	6,0	10	16	24	40	60
16 000—25 000	8,0	12	20	30	50	80
25 000—40 000	10,0	16	24	40	60	100

в табл. 14. Как правило, на отдельные типы сооружений допуски на указанные геометрические параметры устанавливаются ведомственными инструкциями и требованиями. Так, например, для металлических антенных опор сооружений связи стрела прогиба пояса башни не должна превышать  $1/750$  длины выверяемого участка.

В соответствии с табл. 14 устанавливаются допуски и для неплоскостности элементов и конструкций.

При определении прямолинейности и неплоскостности используется метод бокового нивелирования с помощью теодолита, а при горизонтально расположенных элементах — метод геометрического нивелирования. Для определения взаимного положения поверхностей в укрупненных монтажных блоках или элементах на строительной площадке может быть разбит и закреплен контрольный полигон (рис. 41, а) или использована двухплоскостная оптическая насадка на теодолит (рис. 41, б).

В отдельных случаях эффективно при определении габаритов элементов сложной формы или призматических металлоконструкций использовать метод координат с последующим аналитическим или графическим определением величин искажений.

Для обеспечения требований безопасного ведения монтажных работ основным методом геодезического контроля возведения сборных сооружений является метод наблюдения с пунктов внешнего обоснования, закрепляющих либо главные оси сооружения, либо диагональные направления горизонтальных сечений. В этом случае установка каждого яруса регулируется по маркам, нанесен-

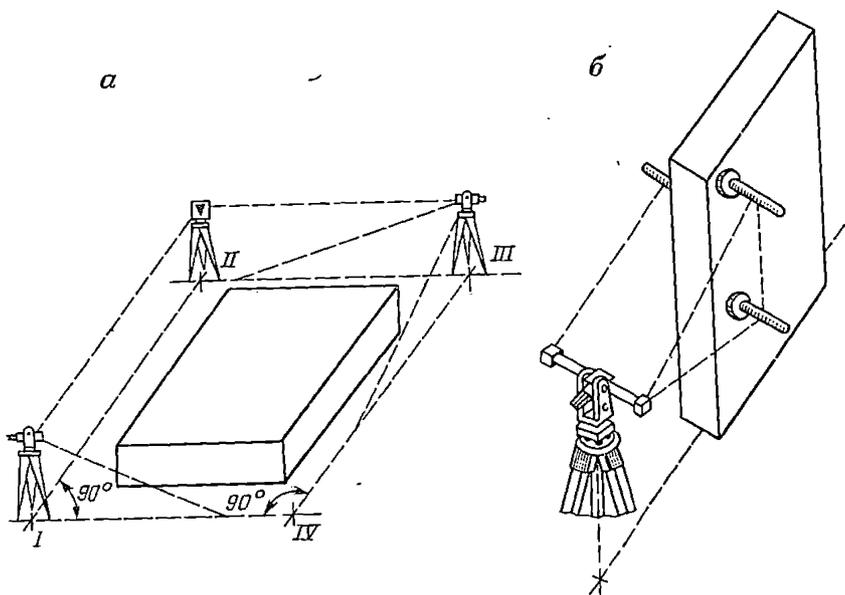


Рис 41. Определение геометрических параметров конструкций

ным предварительно на середине верхних поясов каждой секции. При необходимости разбивки рабочих осей на монтажном горизонте их вынос и закрепление производится аналогично монолитным сооружениям.

Правильность установки сборных элементов в отвесное положение проверяется теодолитами, устанавливаемыми по направлению их взаимно перпендикулярных осей.

Точность монтажа элементов сборных бетонных сооружений устанавливается СНиП III-16—80 «Бетонные и железобетонные конструкции сборные» и не должна превышать значений, указанных в табл. 15.

Определенная специфика характеризует производство геодезических работ при возведении сборных цилиндрических сооружений: труб, опор, монтаж которых производится в горизонтальном положении на земле с последующим подъемом в вертикальное положение при помощи мачт.

Установку царг трубы, начиная с докольной, выполняют посредством домкратов и подкладок с контролем горизонтальности

№ п/п	Наименование отклонения	Величина отклонения, мм
1	Смещение осей колонн и объемных блоков относительно разбивочных осей ориентирных рисков	5
2	Отклонение осей колонн в верхнем сечении относительно разбивочных осей при высоте колонны:	
	до 8 м	20
	от 8 до 16 м	25
	от 16 до 25 м	32
	свыше 25 м	40
3	Смещение осей ригелей и балок по нижнему поясу относительно осей на опорных конструкциях	5
4	Отклонение расстояний между осями балок, перекрытий в уровне верхних поясов от проектных	20
5	Разность отметок верха колонн в пределах выверяемого участка	10

по нивелиру. После окончания сборки всех царг вторично проверяют горизонтальность всех собранных элементов, прямолинейность трубы по образующим и соосность отверстий в горизонтальных сечениях для обеспечения прохождения продольной предвительно напряженной арматуры.

Непосредственно перед подъемом должна быть проведена исполнительная съемка собранного сооружения и проверена вертикальность мачт и, путем регулирования натяжения вант, исправлено их положение. Демонтаж мачт выполняют только после проверки вертикальности закрепленного в фундаменте сооружения.

При монтаже сборных башенных сооружений при помощи башенного или самоподъемного крана все геодезические работы по высотному определению положения царг на монтажном ярусе проводятся с ригелей крана, где устанавливается нивелир.

Сооружение металлических башен с наклонными опорами требует дополнительного развития обоснования на исходном горизонте (рис. 42). Перенесение осей выполняется проектированием створа на монтажный горизонт с помощью теодолитов или вертикальным проектированием от точек, закрепленных внутри контура сооружения. Для обеспечения надежности сохранения осей их направление должно быть закреплено дополни-

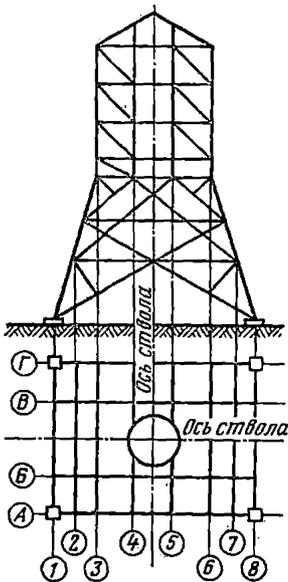


Рис 42. Схема осей металлической башни с наклонными опорами

тельно на цоколе фундамента или нижних ригелях башни. Окончательная выверка всего объемного блока яруса производится после введения всех связей и постоянного его закрепления.

Для удобства измерений при установке и проверке вместо рисок на наклонных стойках и ригелях сборных элементов могут наноситься масштабные шкалы с ценой деления 1 см, что значительно упрощает корректировку положения конструкций и позволяет производить исполнительную съемку без дополнительных измерений.

## § 22. Применяемые приборы и методика их использования

Спецификой инженерно-геодезического обслуживания строительства башенных сооружений является значительный объем работ по перенесению положения точек геодезического обоснования на монтажный горизонт, выполняемый механическими отвесами или оптическими приборами.

Наибольшее распространение при геодезических работах по вертикальному проектированию получил прибор с самоустанавливающейся линией визирования PZL (прецизионный зенит-лот) производства «Карл Цейсс» Йена, обеспечивающий при наклоне оси вращения в пределах  $\pm 10'$  установку визирной оси в вертикальное положение с погрешностью не более  $0,6''$ . Поле зрения трубы прибора обеспечивает диаметр наблюдаемого участка на высоте 100 м в 2,3 м.

Следует указать, что конструктивно маятниковый компенсатор прибора обеспечивает построение вертикальной плоскости, проходящей через ось окуляра зрительной трубы, и строгая компенсация углов наклона происходит только в этой плоскости. Вследствие этого методика работы с PZL включает отсчеты по визирной мишени при четырех положениях окуляра прибора: 0, 90, 180 и 270°. Средние из двух отсчетов, выполненных при положении зенит-прибора 0 и 180° или 90 и 270°, определяют координаты проекции центра знака на визирную мишень.

При выполнении точных работ следует иметь в виду, что при предельных углах наклона прибора в диапазоне работы компенсатора значительное влияние на точность построения вертикальной линии оказывает смещение точки компенсации, достигающее 0,5 мм, величина которого определяется по формуле

$$\Delta V = \frac{\tau'}{\rho'} d,$$

где  $\tau'$  — угол наклона оси прибора;  $d$  — расстояние от точки пересечения осей до точки компенсации.

Уменьшение этой погрешности может быть достигнуто тщательным нивелированием прибора.

Общая погрешность проектирования прибором PZL в зависимости от высоты наблюдения  $H$  вычисляется по эмпирической формуле [7]

$$m = (0,27 + 0,0141H), \text{ мм},$$

где первое слагаемое характеризует погрешность оптического центра прибора. Второй член формулы включает в себя погрешности установки линии визирования в вертикальное положение, визирования, отсчета по мишени и внешних условий. Анализ влияния названных факторов показывает, что при небольших высотах (до 50 м) на точность проектирования определяющее влияние оказывает погрешность центрирования, а для больших высот — внешние факторы, приводящие к отклонениям, в несколько раз превышающим допустимые.

Перед началом геодезических работ необходимо произвести проверки прибора для обеспечения следующих условий:

1. Ось цилиндрического уровня должна быть перпендикулярна к оси вращения прибора.
2. Ось круглого уровня должна быть параллельна оси вращения прибора.
3. Линия визирования должна совпадать с осью вращения прибора.
4. Ось оптического отвеса должна совпадать с осью вращения прибора.

Проверки уровней выполняют в установленном порядке. Для совмещения вертикальной составляющей линии визирования с осью вращения отnivelированный прибор визируют на палетку и, располагая горизонтальную нить сетки зрительной трубы параллельно одной из координатных осей, берут отсчет  $b_{0^\circ}$  и после поворота трубы на  $180^\circ$  — отсчет  $b_{180^\circ}$ . Вычисляют среднее значение и, действуя вертикальными исправительными винтами сетки нитей, перемещают нить до тех пор, пока отсчет по ней не будет равен  $b_{\text{ср}}$ .

Проверке положения оси оптического отвеса должно быть уделено особое внимание, так как погрешность центрирования при проектировании носит систематический характер. Эта проверка может быть выполнена путем проектирования с трех направлений теодолитом положения оси вращения зенит-прибора на горизонтальную пластину. По полученной в центре треугольника погрешностей точке с помощью юстировочных винтов устанавливается положение визирной оси центра. Эта проверка может быть выполнена путем закрепления алидадной части PZL так, чтобы визирная ось отвеса была горизонтальна. Тогда на вертикальной стене отмечают положение визирной оси отвеса при трех положениях триггера и юстируют сетку нитей по центральной точке.

Существенные преимущества при проведении геодезических работ обеспечивает использование приборов двустороннего визирования. ПОВП снабжен поворотной пентапризмой, позволяющей выполнять визирование как в зенит, так и в надир, что обеспечивает указанную универсальность его использования. Наличие устройства горизонтального перемещения в пределах  $\pm 10$  мм значительно упрощает центрирование прибора над знаками обоснования. ПОВП снабжен зрительной трубой с самоустанавливающейся

ся линией визирования, обеспечивающей в пределах  $\pm 10'$  установку визирной оси по вертикали.

Однако из-за погрешности в изготовлении прямого угла пентапризмы отклонение визирной оси от вертикали может быть значительным. Для юстировки над прибором на двух разных высотах  $h_1$  и  $h_2$  закрепляют марки и определяют значение места нуля прибора по формуле

$$MO_i = \frac{a_0 + a_{180^\circ}}{2},$$

где  $a_0, a_{180^\circ}$  — отчеты по микрометру подвижной части прибора при двух положениях трубы прибора при наведении на штрих марки.

Угол наклона  $\alpha$  может быть вычислен по формуле

$$\alpha = \frac{MO_2 - MO_1}{h_1 - h_2} \rho'',$$

а отсчет, при котором линия визирования займет вертикальное положение, — из выражения

$$MO_{\text{ср}} = MO_1 - \frac{\alpha}{\rho''} h_1 = MO_2 - \frac{\alpha}{\rho''} h_2.$$

Для исправления угла  $\alpha$  устанавливают отчет  $MO_1$  и совмещают биссектор трубы с наблюдаемой маркой на высоте  $h_1$ . Затем устанавливают микрометрическим винтом отсчет  $MO_{\text{ср}}$ , в результате чего сетка нитей сместится со штриха марки. Исправительными винтами сетки нитей зрительной трубы горизонтальный биссектор вновь совмещают со штрихом наблюдаемой марки. Следует иметь в виду, что юстировка положения визирной оси прибора может проводиться только для одного из направлений (зенит или надир) в зависимости от методики использования прибора. Точность переноса точек по вертикали прибором ПОВП в относительной мере составляет 1/50 000.

Решение задачи разработки безопасного при работе прибора было выполнено в ГДР созданием прибора с ртутным зеркалом QNL. Принцип действия прибора основан на процессе автоколлимации отраженного изображения освещенной площадки от ровной поверхности ртутного зеркала, установленного на исходном горизонте [45]. Фиксацию проекции точки на монтажном горизонте выполняют путем перемещения зрительной трубы до момента совмещения изображений кольцевой марки. Для повышения точности центрирования устройства с ртутным зеркалом оборуется приспособлением для принудительного центрирования на знаке рабочего обоснования. Средняя квадратическая погрешность переноса точек по вертикали, характеризующая инструментальную точность прибора QNL, определяется по формуле

$$m = (0,3 \pm 10^{-5}), \text{ мм.}$$

В комплекте с приборами вертикального проектирования могут использоваться оптический отвес К-11 (ГДР) и двусторонний отвес ОДО, предназначенные для проектирования точек плановой основы на высоту до 10 м, а также для центрирования триггеров приборов, не имеющих встроенных оптических отвесов.

Основные технические характеристики приборов вертикального проектирования приведены в табл. 16.

Таблица 16

Характеристика	С визиранием в зенит		
	ОПП	PZL	TELM
	СССР	ГДР	ФРГ
Увеличение трубы, крат	31	31,5	42
Пределы визирования, м	3—500	2,0—500	2—600
Цена деления уровня, с			20
Точность самоустановки, с	0,3	0,2	
Диапазон действия компенсатора	10	10	
Точность проектирования	1:50 000	1:50 000	1:50 000
Масса прибора, кг	5,0	3,8	6,0

Продолжение табл. 16

Характеристика	С двусторонним визиранием			
	ОДО	ПОВП	OL	ZNL
	СССР	СССР	Швейцария	
Увеличение трубы, крат	2,5	31,5	22,5	10
Пределы визирования, м	2—20	2—500	1—100	1—100
Цена деления уровня, с	30		20	20
Точность самоустановки, с		0,3		
Диапазон действия компенсатора		10		
Точность проектирования	1:50 000	1:50 000	1:50 000	1:30000
Масса прибора, кг	0,4	4,8	2,6	3,7

В обеспечении требуемой точности и эффективности производства геодезических работ важным является выбор оптимальной цены деления и формы разграфки визирных мишеней, которые используются при проектировании с исходного на монтажный горизонт. Точность отсчета по мишени без учета воздействия внешних условий определяется по формуле (20), где определение оптимальной цены деления в зависимости от высоты проектирования может быть выполнено по формуле

$$t_{MM} = 0,1H_{iM}$$

В практике производства геодезических работ визирные мишени изготавливают из белого или полупрозрачного материала с дву-

сторонней координатной сеткой. При строительстве сооружений незначительной высоты используют сетку со сторонами  $10 \times 10$  мм и делят ее на четыре четверти (рис. 43, а). Знак отсчета по осям принимается в соответствии с направлением сдвига элемента опа-

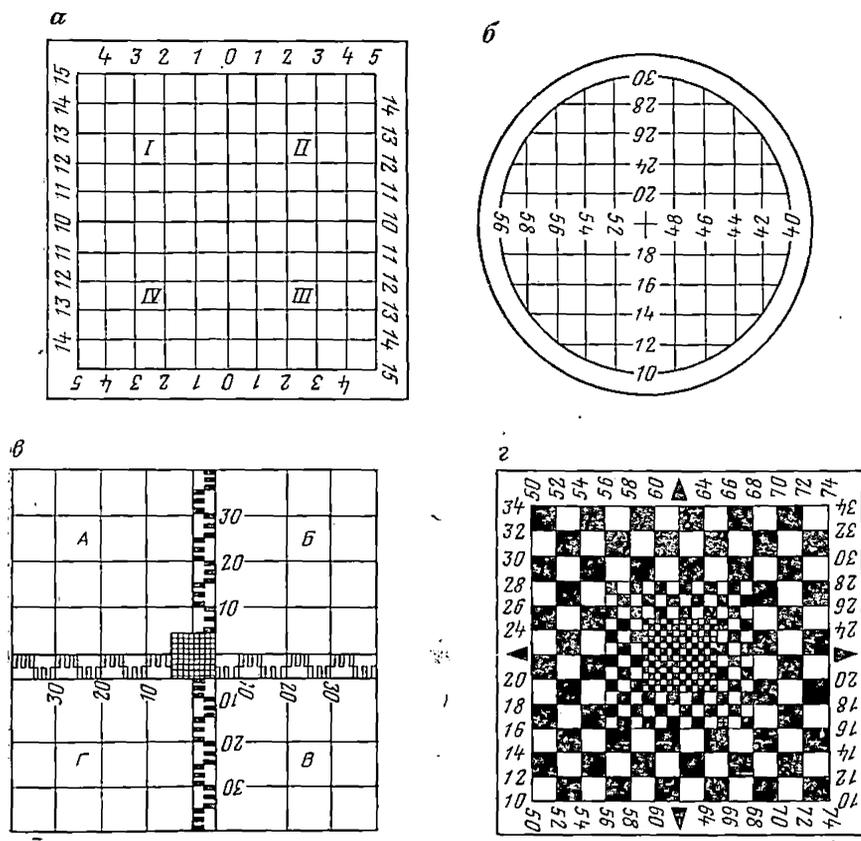


Рис. 43. Типы визирных мишеней

лукки или сооружения, на котором визирная мишень закреплена: плюс — внутрь возводимого сооружения, минус — наружу. При визировании на мишень, установленную над центром башни, или на две мишени, фиксирующие створ одной из осей, знаки отсчетов устанавливаются в соответствии с принятым направлением главных осей.

В сборных сооружениях визирные мишени для удобства их закрепления в технологических отверстиях перекрытий могут выполняться в виде палеток круглой формы (рис. 43, б).

Для надежного определения положения опалубки на различных высотах необходимо применять визирные цели с переменной

разграфкой (рис. 43, в). Используемые при строительстве высоких башен мишени представляют собой коробку из листового дюралюминия размером  $80 \times 80$  см, укрепленную на деревянном щите. Разграфка может быть выполнена одно- или двухцветной с разделением мишени на квадраты с буквенной нумерацией. По главным осям каждый квадрат разделен на сантиметровые деления по образцу нивелирной рейки, что обеспечивает точность определения положения мишени с погрешностью, не превышающей 1 см на высотах до 300 м.

Представленная на рис. 43, г мишень с разграфкой в 0,5; 1 и 2 см обеспечивает точность снятия по мишеням отсчетов:

- при цене деления 0,5 см на высоту до 50 м — 0,5 мм;
- при цене деления 1 см на высоту до 100 м — 1 мм;
- при цене деления 2 см на высоту до 200 м — 2 мм.

Подпись делений координатной сетки рекомендуется производить во всех направлениях с таким расчетом, чтобы при любом положении окуляра зенит-прибора изображение цифр было прямое. Все виды мишеней оборудуют освещением для работы в ночное время и в условиях плохой видимости.

Для высотных измерений при выверке опалубочного оборудования и нивелировании монтажного горизонта могут быть использованы как нивелиры, снабженные элевационным винтом и контактным уровнем, так и приборы с самоустанавливающейся линией визирования. Как показали различные исследования, выполненные на кафедре геодезии и обработки измерений МИИГАиК, ошибки превышений, определенных нивелирами с самоустанавливающейся линией визирования, во многом зависят от динамических условий измерений и возрастают для нивелиров НС4, НТСК в 3—5 раз. В этой связи следует избегать выполнения нивелирных работ при движении опалубки, укладке бетона и других технологических процессах, приводящих к вибрации места установки прибора.

Однако при строительстве сооружений небольшой высоты и значительной жесткости (многоблочные силосы, градирни) нивелиры с самоустанавливающейся линией визирования могут быть использованы в период отсутствия технологических вибраций.

Перспективными для использования при строительстве башенных сооружений являются геодезические приборы, в которых задание опорных направлений и плоскостей осуществляется с помощью лазеров.

Особенно эффективным и экономически выгодным является использование лазерных приборов при возведении монолитных башен, где необходимо непрерывное управление подъемом опалубки.

В ряде стран разработаны приборы для задания вертикального направления, реализующие один из методов:

— метод непосредственного вертикального проектирования, при котором вертикаль восстанавливается лазерным лучом прибора, закрепленным над знаком обоснования;

— метод проектирования с уровня монтажного горизонта на

зеркальную уровненную поверхность с использованием принципа автоколлимации;

— метод преломления, при котором над точками рабочего обоснования устанавливаются призмы, отклоняющие горизонтальный луч лазера.

Последний метод удобен при большом числе знаков обоснования, например при возведении башенных градирен (рис. 44), или при условиях, затрудняющих непосредственную установку геодезических приборов над ними. Отклонение элементов опалубочного оборудования относительно вертикали определяется непосредственно по расположению лазерного луча на мишени визуально или с помощью передвижного фоторегистрирующего устройства.

Учитывая большой объем работ по высотной выверке элементов опалубочного оборудования и установке в проектное положение закладных частей, при строительстве башен возможно широкое применение лазерных нивелиров, и в первую очередь приборов, обеспечивающих развертку лазерного луча в горизонтальную плоскость.

Одним из первых лазерных приборов, созданных для обеспечения возведения высотных сооружений, явился лазерный зенит-центрир ЛЗЦ-1, испытания которого проводились на строительстве Останкинской телебашни в Москве. Прибор был изготовлен на базе триангуляционного теодолита и лазера ОКГ-14, устанавливаемого вертикально на подставке прибора. Вертикальное положение пучка лазера задавалось высокоточным уровнем. Конструкция прибора обеспечивала точность проектирования на 100 м порядка 15—20 мм.

В настоящее время в СССР разработаны различные по конструкции и методу измерений лазерные приборы, предназначенные для задания вертикальных и горизонтальных направлений и плоскостей. К ним можно отнести лазерные измерительные приборы ПНЛ-1 и ПИЛ-1, созданные в ЦНИИОМТП Госстроя СССР, прибор ЛАГ-4, разработанный в МИИГАиК.

Прибор ПНЛ-1, в конструкции которого учтена специфика геодезических работ при контроле движения опалубки, исполнен в модульном варианте, что повышает его универсальность.

Аналогично выполнен ПИЛ-1, в котором комплект приспособлений позволяет решать практически все задачи геодезического обеспечения монтажа строительных конструкций.

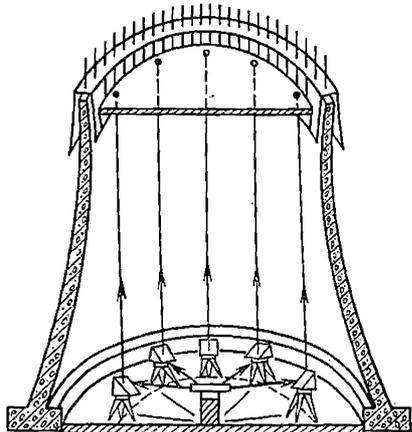


Рис. 44. Схема лазерной системы контроля положения опалубки

«Лазерный горизонт» (ЛАГ), изготавливаемый в различных модификациях, включает в себя лазерный излучатель, оптическую систему, блок-развертку луча в плоскость и визуальное или фотоэлектрическое регистрирующее устройство.

Технические характеристики некоторых лазерных приборов, используемых в строительстве, приведены в табл. 17.

Таблица 17

Наименование прибора	Назначение	Мощность, МВт	Дальность действия, м	Погрешность на 100 м, мм	Масса прибора, кг
«Дайл грейт» (ФРГ)	Задание направлений, уклонов, определение превышений	1	100	1	5
«Геоплан» (Швеция)	Задание горизонтальных плоскостей, определение превышений	1,5	150	2	6
LL-132 (ФРГ)	Задание вертикального направления	1	250	3	5
APLO-KP3 (ПНР)	То же	0,7	200	5	4
«Ротолэйт» (США)	Задание вертикальных и горизонтальных направлений	1	200	1	6
ПИЛ-1 (СССР)	То же	2	200	3	6
СКП-1	Задание горизонтальной плоскости	2	500	1	20
ЛАГ-4 (СССР)	Задание вертикального направления и горизонтальной плоскости	2	200	2	7

### § 23. Обеспечение монтажа и устройства технологического оборудования в башенных сооружениях

Сооружения башенного типа в основном являются несущими конструкциями, не имеющими отдельного технологического назначения (исключения здесь составляют емкости-силосы). Оборудование и установка технологических элементов проводятся, как правило, по окончании строительства башни с использованием закладных деталей, устанавливаемых в процессе возведения. Разбивка закладных деталей и различного рода проемов является сложным и ответственным этапом выполнения инженерно-геодезических работ. Конструктивные особенности используемых типов скользящих и переставных опалубок накладывают ряд ограничений на применение распространенных методов разбивочных работ и затрудняют производство контрольных исполнительных съемок.

В качестве исходных обычно используются основные оси башенных сооружений, вынесенные на монтажный горизонт и закрепленные по рабочему плану или на элементах опалубки. На круглых в плане сооружениях привязка закладных деталей и проемов в рабочих чертежах обычно дается в градусах или по длинам перпендикуляров к основным осям (рис. 45, а). Производить разбивку осей и вынос перпендикуляров при наличии большой загрузки

монтажного горизонта арматурой сооружения, фрагментами опалубки и при недостаточной устойчивости мест установки приборов затруднительно. В этих случаях целесообразным является составление разверток башен, в которых привязка закладных деталей дается только по окружности внутренней или внешней стены башни (рис. 45, б).

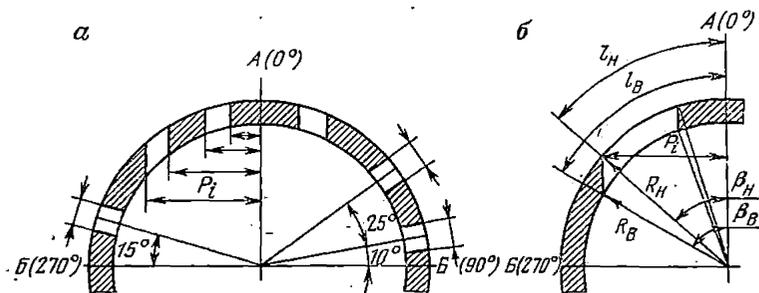


Рис. 45. Схема привязки проемов к осям сооружений

На развертках обозначают: наименование закладных деталей и проемов, их расстояние от ближайшей разбивочной оси в линейном измерении или по центральному углу, высотные отметки. Привязку к осям отдельных элементов выполняют независимо друг от друга. Фрагмент развертки, в котором расстояния до закладных деталей и обрамлений проемов подсчитаны по наружному радиусу сооружения, приведен на рис. 46. На фрагменте показаны радиальные проемы (Р-12, 13, 15), проемы, параллельные соответствующим осям (А-7, 8; Б-6), и пунктиром — внутренние закладные части.

При проектных длинах перпендикуляров  $p_i$  и величинах внутреннего и наружного радиусов  $R_B$  и  $R_H$  значения центральных углов и длин дуг для составления развертки вычисляют по известным формулам (см. рис 45, б):

$$\begin{aligned} \sin \beta_B &= \frac{P_i}{R_B}; & \sin \beta_H &= \frac{P_i}{R_H}; \\ l_B &= \frac{R_B \beta_B}{\rho}; & l_H &= \frac{R_H \beta_H}{\rho}. \end{aligned} \quad (53)$$

В развертках конических сооружений линейная привязка дается по дуге окружности на уровне закладной детали.

Рассмотрим некоторые условия выполнения этого метода разбивки. По требованиям нормативных документов (СНиП III-18—75 «Металлические конструкции»), технологические допуски на монтаж технологических и опорных элементов устанавливаются обычно в пределах  $\pm 10$  мм. Предельный угол  $\beta_i$  для разбивки закладных деталей от закрепленной на опалубке основной или вспомогательной оси определится из формулы (53). Так как в соответствии

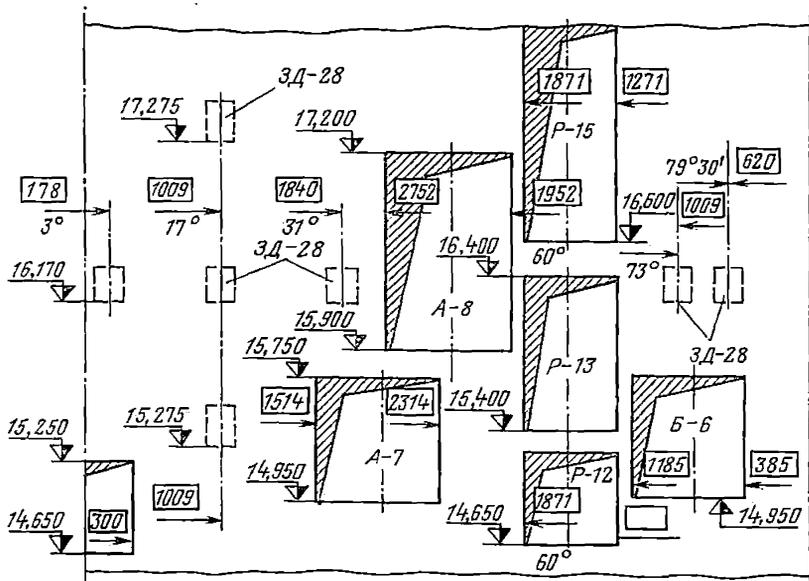


Рис. 46. Фрагмент развертки поверхности стены

с формулой (3) погрешность отложения дуги по внутренней или внешней оболочке дуги устанавливается  $m_e = 2$  мм, а реальная точность измерения рулеткой по окружности характеризуется величиной 1 : 2 000, то

$$\beta_i \leq \frac{2000m_i}{R} \rho.$$

Например, при диаметре трубы 10 м разбивка закладных деталей может производиться в обе стороны от разбивочной оси на угловую величину не более  $23^\circ$ .

При разбивке закладных частей в цилиндрических башенных сооружениях могут быть применены градусные рулетки, изготовленные путем разметки на обратной стороне рулеток углов привязки закладных деталей. При радиусах башен до 10 м необходимую точность отложения проектных углов обеспечивают градусные рулетки, размеченные через  $5'$ .

Сочетание метода отложения центральных углов теодолитом, установленным в центре рабочего поля или на площадке шахтоподъемника, с разбивкой проектных длин дуг, как правило, обеспечивает выносу закладных деталей в любых вариантах их расположения.

Специфика геодезических работ при монтаже технологического оборудования башен может быть показана на примере описания методики их выполнения при монтаже стволов и металлоконструкций в дымовых трубах.

В трубах и других сооружениях, возводимых без промежуточных перекрытий, монтаж оборудования выполняют с помощью подъемной платформы (где используется шахтное оборудование), к установке осей которой в проектное положение предъявляются высокие требования. Так, опорные точки, положение которых определяют точки сбега тросов с блоков на распорных балках подъемника, должны быть установлены по проектному радиусу в вершинах равностороннего треугольника с погрешностью не более 5 мм.

Все разбивочные работы при монтаже технологических площадок ведут на закрепленной на соответствующей отметке подъемной платформе от точек, спроектированных зенит-прибором с исходного горизонта. Перед разметкой точек фиксации балок производят проверку планового и высотного положения закладных деталей. Особенностью этого метода монтажа является его последовательность сверху вниз, и поэтому передача отметки ведется с уровня кровли сооружения. Балки технологических площадок монтируются от зафиксированных основных осей. Все работы ведутся полярным методом или методом перпендикуляров (рис. 47) от зафиксированных струнами осей, причем сначала устанавливают хордовые балки I—IV, а затем диаметрально балки.

Монтаж газоотводящих стволов выполняют подъемом укрепленных блоков (плетей), собранных из царг внутри трубы, отклонение длины которых от проектной не должно превышать  $2 \text{ мм} + 0,001l$ . Отклонение оси ствола в месте закрепления на техноло-

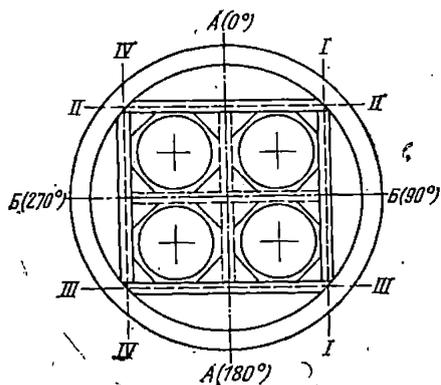


Рис. 47. Схема монтажа технологической площадки трубы

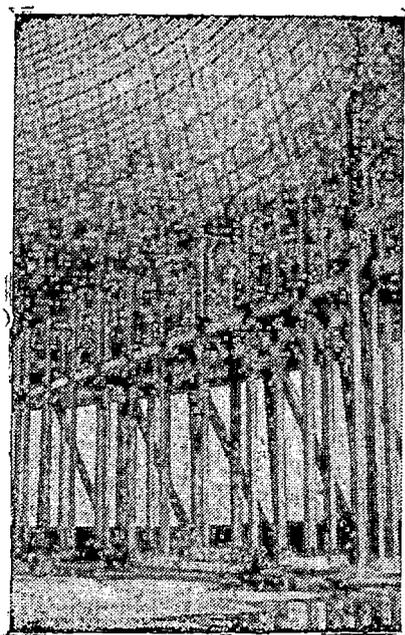


Рис 48. Каркас оросителя градирни

гической площадке допускается не более 0,003 высоты выверяемой точки над фундаментом.

В градирнях монтаж железобетонного каркаса оросителя (рис. 48) и водораспределительного устройства проводят после окончания всех работ по возведению оболочки башни, демонтажа подъемных агрегатов и устройства плиты днища бассейна. Перед монтажом фундаментов колонн каркаса выполняют нивелирование днища бассейна с целью проверки его горизонтальности. Установку колонн в проектное положение по вертикали проводят с использованием теодолитов по разбитой сетке колонн. Допускается использование метода бокового нивелирования.

Учитывая незначительное число ярусов оросителя, при установке колонн можно использовать метод линейной разбивки их положения, при котором инструментально по осям устанавливаются крайние колонны ряда, а промежуточные — по вычисленным в соответствии с проектом отсчетам по рулетке, закрепленной на крайних колоннах.

## § 24. Геодезические работы при монтаже специальных промышленных сооружений

В настоящее время монтаж некоторых сооружений башенного типа и аппаратов колонного типа производится подъемно-такелажными средствами методами поворота вокруг шарнира или подъема со скольжением низа конструкции. Применение подобных методов монтажа весьма прогрессивно, так как позволяет значительно сократить объемы верхолазных работ и упростить технологию многих процессов. В то же время возникает необходимость в проведении геодезических работ, отличающихся от тех, которые рассмотрены в предыдущих параграфах данной книги.

Следует отметить, что аппараты колонного типа и сооружения башенного типа могут поступать на строительную площадку полностью собранными, в виде отдельных секций длиной от 30 до 50 м и россыпью. В первом случае до установки в вертикальное положение на фундаменте проверяют соответствие размеров конструкции проектным, когда сооружение (аппарат) находится в горизонтальном положении. Во втором и третьем случаях на площадке, на месте сборки конструкции, закрепляют оси, относительно которых производится монтаж секций или отдельных элементов, на рольганге или специальных направляющих.

К аппаратам колонного типа, к которым, в частности, относятся ректификационные колонны, предъявляются весьма жесткие требования. Так, для них отклонение по длине корпуса не должно превышать 0,3 % от его номинальной длины, непрямолинейность аппарата не должна превышать 2 мм на 1 м и 20 мм по всей его длине. Эти отклонения контролируют створным методом или методом бокового нивелирования в горизонтальной плоскости и методом геометрического нивелирования в вертикальной плоскости. Съемку контрольных сечений производят при этом через каждые

10 м. При монтаже особенно ответственных конструкций целесообразно, с учетом отклонений конструкции в контрольных сечениях, выбрать окончательное положение монтажной оси сооружения. Для этого составляют план и продольный разрез лежащего на горизонтальной площадке сооружения, на которых показывают отклонения фактического центра (центра симметрии) конструкции относительно первоначально заданной оси.

Составляют уравнение уклонов всех фактических центров от оси:

$$\begin{aligned} V_1 &= Ax_1 + C - y_1; \\ V_2 &= Ax_2 + C - y_2; \\ &\dots \dots \dots \\ V_n &= Ax_n + C - y_n, \end{aligned}$$

где  $n$  — число контрольных сечений;  $x_i$  — координата центра сечения по продольной оси;  $y_i$  — координата центра сечения по поперечной горизонтальной оси.

Считая, что оптимальное положение оси должно удовлетворить условию  $\Sigma V_i^2 \rightarrow \min$ , составляют два нормальных уравнения

$$\begin{aligned} A \sum_{i=1}^n x_i^2 + C \sum_{i=1}^n x_i - \sum_{i=1}^n x_i y_i &= 0; \\ A \sum_{i=1}^n x_i + nC - \sum_{i=1}^n y_i &= 0. \end{aligned}$$

Коэффициенты уравнения искомой прямой находят по формулам

$$\begin{aligned} A &= \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i}{\sum_{i=1}^n x_i^2}; \\ C &= \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n}. \end{aligned}$$

Если сечения расположены через равные интервалы, то

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n x_i^2 &= \frac{p(p-1)(2p-1)}{3} S; \\ \sum_{i=1}^n x_i y_i &= S \sum_{i=1}^n k_i y_i, \end{aligned}$$

где

$$p = \frac{n+1}{2};$$

$$k_i = i - 1,$$

$S$  — расстояние между сечениями. Аналогичные расчеты выполняют с учетом отклонений в вертикальной плоскости. В итоге получают два уравнения прямой

$$Y = Ax + C;$$

$$Z = Bx + D,$$

где  $C$  и  $D$  есть ординаты пересечения искомых прямых с осями координат, а  $A$  и  $B$  — тангенсы углов между заданной и искомой осью соответственно в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Используя полученные уравнения, задают окончательно положение монтажной оси, по которой будут устанавливать конструкцию в вертикальное положение. Горизонтальную и вертикальную проекции этой оси переносят на корпус башни, как показано на рис. 49. При этом положение точек  $2, 2'$ ;  $4, 4'$  получают с помощью нивелирования, а точек  $1, 1'$ ;  $3, 3'$  — с помощью проецирования теодолитом или с помощью тяжелого отвеса. На концах оси  $MN$  для установки приборов и ориентирных марок можно устанавливать стационарные металлические штативы. Иногда вместо штативов устанавливают асбестоцементные трубы со столиками для крепления

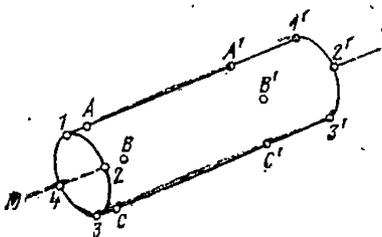
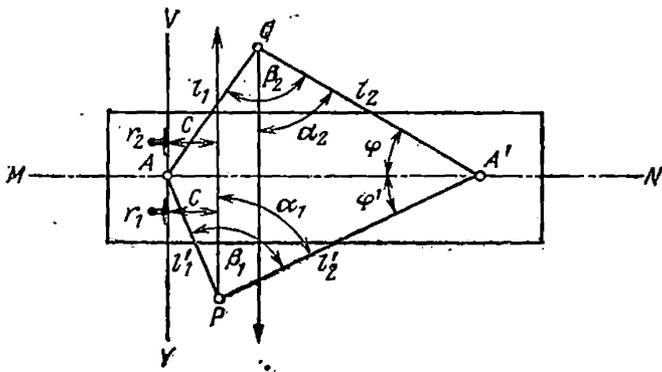


Рис. 49. Разметка осевых точек на башне

Рис. 50 Рабочая технологическая основа при монтаже сооружения в горизонтальном положении



приборов. Ось  $MN$  задают с помощью оптических приборов или с помощью лазерных визиров. До начала подъема необходимо убедиться, что каждые четыре точки  $1,1'$ ;  $3,3'$  и  $2,2'$ ;  $4,4'$  находятся в одной плоскости, проходящей через монтажную ось  $MN$ , а также необходимо проверить положение опорного кольца или закладных деталей на фундаменте сооружения.

В случае производства укрупнительной сборки или монтажа конструкции на строительной площадке из отдельных элементов, на месте производства работ устраивается ролегант.

После подъема конструкции на опорное кольцо или фундамент ее выверяют методом вертикального проектирования с трех или четырех точек. Наблюдения ведут с помощью теодолита при двух кругах, поочередно визируя на закрепленные конструкции нижние  $A, B, C$  и верхние  $A', B', C'$  марки (см. рис. 49). После окончания выверки производят определение крена башни одним из методов, указанных в гл. VI.

Необходимо отметить, что выверка аппаратов колонного типа может быть выполнена с помощью нивелирования [15]. Для этого предварительно, когда аппарат находится в горизонтальном положении, на его корпусе укрепляют реперы  $r_1, r_2, \dots$  (рис. 50), головки которых должны располагаться в плоскости, перпендикулярной к оси  $MN$ . Удобно использовать реперы с завинчивающейся головкой, которые можно вначале установить приближенно, а затем посредством ввинчивания или вывинчивания вывести на проектное положение.

Для установки реперов в проектное положение на площадке закрепляют вспомогательные точки  $P$  и  $Q$ , в треугольниках  $AQA'$  и  $APA'$  измеряют все стороны и углы  $\beta_1$  и  $\beta_2$  во вспомогательных точках. Из решения треугольников находят разбивочные углы  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  для построения нормали к оси  $MN$  и смещения этих нормалей  $C_1$  и  $C_2$  от проектной плоскости  $VV$ . Расстояния от нормали до плоскости  $VV$  при установке реперов в проектное положение задают при помощи реечки, снабженной индикатором часового типа или микрометром.

В случае, если ось аппарата не горизонтальна, в расстояния  $C_1$  и  $C_2$  вводят поправку за наклон. Среднюю квадратическую ошибку во взаимном положении двух реперов находят по формуле

$$M_r^2 = \left[ m_\alpha^2 + \frac{1}{n} (m_{(\alpha)}^2 + 2m_v^2) \right] \frac{S^2}{\rho^2} + \frac{1}{n} m_c^2,$$

где  $m_\alpha$  — средняя квадратическая погрешность вычисления угла  $\alpha$ ;  $m_{(\alpha)}$  — средняя квадратическая погрешность построения угла  $\alpha$ ;  $m_v$  — средняя квадратическая погрешность визирования на марку, установленную на реечке при измерении расстояний  $C_1$  и  $C_2$ ;  $S$  — расстояние между реперами;  $n$  — число приемов;  $m_c$  — средняя квадратическая погрешность отсчета по микрометру.

Для схемы определения положения нормали, показанной на рис. 52, средняя квадратическая погрешность  $m_\alpha$  может быть вычислена по формуле

$$m_{\alpha}^2 = \left[ \left( \frac{l_1}{l_3} \cos \beta_1 \right)^2 m_{\beta_1}^2 + \rho^2 \left( \frac{l_1}{l_3} \sin \beta_1 \right)^2 m_l^2 \right] \frac{1}{\cos^2 \varphi},$$

где  $m_{\beta}$  — средняя квадратическая погрешность измерения угла  $\beta$ ;  $m_l$  — средняя квадратическая погрешность измерения сторон в треугольниках.

Расчеты, выполненные по указанным формулам, показывают, что при использовании для измерений теодолитов Т2, индикаторов с ценой деления 10 мкм при измерениях расстояний в треугольниках с относительными ошибками порядка 1:5000 реперы могут быть установлены с погрешностью около 50 мкм.

В процессе выверки аппаратов производят нивелирование реперов и, наклоняя колонну в нужную сторону, добиваются, чтобы все реперы находились в горизонтальной плоскости.

Нивелирование реперов может осуществляться методами точного геометрического нивелирования, микронивелирования и гидростатического нивелирования. Минимальное количество реперов равняется трем. При применении метода микронивелирования необходимо, чтобы расстояние между реперами равнялось базе применяемого прибора.

В настоящее время достаточно широко при монтаже некоторых сооружений башенного типа применяют метод надвига. Наиболее часто его используют при сооружении шахтных копров. Башню монтируют в начальном положении на площадке, а затем ее перемещают окончательно по направляющим в положение, где окончательно закрепляют. При подобной схеме монтажа возникает необходимость в выверке направляющих в плане и по высоте, а также в контроле за положением башни в процессе ее перемещения. Контроль за положением башни при ее продвиге в конечное положение осуществляется методом бокового нивелирования. При этом наблюдения ведут по горизонтальным реечкам, укрепленным в верхней и нижней частях башни.

## § 25. Геодезические работы при возведении особо высоких сооружений

Сооружения башенного типа, имеющие малую площадь основания, в значительной степени подвержены влиянию внешних условий, таких, как односторонний солнечный нагрев и боковое давление ветра, в результате чего их отклонения от вертикали достигают значительных величин. Хотя эти отклонения носят временный характер и связаны только с периодом воздействия указанных факторов, непрерывность процесса возведения сооружения требует их обязательного учета с целью исключения смещения полюса опалубки на каждом монтажном горизонте. Строительство особо высоких башен на объектах энергетики и связи, развернутое в 60-х годах, потребовало комплексного изучения вопросов влияния внешних факторов на геометрию возводимых сооружений и разработки методики производства геодезических работ, учитывающей

эти воздействия [3, 30, 44]. В Советском Союзе значительные работы в этом направлении проводятся службой эксплуатации Останкинской телевизионной башни в Москве.

Учет отклонения, вызванного внешними воздействиями, особенно необходим в случае использования скользящей опалубки, контроль движения которой выполняется в любой требуемый момент времени. Неучет этих воздействий при производстве геодезических работ вызывает ошибки в установке опалубочного оборудования и, как следствие, смещение оси башни на возводимом в период внешних воздействий участке. Это приводит к тому, что построенное сооружение получает отклонение от проектного положения, равное в пределах точности выполнения технологических процессов величине смещения оси под воздействием внешних факторов в момент строительства. Направление этого отклонения будет противоположно направлению воздействия внешних факторов.

Воздействие рассматриваемых внешних факторов на монолитные бетонные сооружения, обладающие значительной теплоемкостью и парусностью, наиболее существенно.

Односторонний солнечный нагрев сооружения в результате воздействия прямой и рассеянной радиации солнечных лучей вызывает изгиб железобетонных сооружений в направлении, противоположном Солнцу. Абсолютная величина изгиба зависит от интенсивности солнечной радиации, толщины стенок сооружения, влажности и загрязненности воздуха в текущий момент и ряда других факторов. Направление изгиба из-за инерции распространения температуры в бетоне обычно не совпадает с вектором направления от Солнца, несколько отставая от него. В случае неравномерной толщины стен или их разных диаметров в зависимости от высоты нижние части нагреваются медленнее, чем более тонкие вышерасположенные, и соответственно отклоняются позднее. Аналогичные воздействия имеют место и при остывании и приводят к тому, что кривые изгибов всего сооружения в общем виде принимают пространственную форму.

Приближенно теоретическая величина смещения  $T_i$  точек башни, расположенных на высоте  $H_i$ , под воздействием солнечного нагрева может быть подсчитана по формуле

$$T_i = \frac{\alpha_i \Delta t H_i^2}{2D_{ср}}, \quad (54)$$

где  $\alpha_i$  — коэффициент линейного расширения материала башни;  $\Delta t$  — разность температур солнечной и теневой стороны;  $D_{ср}$  — средний диаметр ствола башни.

Следует указать, что расчеты изгиба башен из-за температурного влияния, выполненные по формуле вида (54), определяют только порядок этих величин, так как не учитывают дифференцированного характера температурных полей, особенностей формы и обстройки башен, а также ряда других факторов.

В общем виде, с учетом зависимости диаметра сооружения и ве-

личины разности температур от высоты, величина изгиба на высоте  $H_i$  определится по формуле

$$T_i = \alpha_t \int \Delta t_i \frac{H_i}{D_i} dH.$$

В формуле (54) значение среднего диаметра запишем как

$$D_{\text{ср}} = D_{\text{н}} - \frac{(D_{\text{н}} - D_{\text{в}})}{2H} H_i, \quad (55)$$

где  $D_{\text{н}}$ ,  $D_{\text{в}}$  — соответственно нижний и верхний диаметр;  $H$  — проектная высота башни.

Для получения численных значений изгиба башни на примере влияния солнечного нагрева на дымовую трубу высотой 400 м примем  $D_{\text{н}}=40$  м,  $D_{\text{в}}=20$  м и  $\alpha_t=0,12 \cdot 10^{-4}$ . Тогда выражение (54) с учетом (55) запишем

$$T_i = \frac{\Delta t H_i^2}{(a - b H_i)} 10^{-6}, \text{ м}, \quad (56)$$

где коэффициенты  $a$  и  $b$ , характеризующие геометрию сооружения и равные в конкретном случае соответственно 6,67 и 0,0042, вычисляются по известным значениям входящих в формулу (55) параметров башни и  $\alpha_t$ .

По проведенным исследованиям, разность температур диаметрально противоположных точек поверхности железобетонных и металлических башен может достигать 15—20 °С, однако разность средних температур стенок ствола по горизонтальному сечению обычно не превышает 8—10 °С. С учетом этого и в соответствии с формулой (56) могут быть построены графики отклонений оси сооружения под воздействием солнечного нагрева (рис. 51), анализ которых показывает, что величина изгиба при предельных значениях  $\Delta t$  значительно превышает допуски на вертикальность сооружений.

В плане под влиянием солнечного нагрева точки оси башни описывают линию, за аппроксимирующую кривую которой может быть принят эллипс, азимутальное положение большой оси которого зависит от сезонных эфемерид Солнца (азимут и склонение) и в общем случае устанавливается тем ближе к направлению юг — север, чем меньше тепловая инерционность сооружения, зависящая от массы башни, материала, толщины и цвета стен.

Приближенно значение азимута изгиба башни под воздействием Солнца может быть определено по формуле

$$A = A_c + 180^\circ - \beta, \quad (57)$$

где  $A_c$  — азимут Солнца;  $\beta$  — угол отставания направления изгиба ствола от движения Солнца, являющийся функцией текущего времени  $\beta = f(t^h)$ , вид которой, как правило, устанавливается для конкретных сооружений и определенных высот эмпирически по результатам наблюдений.

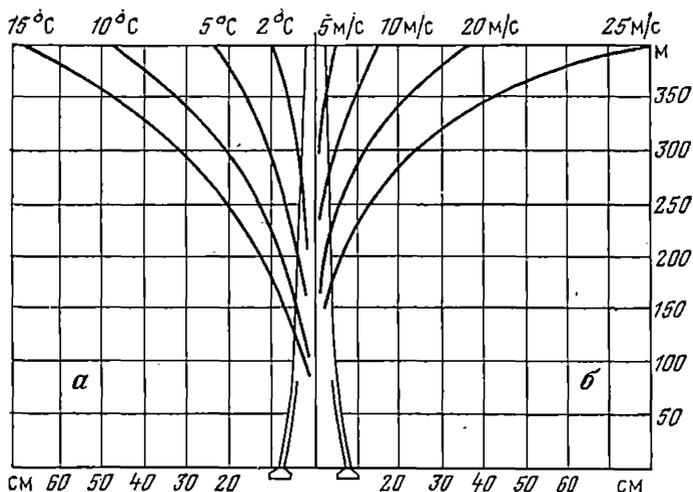


Рис. 51. Графики изгиба оси трубы под воздействием солнечного нагрева и ветрового напора

Например, для высот 300 и 520 м Останкинской телебашни для характеристики азимута изгиба были получены выражения [30]

$$A_{H=300} = A_c + 180^\circ - 10,0^\circ (t^h - 6^h);$$

$$A_{H=520} = A_c + 180^\circ - 4,7^\circ (t^h - 8^h).$$

Максимальные смещения наблюдаются в период 12—16 ч. В качестве иллюстрации на рис. 52 приведены эллиптические кривые перемещения точек оси дымовой трубы, полученные по результатам геодезических наблюдений в течение суток трех ярусов на высоте 100, 150, 200 м. Следует отметить, что выравнивание температурных полей в башнях из-за большой теплоемкости и аккумулирующей способности бетонных конструкций длится значительное время и остаточное температурное влияние на положение ствола башни сохраняется на протяжении 8 ч. Этим и определяется оптимальное время выполнения геодезических наблюдений — период с 5 до 10 ч утра.

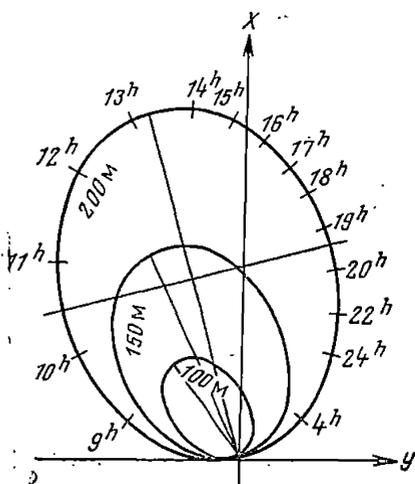


Рис. 52. Графики отклонения оси башни в течение суток под влиянием солнечного нагрева

Влияние ветровой нагрузки на положение оси сооружения является значительно более сложным, чем солнечного нагрева, и характеризуется наличием статических и динамических смещений, первые из которых определяются средней скоростью и направлением ветрового потока, а вторые — приращением скорости (достигающим 25 %) и изменением его азимута обычно в диапазоне  $\pm 5-10^\circ$ . Величина статического отклонения сооружений не является постоянной и изменяется с периодом, исчисляемым минутами.

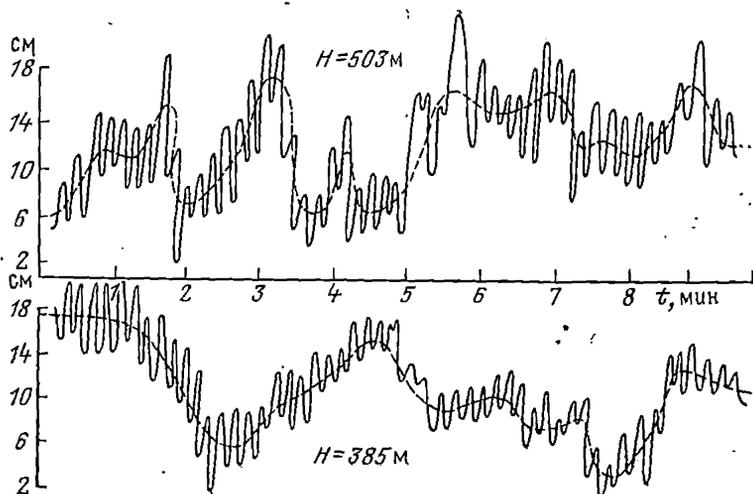


Рис. 53. Графики колебаний ствола Останкинской телебашни

Кроме того, сооружения цилиндрической формы подвержены колебаниям в направлении, перпендикулярном к движению ветра, что объясняется теорией обтекания цилиндра параллельным потоком и образованием при этом вихревых дорожек Кармана [35]. В зависимости от скоростей ветра и формы сечения башни влияние несимметричного отрыва вихрей может приводить к колебаниям башен не только поперек направления ветра, но и вдоль него. Частота этих колебаний обычно соизмерима с частотой собственных колебаний башни и происходит с периодом 5—15 с.

Таким образом, под воздействием ветровой нагрузки ствол башенного сооружения описывает сложную кривую, осредняемую эллипсом с положением полуосей, зависящим от скорости и степени турбулентности ветрового потока. Для иллюстрации вышесказанного на рис. 53 представлены графики колебаний по одному из направлений ствола Останкинской башни на высотах 503 и 384 м с разверткой по времени, на которых хорошо виден низкочастотный характер изменения статической составляющей и динамические колебания более высокой частоты [3].

Действие статической части потока с известными упрощениями может быть определено из зависимости

$$F = \int \int \frac{M}{EJ} dH,$$

где  $F$  — отклонение оси башни под воздействием ветра;  $M$  — изгибающий момент;  $E$  — модуль упругости материала сооружения;  $J$  — момент инерции сечения сооружения.

Принимая высоту точки приложения равнодействующей нагрузки равной  $\frac{2}{3} H_i$  (рис. 54), формула для вычисления отклонений от вертикали под влиянием ветра будет иметь вид

$$F_i = 0,28 \frac{P_v H_i^3}{EJ}. \quad (58)$$

Ветровая нагрузка  $P_v$  может быть вычислена по формуле

$$P_v = \rho_i S_i,$$

где  $\rho_i$  — скоростной напор воздушного потока;  $S_i$  — площадь проекции сооружения на плоскость, перпендикулярную к направлению ветра.

Скоростной напор подсчитывается по степенному закону

$$\rho_i = \rho_0 \left( \frac{H_i}{10} \right)^{2\gamma},$$

где значения показателя степени  $\gamma$  выбираются с учетом рельефа местности по таблице СНиП II-6—74 «Нагрузки и воздействия», а нормативный скоростной напор  $\rho_0$  вычисляется в зависимости от скорости ветра  $v$  по формуле

$$\rho_0 = \frac{v^2}{16}.$$

Учитывая, что

$$S_i = D_{\text{ср}} H_i;$$

$$J_{\text{max}} = \frac{\pi D_H^4}{64} \left[ 1 - \left( \frac{d_2}{d_1} \right)^4 \right],$$

где  $d_2$  и  $d_1$  — соответственно внутренний и наружный диаметр сооружения, и преобразовав формулу (58) через выражения  $\rho_i$ ,  $S_i$  и  $J_{\text{max}}$ , запишем

$$F = (a - bH_i) v^2 H_i^{4,32} 10^{-5} \text{ м}. \quad (59)$$

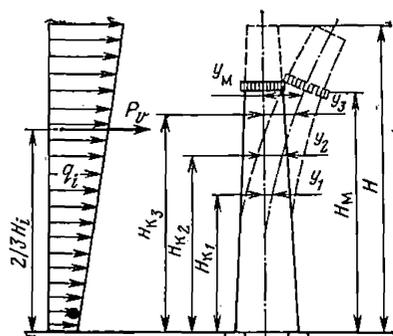


Рис. 54. Схема учета влияния внешних факторов на изгиб башни

Исходя из зависимости (59), был определен теоретический вид линии изгиба башни высотой 400 м, графическое изображение которого дано на рис. 51, б.

Таким образом, под влиянием внешних факторов башенные сооружения подвергаются колебаниям и изгибам, причем их величины для особо высоких сооружений значительно превосходят допустимые погрешности строительства и должны быть учтены при производстве геодезических работ.

Хотя нормативные документы устанавливают ограничения на проведение геодезических наблюдений при неблагоприятных внешних условиях со скоростью ветра до 5 м/с на практике задача обеспечения непрерывного характера технологических процессов возведения башен требует производства геодезических работ и при превышающих указанные скорости ветра. Одним из путей ослабления влияния ветровой нагрузки является устройство гасителей колебаний различных конструкций.

Рассмотрим используемые в практике строительства высоких сооружений способы передачи координат плановых знаков на монтажный горизонт с целью анализа возможности их применения в условиях воздействия внешних факторов. При методе сквозного проектирования погрешность передачи точек рабочего обоснования определится для случая отсутствия влияния внешних факторов по формуле

$$m_{\text{вп1}} = \sqrt{(m_{\text{ц}}^2 + m_0^2) + H_i^2 \frac{(m_{\text{т}}^2 + m_{\text{в}}^2)}{\rho^2}},$$

где  $m_{\text{ц}}$  — погрешность центрирования прибора;  $m_0$ ,  $m_{\text{т}}$ ,  $m_{\text{в}}$  — составляющие погрешности проектирования, определяемые по формулам (19) — (21).

При ступенчатом методе проектирования, выполняемом с шагом  $\Delta h_0$ , погрешность переноса точки обоснования по вертикали выражается формулой

$$m_{\text{вп2}} = \sqrt{(m_{\text{ц}}^2 + m_0^2)n + \frac{(m_{\text{т}}^2 + m_{\text{в}}^2)}{\rho^2} \Delta h^2 n},$$

где  $n$  — число этапов проектирования.

Установив цену деления визирных целей в соответствии с формулой цены деления палетки (см. § 22) для интервалов высот, кратных 100 м, и приняв для приборов вертикального проектирования  $V^x = 30^x$ ,  $\tau = 10''$ , вычислим значения погрешностей вертикального проектирования для обоих методов, выбрав при ступенчатом методе шаг проектирования, равный 25, 50 и 100 м (табл. 18).

При расчете ошибок отсчета не учитывалось влияние колебаний визирных целей под влиянием внешних условий, так как выполненные на Останкинской башне исследования показывают, что точность отсчета связана с частотой колебаний, но в определенных пределах (10—50 мм) не зависит от их амплитуды.

$H_i$ , м	$m_{вп1}$ , мм	$m_{пв2}$ , мм		
		$\Delta h_0 = 25$ м	$\Delta h_0 = 50$ м	$\Delta h_0 = 100$ м
50	0,9	1,1	0,9	
100	1,3	1,6	1,3	1,3
150	2,3	2,0	1,5	
200	2,8	2,3	1,8	2,0
250	3,4	2,6	2,1	
300	4,2	2,8	2,3	2,5
350	4,8	3,0	2,5	
400	5,5	3,2	2,8	2,9

Аналогичные расчеты могут быть выполнены и для определения погрешностей проектирования при использовании приборов с самоустанавливающейся линией визирования, где погрешности приведения оси зенит-прибора в вертикальное положение устанавливаются в зависимости от типа компенсатора.

Анализ табл. 18 показывает, что при выборе метода проектирования предпочтение должно быть отдано ступенчатому методу, обеспечивающему более высокую точность проектирования. Кроме того, этот способ обеспечивает значительное уменьшение вертикальной рефракции, возникающей в узком сооружении.

Оптимальное число этапов проектирования  $n_0$  при ступенчатом методе, обеспечивающее минимальную погрешность переноса точек, может быть установлено путем анализа формулы средней квадратической погрешности проектирования при ступенчатом методе, которую запишем в следующем виде:

$$m_{вп2} = \sqrt{(m_{ц}^2 + m_0^2)n + \frac{(m_{\tau}^2 + m_{в}^2)}{\rho^2} \frac{H_i^2}{n}}$$

Полагая величины  $m_{ц}$ ,  $m_0$ ,  $m_{\tau}$ ,  $m_{в}$  и  $H_i$  заданными, для отыскания экстремума запишем производную:

$$\left(\frac{dm^2}{dn}\right) = Q - \frac{WH^2}{\rho^2} \frac{1}{n^2},$$

где  $Q = m_{ц}^2 + m_0^2$  и  $W = m_{\tau}^2 + m_{в}^2$ ,

и, приравняв ее нулю, запишем выражение для  $n_0$ :

$$n_0 = \frac{WH^2}{\rho^2 Q}$$

или

$$n_0 = \frac{H_i}{\rho} \sqrt{\frac{m_{\tau}^2 + m_{в}^2}{m_{ц}^2 + m_0^2}} \quad (60)$$

При этом вторая производная функции

$$\frac{d^2m^2}{dn^2} = + \frac{2WH_i^2}{\rho^2n^3} > 0,$$

т. е. найденное по формуле (60) значение  $n_0$  обеспечивает минимум средней квадратической погрешности вертикального проектирования. Таким образом, формула (60) позволяет определить необходимое число ступеней проектирования.

При использовании метода ступенчатого проектирования влияние внешних факторов на точность переноса оси или точек рабочего обоснования будет минимальным вследствие малой высоты проектирования. Ступенчатый метод позволяет исключить при вертикальном проектировании учет изгиба башенных сооружений при выполнении следующих условий:

— точки горизонта, с которого осуществляется проектирование на последующий монтажный горизонт, должны быть вынесены при отсутствии воздействия внешних условий;

— закрепление проектируемых точек на промежуточных горизонтах может производиться только на элементах сооружения, конструктивно связанных с башней (перекрытия, ригели, другие элементы жесткости).

Закрепление точек на промежуточных площадках шахтоподъемников, подъемных кранов не рекомендуется, так как в этом случае при проектировании на монтажный горизонт не обеспечивается исключение влияния изгиба башни под действием солнечного нагрева и ветра вследствие разной реакции на эти влияния самого сооружения и вспомогательного оборудования.

Однако, несмотря на более высокую точность, метод ступенчатого проектирования значительно более трудоемок, чем сквозной метод, и, кроме того, как указывалось выше, при возведении многих типов башенных сооружений из-за отсутствия промежуточных площадок для наблюдателя и установки инструмента неприменим.

В случае воздействия внешних факторов, для повышения точности проектирования при сквозном методе в положение центра сооружения необходимо вводить поправки. Величина поправки может быть определена по результатам геодезических измерений либо методом экстраполяции, либо методом редукции по теоретически вычисленным координатам ствола башни.

Принципиальная схема учета влияния внешних условий методом экстраполяции основывается на определении положения нескольких контрольных точек в текущий момент времени при воздействии ветра и солнечного нагрева на сооружение и сравнении полученных результатов с положением этих точек, определенным в период отсутствия влияния этих факторов. Полученные разности в положении контрольных точек характеризуют влияние внешних условий на положение оси сооружения в зависимости от высоты контрольных точек  $H_{h_i}$  (см. рис. 54) и позволяют, принимая вид

кривой прогиба, близкой к квадратной или кубической параболе, путем экстраполяции определить величину влияния внешних условий на монтажном горизонте с отметкой  $H_m$  и учесть ее при контроле положения скользящей опалубки. Для нахождения величины поправки, используя полученные значения отклонений контрольных точек и принимая, что начало кривой изгиба на отметке  $H_i=0$  совпадает с центром сооружения, составляют систему из четырех (для кубической параболы) или трех (для квадратной параболы) уравнений вида

$$y'_{i1} = A_1 H_i^3 + B_1 H_i^2 + C_1 H_i;$$

$$y'_{i2} = A_2 H_i^2 + B_2 H_i.$$

Значения коэффициентов вычисляют по измеренным в минимально необходимом для решения задачи числе контрольных точек значениям  $y'_{ij}$ : для кубической параболы в трех и для квадратной — в двух точках.

Определение коэффициентов уравнений  $A$ ,  $B$  и  $C$  может быть выполнено методом наименьших квадратов, при этом решение производится при условии

$$\sum_{i=1}^{i=k} (y_i - y'_{ij})^2 = \min.$$

Так как из-за большого объема измерений, связанных с определением положения нескольких контрольных точек в каждый текущий момент времени, рассмотренная схема не может быть реализована на практике, определим условия использования метода экстраполяции по результатам измерения положения одной контрольной точки.

Для решения поставленной задачи выполним моделирование кривых прогибов в зависимости от числа используемых для их аппроксимации контрольных точек. С учетом требований к точности геодезического обеспечения возведения башен рассмотрим возможность экстраполяции величины отклонения оси на монтажном горизонте по кубической и квадратной параболам и по окружности, аппроксимирующей результаты наблюдений соответственно в трех, двух или одной контрольной точке.

Значения  $y_{ij}$  определим аналитически как сумму влияния на положение оси неравномерного солнечного нагрева и ветрового напора по формуле

$$y_{ij} = T_{ij} + F_{ij},$$

где численные значения  $T$  и  $F$  могут быть вычислены по формулам (56) и (59).

Числовое моделирование изгибов оси и аппроксимация кривых прогибов могут быть с использованием ЭВМ выполнены в следующей последовательности:

— для точек сооружения с отметками, кратными 25 м, по установленным значениям солнечного нагрева и ветрового потока рассчитываются отклонения  $y_{ij}$ , определяются коэффициенты уравнений и радиус аппроксимирующей окружности;

— по аппроксимирующим кривым устанавливаются проектные отклонения точек монтажного горизонта, начиная с отметки верхней контрольной точки до полной высоты сооружения.

Таким образом, моделирование кривой, например кубической параболы, осуществляется по трем вычисленным для высот 75, 100, 125 м отклонениям, что позволяет экстраполировать значения прогиба оси для всех последующих высот с таким же шагом (150, 175, 200 м и т. д.). Расчет величины отклонений для моделирования кривой прогиба проводится с минимальной высоты 75 м, до которой влияние внешних факторов мало.

Используя результаты моделирования и предполагая, что кубическая парабола наиболее близко характеризует форму прогиба оси башни, вычислим разности  $\Delta y_{ij}$  экстраполированных значений отклонений  $y_{ij}$ , полученных по разным моделям кривых:

$$\Delta y_{i1} = y_{i1} - y_2; \quad \Delta y_{i2} = y_{i1} - y_{i3}; \quad \Delta y_{i3} = y_{i2} - y_{i3},$$

где  $y_{i3}$  — значение отклонения оси на монтажном горизонте, полученное экстраполяцией по дуге окружности радиуса  $R_i$ . Значение радиуса вычисляется по отклонению оси  $y_{i3}$  в контрольной точке, исходя из формулы

$$y_{i3} = R_i - \sqrt{R_i^2 - H_i^2}.$$

Величины  $\Delta y_{ij}$  могут рассматриваться как остаточные значения погрешности определения положения оси сооружения из-за замены кубической параболы другими моделируемыми кривыми. Тогда важнейшие характеристики методики геодезических работ — число контрольных точек, необходимых для экстраполяции отклонений на вышележащем монтажном горизонте, и допустимая величина шага экстраполяции — могут быть определены из анализа  $\Delta y_{i1}$  и  $\Delta y_{i2}$  в случае, если будут установлены максимально допустимые их величины.

Используя для особо высоких сооружений принцип равного влияния и полагая, что вертикальность оси сооружения, характеризующая средней квадратической погрешностью  $m_\delta$ , зависит от точности вертикального проектирования  $m_{в.п.}$ , остаточной погрешности учета влияния внешних условий  $m_{в.у}$  и технологической точности формовочного оборудования  $m_\tau$ , определяемой как конструкцией опалубки, так и точностью контроля ее габаритов, можно записать

$$m_\delta^2 = m_{в.п.}^2 + m_{в.у}^2 + m_\tau^2.$$

Так как средняя квадратическая погрешность вертикальности оси сооружения определяется через нормированное значение отклонений из формулы

$$\delta_\delta = 3m_\delta,$$

вычислим допустимую величину средней квадратической погрешности учета влияния внешних условий

$$m_{в.у} = \sqrt{0,0378^2} = 19 \text{ мм.}$$

Вычисленное значение  $m_{в.у}$  на основании вышеприведенных рассуждений может быть принято за допустимую величину разности  $\Delta y_{ij}$ , позволяющую установить пределы использования той или иной модели прогиба при определении поправок в положение оси башни на монтажном горизонте.

В качестве примера, иллюстрирующего предложенную методику, рассмотрим учет погрешностей внешних воздействий на ствол дымовой трубы высотой 400 м, геометрические параметры которой были приведены выше. Вычисление отклонений оси трубы в контрольных точках выполним для различных значений параметров внешних условий, в частности для разницы температур сторон башни, равной 2; 5; 10 и 15 °С, и скорости ветра 5; 10; 20 и 25 м/с.

Анализ влияния внешних условий выполним по графикам разностей  $\Delta y_{i1}$  и  $\Delta y_{i2}$ , характеризующих остаточную погрешность определения отклонения при использовании для аппроксимации кривой прогиба двух контрольных точек  $\Delta y_{i1}$  (рис 55, а) и одной точки  $\Delta y_{i2}$  (рис. 55, б). Значения параметров внешних условий  $\Delta t$  и  $v$  указаны на графиках в виде сомножителей.

Пределы использования для определения величины влияния внешних условий одной или двух контрольных точек, т. е. экстраполяции отклонений на монтажном горизонте по квадратной параболе или дуге окружности, устанавливаются по рассчитанному значению погрешности остаточного влияния. Например, при внешних условиях, характеризуемых  $\Delta t = 5$  °С и  $v = 10$  м/с (см. рис. 55, б), и высоте рабочего пола опалубки около 250 м при экстраполяции по дуге окружности превышение монтажного горизонта над контрольной точкой (шаг экстраполяции) допускается до 50 м. При высотах рабочего пола 350—400 м эта величина не должна превышать 20 м.

Из анализа графиков следует, что при высотах рабочего пола до 200 м и независимо от значений параметров внешних факторов и шага экстраполирования определение отклонения оси башни может проводиться по дуге окружности. При методе экстраполяции вычисление значения радиуса по измеренному отклонению контрольной точки  $y_k$ , закрепленной на отметке  $H_k$ , может быть опущено и определение величины поправки  $y_{i3}$  в положении оси на отметке  $H_m$  рабочего горизонта произведено по преобразованной известной формуле

$$y_{i3} = \frac{H_m^2}{H_k^2} y_k.$$

Определение допустимой величины шага экстраполяции выполняется аналитически или по семейству кривых, аналогичных выше-

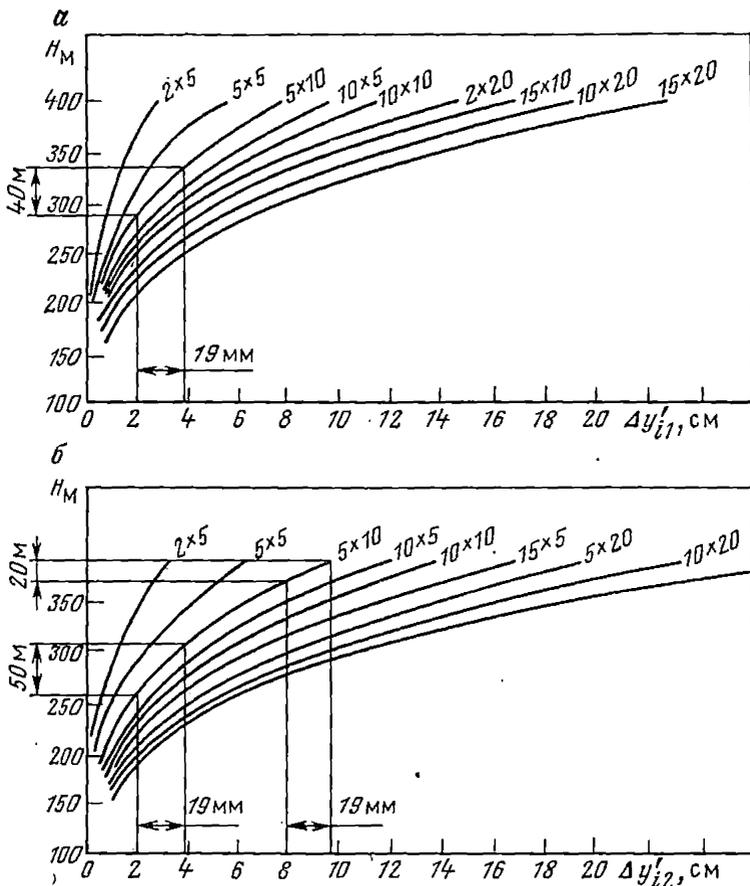


Рис. 55. Графики разностей отклонений точек оси башни, аппроксимированные по различным кривым

приведенным, построенным по проектным данным предполагаемого к строительству сооружения.

При наличии промежуточных перекрытий и конструкций при возведении башен может найти применение метод механического экстраполирования, разработанный при монтаже антенной части Останкинской телебашни. В этом методе через вынесенные при благоприятных метеорологических условиях центры на двух горизонтах, верхний из которых является монтажным, протягивается струна. При воздействии внешних факторов ось возведенной части отклоняется по кривой, струна устанавливается по хорде, а монтаж последующих секций ведется по продолжению оси, заданной этой хордой.

Несмотря на относительную простоту, метод экстраполяции требует определения положения визирных целей дважды: на конт-

рольном и монтажном горизонтах. Кроме того, закрепление контрольных пунктов в ряде случаев затруднительно.

Этот недостаток устраняется в методе редуцирования, при котором на основании детальных метеорологических наблюдений параметров внешних влияний вычисляют теоретические отклонения верха сооружения [44]. Поправку в положение конструкции определяют как разность между геодезически измеренными и вычисленными координатами точек на высоте  $H_i$  для любого текущего момента  $\phi$ .

В системе цилиндрических координат с их началом в центре основания башни теоретическое значение отклонения оси башни на монтажном горизонте под влиянием солнечного нагрева определится из выражения

$$\eta_t(H) = f_t(H) N_t(H); \quad \varphi_t(H) = \beta_t(H) + 180^\circ, \quad (61)$$

где  $\eta_t(H)$  и  $\varphi_t(H)$  — линейный и угловой элементы редукции;  $f_t(H)$  и  $\beta_t(H)$  — амплитуда и начальная фаза температурного поля плоского горизонтального сечения ствола;  $N_t(H)$  — ордината линейного элемента редукции для разности температур  $1^\circ\text{C}$ .

Учитывая, что общее выражение для ординаты конца вектора отклонения башни определится из выражения

$$N_t(H) = \alpha_t \int_0^H HD^{-1}(H) dH,$$

где  $D(H)$  — функция изменения диаметра ствола, для стволов конической формы общей высотой  $H_H$  формула вычисления линейного элемента будет иметь вид

$$\eta_t(H) = 0,5\alpha_t f_t(H) \lambda^{-1} \left( U \ln \frac{D_H}{D_H - D_B} - H_H \right), \quad (62)$$

где  $\lambda$  — тангенс угла наклона образующей;

$$U = 0,5D_H \lambda^{-1}.$$

Уравнения вида (62) могут быть выведены и для цилиндрических стволов.

Для башен с комбинированными стволами, включающими участки с наружной обстройкой, для которых  $N_t$  и  $f_t$  равны 0, значение ординаты оси определится по дифференциальному уравнению по способу характерных участков

$$N_t(k) = \sum_{i=1}^k \bar{N}_t(i) + \sum_{i=1}^k \frac{\partial N_t(i)}{\partial H} \left[ H - \sum_{i=1}^i h(i) \right], \quad (63)$$

где  $N_t(k)$  — ордината центра верхнего сечения  $k$ -го участка относительно основания башни;  $\bar{N}_t(i)$  — ордината центра верхнего сечения участка относительно нижнего сечения участка;  $h$  — высота участка.

Как показали экспериментальные исследования, заключавшиеся в сравнении теоретической модели с результатами натурных геодезических измерений, метод позволяет определять координаты с погрешностью порядка  $1 \cdot 10^{-4} H_i$  (или 10 % от величины отклонения), что представляется достаточным для решения задач, возникающих в период строительства и эксплуатации башен. Однако следует заметить, что для получения указанной точности определение метеорологических параметров должно проводиться синхронно на разных уровнях. Например, на Останкинской телебашне для измерения температуры использовались группы сенсорных датчиков, заложенных в ствол башни по восьми радиальным направлениям на семи уровнях, которые обеспечивали определение вертикальных и горизонтальных характеристик температурного поля.

Изгиб башни на уровне рабочего пола приводит также к погрешностям в определении высотного положения точек монтажного горизонта. Изменение отметки любой точки вследствие наклона оси башни на величину  $y'_i$  может быть определено по формуле [28]:

$$\Delta h'_i = \frac{y_i'^2}{2H_i} - \frac{y'_i l_1}{H_i},$$

где  $l_1$  — расстояние от центра сооружения до точки установки рейки.

Так как горизонт инструмента, находящегося на расстоянии  $l_2$  от центра, изменится на величину, определяемую по этой же формуле, то отметка высотной точки определяется с погрешностью

$$\Delta h'_i = \frac{y'_i}{H_i} (l_1 - l_2).$$

Из анализа формул видно, что влияние изгиба оси сооружения на точность определения превышений по рабочему полу тем меньше, чем ближе нивелир и высотная точка расположены друг к другу и к центру башни.

При нивелировании монтажного горизонта из центра рабочего пола или с ригелей шахтоподъемника при предельных величинах изгиба башни, составляющих 0,5—0,7 м, погрешности в определении превышений диаметрально противоположных точек достигают 20—30 мм. Таким образом, нивелирование домкратных стержней и другие работы по высотной привязке элементов опалубки и стержней должны выполняться с учетом влияния изгиба оси сооружения. В этом случае установка рабочего пола производится с уклоном  $i_p$ , определяемым по формуле

$$i_p = \frac{\Delta h'_i}{R},$$

где  $R$  — радиус башни на уровне монтажного горизонта.

Для определения положения подлежащих высотной выверке элементов опалубочного оборудования или конструкций сооружений превышение в этих точках относительно горизонтальной плоскости, заданной визирной осью нивелира, вычисляют по формуле

$$\Delta h_i = \Delta h'_{\max} \cos r,$$

где  $\Delta h'_{\max}$  — максимальные превышения для двух диаметрально противоположных точек, расположенных в плоскости изгиба башни, относительно ее центра;  $r$  — румб центрального угла от направления максимального наклона башни.

Вышеприведенная методика учета поправок за изгиб в измеренные превышения на монтажном горизонте применима и для передачи отметок с исходного на монтажный горизонт. Для исключения этой погрешности рулетки и проволоки длиномеров, по которым осуществляется передача высот, следует располагать как можно ближе к центру сооружения.

К дополнительным погрешностям в определении высот приводят и колебания башен под влиянием ветрового потока, вызывающие отклонения визирной оси нивелира от горизонтального положения на угол  $\Delta\phi$ . Однако из-за динамического характера этой величины учет ее влияния затруднен.

Как следует из вышесказанного, учет влияния внешних условий на плановое и высотное положение башенных сооружений большой высоты является обязательным. Для вычисления поправок за внешние воздействия величины изгиба и амплитуды колебаний башни могут быть определены приборами автоматического измерения линейных перемещений, обеспечивающих получение информации о положении верхнего яруса башни в любой момент времени [25].

Кроме учета метеорологических влияний при строительстве сооружений значительной высоты на вертикальность их осей и точность геодезических работ оказывает влияние еще целый ряд дополнительных факторов.

При строительстве башенных сооружений в горных или прибрежных районах, характеризующихся резкими изменениями уклонов отвесных линий, и использовании для целей контроля вертикальности возведения башен внешних пунктов геодезического обоснования необходимо учитывать непараллельность отвесных линий пункта наблюдения и района строительства. Влияние этого фактора на точность измеренных направлений может достигать 1—2" и должно учитываться введением в результаты наблюдений поправок  $\Delta v_g$ , определяемой по формуле [12]

$$\Delta v_g = \Delta g_i \operatorname{ctg} z_{ik},$$

где  $\Delta g_i$  — уклонение отвеса;  $z_{ik}$  — измеренное зенитное расстояние.

При передаче положения оси или точек рабочего обоснования на монтажный горизонт при возведении высоких сооружений с относительно малыми диаметрами оснований должно учитываться и влияние силы Кориолиса, приводящей к смещению по часовой стрелке верха башни по мере роста ее высоты.

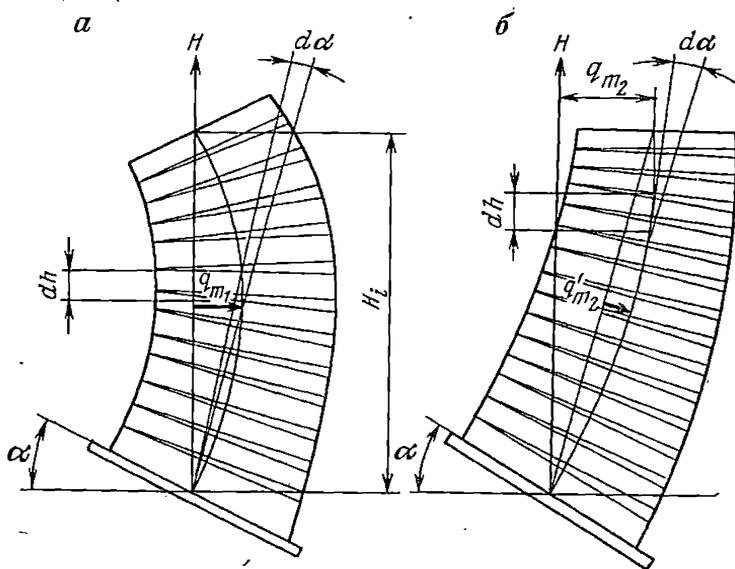


Рис. 56. Схема образования изгиба башни за счет неравномерной осадки при различных методах проектирования

На вертикальность высоких башенных сооружений и кривизну главной оси существенное влияние в период строительства может оказать неравномерная осадка сооружения, приводящая к наклону каждого монтируемого яруса высотой  $dh$  на угол  $d\alpha$ .

Максимальная кривизна оси башни, характеризуемая отклонением относительно замыкающей (рис. 56, а) при использовании сквозного метода проектирования с точек рабочего обоснования непосредственно на монтажный горизонт, определяется по формуле [24]

$$q_{m_1} = \frac{kH^2}{2(2 - kH^2)} e_0, \quad (64)$$

где  $e_0$  — начальный эксцентриситет геометрической оси сооружения, численно равный для башен величине несовпадения центров кругового фундамента и начального яруса надземной части, а значение коэффициента  $k$  зависит от модуля деформации  $E$  и модуля Пуассона  $\mu$  грунта основания и определяется по формуле

$$k = \frac{20(1 - \mu^2)}{EDH} G,$$

где  $G$  — давление сооружения на основание.

При использовании ступенчатого метода проектирования (рис. 56, б) отклонение оси сооружения в верхней точке от вертикали определится по формуле

$$q_{m_2} = \frac{kH^2}{2 - 2H^2} e_0, \quad (65)$$

а ее максимальный изгиб по отношению к замыкающей будет равен

$$q_{m_2} = \frac{1}{4} q_{m_1}.$$

Анализ выражений (64) и (65), представляющих собой уравнения симметричных парабол, показывает, что кривизна осей возводимых башен зависит не только от величины начального эксцентриситета и, как следствие, от неравномерной осадки, но и от метода геодезического обеспечения вертикальности строящегося сооружения. Вынос центра сооружения на монтажный горизонт методом сквозного проектирования с точек рабочего обоснования приводит к кривизне оси, в два раза большей, чем при использовании метода ступенчатого проектирования, но исключает общий крен сооружения, который образуется вследствие крена основания при поэтапной передаче оси с горизонта на горизонт.

На основании формул (64) и (65), исходя из допустимых требований к обеспечению прямолинейности осей башенных сооружений, путем решения обратной задачи может быть рассчитана необходимая точность геодезических работ при разбивке фундаментов и выносе основных осей на исходном горизонте.

В общем виде величина изгиба оси башни определяется по формуле

$$q_i = M(H - h_i)h_i + N(H^2 - h_i^2)h_i,$$

в которой при прогрессирующем ходе осадки

$$N = \frac{d^2\alpha}{dh^2} > 0,$$

а при затухающем ходе осадки

$$N = \frac{d^2\alpha}{dh^2} < 0.$$

Таким образом, при строительстве высоких башенных сооружений кроме контроля вертикальности необходимо выполнить комплекс геодезических работ по определению характера искривления оси башни как минимум по пяти точкам, координаты  $X_i$  и  $Y_i$  которых могут быть получены путем наблюдения различных ярусов башни с пунктов внешнего обоснования, например методом малых углов.

Тогда положение точек геометрической оси сооружения по отношению к вертикальной оси определится по формулам

$$q_i = \sqrt{\Delta X_i^2 + \Delta Y_i^2};$$

$$\operatorname{tg} Q_i = \frac{\Delta Y_i}{\Delta X_i},$$

где  $Q$  — дирекционный угол направления на определяемую точку в используемой системе координат.

Ориентировка плоскости изгиба башни может быть вычислена по формуле

$$\operatorname{tg} 2Q_0 = \frac{\sum_{i=1}^n q_i^2 \sin^2 Q_i}{\sum_{i=1}^n q_i^2 \cos Q_i}.$$

Учитывая характер влияния осадок фундаментов на геометрическую точность возведения сооружений башенного типа, организуются наблюдения за изгибами высоких башен и осадками их фундаментов непосредственно в процессе строительства.

## Глава VI

### НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ДЕФОРМАЦИЯМИ БАШЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ

#### § 26. Общие сведения о деформациях сооружений башенного типа и точности их определения

Деформации сооружений башенного типа происходят в результате воздействия на них природных и антропогенных факторов.

К природным факторам относят:

1. Гидротермические изменения пород в основании сооружений.
2. Способность горных пород к пучению, просадкам, осадкам и другим инженерно-геологическим явлениям.
3. Влияние неравномерного нагрева, ветровой нагрузки.

К основным антропогенным факторам следует отнести:

1. Влияние строительных нагрузок постоянного и временного характера.
2. Изменения физико-механических свойств пород основания в связи с искусственным водопонижением или увлажнением, химическим закреплением и т. п.
3. Ошибки, допущенные при производстве изысканий при определении основных характеристик пород.
4. Влияние технологических процессов, вызывающих вибрацию, изменения температуры отдельных частей сооружения, динамические нагрузки.
5. Воздействие на строящееся или эксплуатируемое башенное сооружение инженерных работ, проводимых вблизи него (рытье котлованов и траншей, взрывные работы, проходка подземных коммуникаций и т. п.).

Геодезические наблюдения за деформациями сооружений башенного типа, как правило, начинают до начала строительства и продолжают вести в процессе эксплуатации. Для больших башен

и аппаратов типа ректификационных колонн наблюдения практически продолжают в период всей жизни сооружения.

Основными задачами таких наблюдений являются:

1. Определение деформаций с целью своевременного выявления аварийных ситуаций и принятия мер по их предотвращению.

2. Выявление деформаций, оказывающих влияние на ход технологических процессов.

3. Изучение законов проявления деформаций с целью их прогнозирования и корректирования проектных расчетов.

Следует иметь в виду, что объектом геодезических измерений часто являются не сами деформации, к которым относятся растяжение, сжатие, изгиб, кручение, сдвиг, а перемещения отдельных строительных конструкций и всего сооружения, которые могут быть источниками возникновения деформаций. По полученным значениям перемещений вычисляют деформации, напряжения и другие величины, характеризующие прочность сооружения и его пригодность к эксплуатации. В отдельных случаях объектом геодезических наблюдений являются непосредственно деформации, например изгибы и кручения. Ниже приводится перечень основных величин, определяемых геодезическими методами и характеризующих деформации сооружения и его основания.

Деформации оснований и сооружений по вертикали могут характеризоваться следующими величинами.

*Абсолютной осадкой:*

$$S_i = H_0 - H_i,$$

где  $H_0$  — отметка наблюдаемой точки в начальном (нулевом) цикле наблюдений;  $H_i$  — отметка той же точки в  $i$ -м цикле наблюдений.

*Средней осадкой:*

$$S_{\text{ср}} = \frac{\sum_{i=1}^n S_i}{n},$$

где  $n$  — число наблюдаемых точек.

*Разностью осадок:*

Для двух наблюдаемых точек  $n$  и  $m$  в одном цикле наблюдений с номером  $i$

$$(\Delta S_{nm})_i = (S_n)_i - (S_m)_i$$

или для одной и той же точки  $n$  как разность осадок в двух циклах  $i$  и  $i+1$ :

$$(\Delta S_n)_{i, i+1} = (S_n)_i - (S_n)_{i+1}.$$

*Относительной осадкой:*

$$\eta = \frac{(\Delta S_{n,m})_i}{L},$$

где  $L$  — расстояние между двумя точками.

При смещении сооружений или их отдельных элементов в горизонтальной плоскости применяют аналогичные характеристики, раскладывая деформации на две соответствующие по осям  $X$  и  $Y$ . В этом случае абсолютные смещения вычисляют по формулам

$$U_{x_i} = X_0 - X_i;$$

$$U_{y_i} = Y_0 - Y_i.$$

Среднее смещение находят из выражений

$$U_{\text{ср.}x} = \frac{\sum_{i=1}^n U_{x_i}}{n}; \quad U_{\text{ср.}y} = \frac{\sum_{i=1}^n U_{y_i}}{n}.$$

Разности смещений по  $X$  получают по формулам

$$(\Delta U_{nm})_{x_i} = (U_n)_{x_i} - (U_m)_{x_i};$$

$$(\Delta U_n)_{x_i, i+1} = (U_n)_{x_i} - (U_n)_{x_{i+1}},$$

а значения разностей смещений по оси  $Y$  находят из аналогичных выражений.

В тех случаях, когда направление изучаемого перемещения известно, одну из осей координат совмещают с этим направлением и искомые величины получают только по одной оси.

Весьма существенной характеристикой для сооружений башенного типа является крен. Его величина определяется в линейной мере  $U$ , в относительной мере:  $I = U_i/L$ , в угловой:  $\alpha = \arctg I$ .

При воздействии на башню как природных, так и антропогенных факторов может происходить ее кручение (закручивание) вокруг вертикальной оси. При этом кручению может быть подвержена как сама башня, так и скользящая опалубка, при помощи которой ее сооружают. Величина кручения характеризуется углом поворота радиуса-вектора  $\varphi$  относительно одной из осей координат. В некоторых случаях кручение удобно выражать в линейной мере как длину дуги, на которую переместилась наблюдаемая точка  $\frac{\varphi}{\rho} r$ , где  $r$  — длина радиуса-вектора.

Изгибы башни или ее отдельных конструктивных элементов (фундаментов, балок, плит) характеризуют стрелами прогиба, геометрическое значение которых равняется

$$f_j = F(X_j),$$

где  $F(X_j)$  — функция упругой линии или упругой поверхности исследуемого элемента конструкции. Различают также относительный прогиб, который вычисляют как отношение  $f_j/L$ , где  $L$  — длина однозначно изгибаемого участка конструкции.

При изучении процесса деформаций, и особенно при прогнозировании этого процесса, определяют скорость и ускорение деформаций, которые для вертикальных смещений соответственно равняются:

$$V_{\text{ср}} = \frac{S_i - S_{i+1}}{\Delta t} ;$$

$$a_{\text{ср}} = \frac{S_i - S_{i+1}}{\Delta t^2} ,$$

где  $\Delta t$  — интервал времени между циклами измерений.

Значения  $V_{\text{ср}}$  и  $a_{\text{ср}}$  для горизонтальных смещений находят по тем же формулам, подставляя в них  $U_x$  и  $U_y$ . При установлении необходимой точности определения деформаций по данным натурных измерений необходимо учитывать значения допустимых предельных деформаций для данного сооружения. Для большинства стандартных сооружений их значения приводятся в СНиП II-15-74 «Основания зданий и сооружений» и в других нормативных документах. В тех случаях, когда требования для нестандартных сооружений отличаются от нормативных, их указывают в проектах сооружений.

Из табл. 1 видно, что при строительстве большинства башенных сооружений к величине абсолютных осадок жестких условий не предъявляют. Значительно более серьезные требования необходимо соблюдать при обеспечении вертикальности сооружения.

Для сооружений типа ректификационных колонн, согласно требованиям СНиПа, необходимо, чтобы отклонение корпуса от вертикали не превышало  $0,001H$ , но не более 15 мм при  $H \leq 50$  м и  $0,003H$  при  $H > 50$  м, но не более 30 мм.

Для телевизионных башен, антенн, градирен, в зависимости от их высоты и конструкции, величина допустимого крена находится в пределах 0,005—0,001. Согласно СНиП III-2-75 «Геодезические работы в строительстве», наблюдения за деформациями сооружений следует производить с предельными ошибками, не превышающими следующих значений:

1. При измерениях вертикальных перемещений:

— 1 мм — для зданий и сооружений, возводимых на скальных и полускальных грунтах;

— 2 мм — для зданий и сооружений, возводимых на песчаных, глинистых и других сжимаемых грунтах;

— 6 мм — для зданий и сооружений, возводимых на насыпных, просадочных, заторфованных и других сильно сжимаемых грунтах.

2. При измерениях горизонтальных смещений соответственно 1; 3; 10 мм для вышеуказанных грунтов и 15 мм для земляных сооружений.

3. При измерениях кренов мачт, сооружений связи, ЛЭП, дымовых труб и тому подобных сооружений  $0,0005H$ .

Необходимо отметить, что вышеуказанные требования к точности геодезических измерений не являются, на наш взгляд, доста-

точно обоснованными, так как при их назначении учитывается только геология оснований и совершенно остаются без внимания конструкция и назначение сооружения. В то же время, как видно из табл. 1, значения допустимых деформаций зависят главным образом от этих показателей. Кроме того, деформации многих промышленных сооружений башенного типа могут сказываться на их производительности. Так ОСТ 26-291—71 «Сосуды и аппараты стальные сварные» предусматривает для ректификационных колонн предельные отклонения по высоте тарелок, устанавливаемых внутри сооружения в пределах от 2 до 5 мм. В работе В. Г. Выборнова показано, что при больших отклонениях, которые могут произойти в результате деформаций, производительность аппаратов такого типа резко снижается.

В связи с этим представляется более обоснованным требование ГОСТ 21778—81 (СТ СЭВ 2045—79) «Система обеспечения точности геометрических параметров в строительстве», чтобы вероятность появления значений, меньше и больше соответственно минимального и максимального значения геометрического параметра, не превышала 0,05. В этом случае предельная ошибка измерения деформации не должна превышать 0,1 от величины предельной допустимой деформации:

$$\leq 0,1\delta_g, \quad (66)$$

где  $\delta_g$  — предельное значение изучаемого вида деформации для данного сооружения.

В этом случае ошибки измерений не окажут существенного влияния на полученные результаты. Однако подобный подход к назначению точности измерений справедлив в том случае, когда наблюдения ведутся с целью выявления аварийной ситуации. В тех случаях, когда необходимо установить закономерности, по которым развивается исследуемый процесс или проводится комплексное изучение факторов, влияющих на деформации сооружения, целесообразно исходить из величины изменения деформации за промежуток времени между циклами измерений. Тогда можно записать [20]

$$\frac{\sigma}{\Delta\delta} \leq \frac{1}{\epsilon}, \quad (67)$$

где  $\Delta\delta$  — изменение деформации за промежуток времени между циклами измерений;  $\sigma$  — стандарт определения деформации;  $\epsilon$  — коэффициент, зависящий от вида распределения ошибок и уровня доверительной вероятности.

В работе [20] показано, что можно принять  $\frac{1}{\epsilon} \leq \left(\frac{1}{4} - \frac{1}{6}\right)$ . Трудность при расчетах по формуле (67) заключается в том, что значение  $\Delta\delta$  приходится предвычислять, используя формулы строительной механики, которые при расчетах конструкций на упругом основании часто не обеспечивают требуемую точность значений деформаций. Особенностью при строительстве некоторых сооруже-

ний башенного типа, используемых в качестве емкостей, является необходимость проведения перед их вводом в эксплуатацию гидроиспытаний, которые выполняют посредством заполнения частей башни водой. В процессе гидроиспытаний ведут геодезические наблюдения с целью определения скорости осадки фундамента. При этом после заполнения части сооружения необходимо зафиксировать момент, когда скорость достигнет установленной величины. После этого заливают следующую часть корпуса водой и продолжают вести наблюдения, пока скорость не достигнет той же величины. Испытания ведут до полного заполнения сооружения. На основании полученных данных оценивают несущую способность основания и фундамента. Значение скорости, которую необходимо зафиксировать, часто принимают равным 0,05 мм/ч, а значение  $\delta$  при наблюдениях — 0,01 мм/ч.

Следует иметь в виду, что исходные допуски влияют на стоимость инженерных мероприятий по предотвращению деформаций. Поэтому значительный интерес представляет задача назначения предельных ошибок определения величин деформаций при условии минимальных затрат как на производство измерений, так и на выполнение последующих инженерных мероприятий. Это задача оптимального управления допусками, которая может решаться с помощью аппарата математического программирования.

Для ее решения необходимо составить целевую функцию, являющуюся критерием оптимальности, позволяющим оценить эффективность принятого допуска. При решении поставленной задачи в целевую функцию [41]

$$C_0 = F(C_1, C_2, \dots, C_n) \quad (68)$$

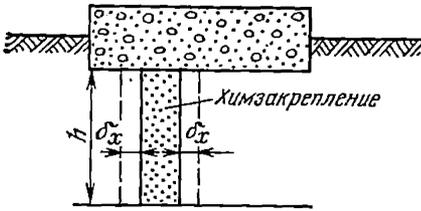
входят стоимости измерений и инженерных мероприятий, причем

$$\begin{aligned} C_1 &= f_1(\delta_g); \\ C_2 &= f_2(\delta_g); \\ &\dots \\ C_n &= f_n(\delta_g). \end{aligned} \quad (69)$$

Таким образом должны быть установлены зависимости затрат на вышеуказанные работы от предельной ошибки определения деформации. Экстремум функции (68) определяют при некоторых ограничениях допустимых ошибок вида  $a \leq \delta_g \leq b$  и ограничениях параметров, входящих в функции (69).

Рассмотрим назначение исходного допуска на примере наблюдений за изгибами фундаментной плиты на упругом основании.

Пример 1. Необходимо выполнить наблюдения за изгибами фундаментной плиты (рис. 57) с целью выявления опасных мест (мест возможного образования трещин), возникающих в результате действия антропогенных факторов. Проектной организацией планируется в опасных местах выполнить химическое закрепление грунтов, создав под фундаментом массивы до глубины  $h$  протяженностью  $l$ . Если положение опасного места будет определено с ошибкой  $\delta_x$ , ширину массива увеличивают на величину  $2\delta_x$ . При этом в технологической карте на производство химзакрепления предусмотрен коэффициент запаса в расчете на



возможные ошибки при определении параметров распространения растворов. В линейной мере величина этого запаса равняется 10 см симметрично в каждую сторону от оси массива.

Таким образом, одним из возможных, но неоптимальных решений, согласно (66), будет  $\delta_x \leq 10$  см.

Ограничительное условие

$$5 \text{ см} < \delta_x < 100 \text{ см}. \quad (70)$$

Рис. 57. Химическое укрепление основания фундамента

Нижний предел обусловлен тем, что достижение большей точности, как будет показано в § 27, может быть затруднительно.

Нарушение верхнего предела осложняет производство химзакрепления. С учетом затрат на изготовление деформационных знаков, стоимости проезда бригады, заработной платы, амортизации оборудования и пр., затраты на наблюдения в одном цикле при условии (70) характеризуются зависимостью

$$C_1 = 40 - 0,4\delta_x + 0,002\delta_x^2, \text{ руб.} \quad (71)$$

Дополнительные затраты на выполнение химического закрепления находим по формуле

$$\Delta C_2 = 2\delta_x h C_2, \text{ руб.},$$

где  $C_2$  — стоимость закрепления 1 м<sup>3</sup> грунта, принятая, согласно [29], 50 руб.

По ранее произведенным работам установлено, что для нахождения опасного сечения в аналогичных условиях необходимо выполнить 10 циклов измерений.

В качестве целевой функции примем

$$C_0 - 10C_1 + \Delta C_2 = 10(40 - 0,4\delta_x + 0,002\delta_x^2) + 2\delta_x h C_2.$$

После подстановки конкретных значений и некоторых преобразований

$$C_0 = 400 - 1,5\delta_x + 0,02\delta_x^2. \quad (72)$$

Отсюда находим значение  $\delta_x$ .  $C_0' = -1,5 + 0,04\delta_x$ ,  $\delta_x = 37 \approx 40$  см.

На рис. 58 показан штрихпунктирной линией график функции (71), а штриховой — функции (72). Из этих графиков видно, что при  $\delta_x = 40$  см экономический эффект в расчете на одну опору составляет примерно 40 руб.

В некоторых случаях аналогичный расчет допусков приводит к решению, которое свидетельствует об экономической целесообразности выполнения измерений с максимально достижимой в данных условиях точностью. Рассмотрим

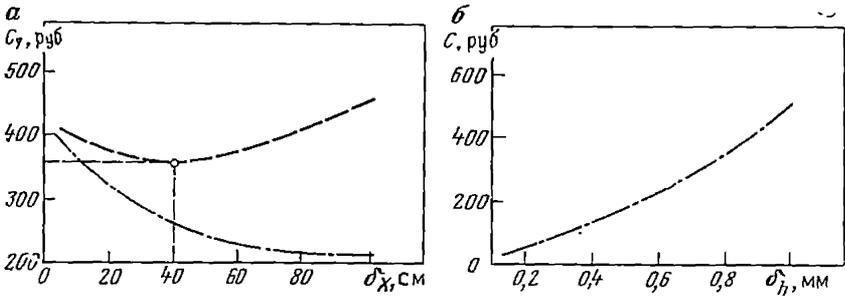


Рис. 58. Зависимость стоимости работ от точности измерений

это на примере расчета предельной допустимой ошибки определения скорости при гидроиспытаниях аппаратов колонного типа.

**Пример 2.** В данном случае в результате двух циклов геодезических измерений должно быть получено значение заданной скорости  $V$ . В период геодезических измерений, продолжительность которых может достигать нескольких суток, по существу, простаивают используемое для гидроиспытаний оборудование и бригада рабочих. Поэтому в целевой функции

$$C_0 = C_1 + C_2,$$

где  $C_1$  — стоимость геодезических работ в двух циклах измерений;  $C_2$  — затраты, связанные с простоем.

Дифференцируя функцию скорости и переходя к предельным ошибкам, получим

$$\delta_V = -\frac{\delta_h \sqrt{2}}{\Delta t};$$

$$\Delta t = \frac{\delta_h}{\delta_V} \sqrt{2}, \quad (73)$$

где  $\delta_h$  — предельная ошибка превышения между деформационным знаком и исходным репером.

Если использовать метод точного геометрического нивелирования коротким лучом, можно принять  $1 \text{ мм} \geq \delta_h \geq 0,05 \text{ мм}$ . Для конкретного объекта, с учетом расстояний, на которые перемещалась бригада, конструкции оборудования, опыта исполнителей и ряда других условий, нами была получена зависимость  $C_1 = 10 - 2,1\delta_h + 0,1\delta_h^2$ .

С учетом ее выражения целевая функция примет вид

$$C_0 = 10 - 2,1\delta_h + 0,1\delta_h^2 + C_2' \frac{\delta_h}{\delta_V} \sqrt{2}, \quad (74)$$

где  $C_2'$  — стоимость простоя за 1 ч, составляющая примерно 3 руб 50 к.

На рис. 58 показан пунктирной линией график функции (74), которая в указанных пределах не имеет экстремума. Из построенного графика видно, что в данном случае может быть экономически целесообразным проведение измерений с точностью выше, чем 0,05 мм. Это показывает, что при проведении этого вида геодезических работ достаточно актуально дальнейшее повышение точности методов и средств измерений.

Несомненно, что приведенные примеры не исчерпывают тех возможностей, которые позволяют решить методы оптимизации, изложенные в [41], но они позволяют получить некоторое представление о возможности расчета исходных допусков для проектирования геодезических работ при изучении деформаций сооружений башенного типа.

Необходимо отметить, что для возможности более широкого использования теории оптимизации и для решения аналогичных задач необходима детальная разработка математических моделей технологических операций, применяемых в строительстве.

## § 27. Наблюдения за вертикальными перемещениями сооружений

Геодезические наблюдения за вертикальными перемещениями башенных сооружений начинают с момента возведения фундамента, ведут в процессе строительства башни и в эксплуатационный период. При этом для больших башен наблюдения не прекращают

и после стабилизации осадок. Часто наблюдения ведут до начала возведения фундамента при производстве земляных работ за упругой отдачей дна котлована и при устройстве искусственных оснований с целью выявления их несущей способности.

Для сооружений башенного типа и групп таких сооружений должен составляться проект на геодезические наблюдения за деформациями, входящий в качестве специального раздела в состав «Проекта производства геодезических работ» (ППГР). В таком разделе должны быть рассмотрены следующие вопросы:

1. Задачи наблюдений, заданная точность измерений в виде исходных допусков определения отдельных видов деформаций в виде значений  $\delta_g$  (см. § 26).

2. Возможные причины деформаций.

3. Схема геодезической сети, включающая исходные и деформационные знаки.

4. Оценка проекта геодезической сети.

5. Обоснование методики измерений и рабочих допусков.

6. Сопутствующие негеодезические методы наблюдений и использование их данных при обработке результатов геодезических измерений.

7. Рекомендации по обработке полученных данных.

Для правильного проектирования геодезических измерений большое значение имеет установление возможных причин деформаций и их величин. Эти данные позволяют правильно выбрать методы и приборы для производства работ, а в некоторых случаях исключить или учесть влияние процессов, приводящих к деформациям, на сами геодезические измерения. Например, необходим учет глубины и колебания уровня грунтовых вод при выборе глубин заложения исходных знаков. Для того чтобы правильно оценить действие строительных нагрузок, следует планировать «срочные» наблюдения с учетом технологии производства работ, средства измерений следует избирать с учетом прогнозируемых величин деформаций.

В § 25 были перечислены основные причины деформаций инженерных сооружений, подробнее с ними можно ознакомиться в [36]. Поэтому здесь мы остановимся только на некоторых из перечисленных, имеющих существенное значение для сооружений башенного типа.

Основными факторами, влияющими на величину осадки башни, являются нагрузки, возникающие в процессе строительства и эксплуатации. К ним следует отнести нагрузки, обусловленные массой башни, фундамента и постоянного оборудования. При этом масса башни в процессе ее возведения постоянно изменяется. Расчет конечной осадки может выполняться методом эквивалентного слоя или постоянного суммирования [43].

При применении первого метода находят мощность эквивалентного слоя

$$h_a = A\omega b,$$

где  $A\omega$  — коэффициент эквивалентного слоя;  $b$  — ширина фундамента.

$S_k$  — конечную осадку — находят по формуле

$$S_k = h_0 \alpha_{\text{ср}} P_d,$$

где  $\alpha_{\text{ср}}$  — коэффициент относительной сжимаемости грунта;  $P_d$  — дополнительное давление.

$$\alpha_{\text{ср}} = \frac{1}{2h_0^2} \sum_{i=1}^n h_i \alpha_i z_i,$$

где  $h_i$  — мощность  $i$ -го слоя в пределах активной зоны  $H = 2h_0$ ;  $\alpha_i$  — коэффициент относительной сжимаемости  $i$ -го слоя;  $z_i$  — расстояние от основания активной зоны до середины  $i$ -го слоя.

$$P_d = P_H - \gamma h,$$

где  $P_H$  — среднее давление на подошву фундамента;  $\gamma$  — объемный вес грунта в пределах глубины  $h$ ;  $h$  — глубина заложения фундамента.

При методе постоянного суммирования конечную осадку вычисляют по формуле

$$S_k = 0,8 \sum_{i=1}^n h_i \frac{1}{E_{0i}} P_i,$$

где  $P_i = \frac{1}{2} [P_{zi} + P_{z(i+1)}]$ ;  $P_z = a P_d$ ,

$P_z$  — нормальное напряжение;  $a$  — коэффициент, зависящий от размеров подошвы фундамента;  $E_{0i}$  — модуль деформации  $i$ -го слоя;  $n$  — число слоев, на которые разбивают активную зону.

За нижнюю границу активной зоны принимают глубину, где  $P_d$  составляет 20 % от величины бытового напряжения. При строительстве сооружений башенного типа представляют интерес изменения осадки во времени. В этом случае осадку аппроксимируют экспонентой.

Для легких сооружений предрасчет осадки может быть выполнен по упрощенной формуле

$$S_k = \frac{1}{C} \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{F},$$

где  $C$  — коэффициент Винклера;  $\sum_{i=1}^n P_i$  — сумма вертикальных сил;  $F$  — площадь основания фундамента.

Эту формулу целесообразно использовать, если требуется предвычислить ожидаемую осадку геодезических знаков.

Таблица 19

Общая характеристика основания	Наименование грунта	$C$ , кгс/см <sup>2</sup>
Малой плотности	Плывун, песок свеженасыпанный, мокрая глина	0,1—0,5
Средней плотности	Песок слежавшийся, гравий насыпной, глина влажная	0,5—5,0
Плотное	Песок плотнослежавшийся, гравий, щебень, глина малой влажности	5—10,0
Весьма плотное	Грунт искусственно уплотненный, глина твердая	10,0—20,0
Твердое	Мягкая трещиноватая скала, известняк, мерзлота	20,0—100,0
Скалистое	Твердая скала	100,0—1500,0
Свайное основание		5,0—15,0
Строительные материалы	Кирпич, бетон	400—1500

Таблица 20

Вид грунтов	$E_0$ , кгс/см <sup>2</sup>	
	плотные	средней плотности
<b>Песчаные грунты</b>		
Пески гравелистые и крупные	480	360
Пески средней крупности	420	310
Пески мелкие маловлажные	360	250
Пески мелкие, насыщенные водой	310	190
Пески пылеватые маловлажные	210	175
Пески пылеватые, насыщенные водой	140	90
<b>Глинистые грунты</b>		
Супеси при коэффициенте пористости:		
0,5	160	90
0,7	125	50
Глина	590—160	160—40
Суглинок	390—160	160—40

В табл. 19 и 20 приведены некоторые показатели грунтов.

В результате неоднородных свойств основания, характеризующих главным образом коэффициентом Винклера и модулем упругих деформаций, указанных в табл. 19, 20, а также в результате воздействия на основание антропогенных процессов может происходить неравномерная осадка, приводящая к крену сооружения. По этим же причинам и из-за действия значительных нагрузок могут происходить прогибы фундаментных конструкций, существенно отличающиеся от расчетных. В практике строительства высотных сооружений и сооружений башенного типа известны случаи, когда в результате таких прогибов образовывались трещины и происходили разрушения конструкций. Поэтому в отдельных случаях

возникает необходимость производства натуральных наблюдений за прогибами фундаментных плит и балок. Методика производства таких наблюдений будет рассмотрена далее. Здесь мы кратко остановимся на предрасчете прогибов конструкций на упругом основании, так как эти результаты могут использоваться при проектировании геодезических измерений и определении допусков. Средняя плоскость конструкции при деформации принимает вид упругой поверхности, дифференциальное уравнение которой можно записать в виде выражения

$$\Delta \Delta W = \frac{q_1}{D},$$

где  $D = \frac{Eh^3}{12(1-\mu^2)}$  — цилиндрическая жесткость;  $E$  — модуль упругих деформаций материала, из которого изготовлена конструкция;  $q_1$  — нагрузка;  $h$  — толщина плиты;  $W$  — теоретическая величина прогиба;  $\Delta$  — оператор Лапласа в прямоугольной системе координат с осями  $X$  и  $Y$ , расположенными в горизонтальной плоскости, равный

$$\Delta = \frac{\partial^2}{\partial X^2} + \frac{\partial^2}{\partial Y^2}.$$

В настоящее время в практике расчета строительных конструкций применяют следующие модели упругого основания:

1. Модель Винклера.
2. Модель основания с двумя упругими характеристиками.
3. Модель упругого однородного изотропного пространства.

Для расчета прогибов при проектировании геодезических работ целесообразно пользоваться первой из перечисленных моделей, в которой прогиб определяется из условия

$$W(X, Y) = \frac{\Psi(X, Y)}{C},$$

где  $\Psi$  — реактивное давление.

Для случая сосредоточенной нагрузки

$$W = \frac{Pl^2}{4D} f_0(\xi), \quad (75)$$

где  $P$  — величина силы, действующей на плиту;  $l$  — характеристика гибкости плиты:

$$l = \sqrt[4]{\frac{D}{C}}; \quad f_0(\xi) = R_1 H_0^{(1)}(\xi \sqrt{l}),$$

где  $R_1 H_0^{(1)}(\xi \sqrt{l})$  — действительная часть функции Ганкеля нулевого порядка, первого рода;  $\xi$  — приведенное расстояние до точки, в которой определяют прогиб;

$$\xi = \frac{r}{l},$$

где  $r$  — расстояние до точки от начала координат.

Для определения  $f_0(\xi)$  составлены специальные таблицы, так как вычисление значений функции Ганкеля представляет определенные трудности.

При ограничениях

$$0 \leq \xi \leq 4; \quad 0,1 \leq C \leq 20; \quad 12 \cdot 10^4 \leq E_0 \leq 41 \cdot 10^4 \quad (76)$$

прогиб плиты может быть найден по приближенной формуле

$$W = 0,866 (0,612A^{1/2}C^{-1/2} - 0,192rA^{3/4}C^{1/2} + 0,0018r^2A - 0,00029 \times \\ \times r^3A^{5/4}C^{1/4} - 0,000023r^4A^{3/2}C^{1/2}), \quad (77)$$

где

$$A = \frac{(1 - \mu^2)}{Eh^3}.$$

Для практических расчетов формулой (77) пользоваться удобно при отсутствии специальных таблиц. Ограничения (76), по существу, охватывают наибольший диапазон применяемых конструкций и встречающихся естественных оснований. Эта формула позволяет получать результаты, отличающиеся от полученных по формуле (75) в пределах 3 %.

Если нагрузка равномерно распределена по окружности радиусом  $R$ , при  $\xi \leq \frac{R}{l}$

$$W = \frac{\pi q R l^2}{2D} \left[ f_0 \left( \frac{R}{l} \right) U_0(\xi) - g_0 \left( \frac{R}{l} \right) V_0(\xi) \right],$$

а при  $\xi \geq \frac{R}{l}$

$$W = \frac{\pi q R l^2}{2D} \left[ U_0 \left( \frac{R}{l} \right) f_0(\xi) - V_0 \left( \frac{R}{l} \right) g_0(\xi) \right],$$

где  $q$  — интенсивность нагрузки;

$$U_0(R/l) = R_l J_0(R/l \sqrt{i});$$

$$V_0(\xi) = J_m J_0(\xi \sqrt{i});$$

$$g_0(R/l) = J_m H_0^{(1)}(R/l \sqrt{i}).$$

В этих формулах  $J_0$  — функция Бесселя нулевого порядка, знаки  $R_l$  и  $J_m$  означают действительную и мнимую части этих функций.

В процессе эксплуатации некоторых сооружений башенного типа на деформации строительных конструкций могут оказывать влияние изменения температуры, обусловленные технологическими процессами и внешними условиями. Это проявляется в виде изгибов как самой башни, так и ее фундамента.

При определенной разности температуры в верхней и нижней частях фундаментных плит или балок возможен их отрыв от основания. Следует иметь в виду, что в некоторых башнях промыш-

ленного назначения в процессе эксплуатации температура может достигать 1000 °С. Это, несмотря на мероприятия по их теплоизоляции, может приводить к образованию значительного градиента по толщине фундамента и к изменениям температуры атмосферы вокруг сооружения. Подобные условия необходимо учитывать при производстве геодезических наблюдений.

При расчетах температурных деформаций конструкций прогиб башни определяют по формуле

$$W = \frac{2\alpha t_b}{h\lambda^3} \varphi(\lambda, \xi'),$$

где  $\alpha$  — коэффициент линейного температурного расширения;  $h$  — высота балки;  $t_b$  — условная температура в верхнем волокне;  $\lambda$  — характеристика гибкости;  $\xi' = \lambda x$  — приведенное расстояние от исследуемого сечения до середины балки

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{Cb}{4EJ}};$$

$b$  — ширина балки;  $J$  — момент инерции.

Приближенные значения  $t_b$  можно найти из выражения

$$t_b = \Delta t \frac{h}{2},$$

где  $\Delta t$  — температурный градиент, характеризующий изменение температуры по высоте конструкции.

Используя приведенные формулы и методы расчета осадок и прогибов, можно получить предварительно их значения и рассчитать величину допуска для геодезических наблюдений, применяя выражения (66) и (67).

При наблюдениях за вертикальными перемещениями башенных сооружений применяют метод геометрического нивелирования, гидростатического нивелирования и микро nivelирования.

Могут иметь место два случая, когда для наблюдения в качестве исходных используют пункты внешней геодезической основы и когда создают специальную высотную сеть. Второй случай применяют, когда наблюдения ведут за сооружениями, особенно чувствительными к деформациям. При наблюдениях за вертикальными перемещениями группы башенных сооружений целесообразно использовать единую сеть и вычислять результаты нивелирования от постоянного начала. На рис. 59, а, б, в показаны возможные варианты сетей для таких наблюдений. Исходные пункты должны обладать достаточной устойчивостью. Целесообразно, чтобы

$$\sigma_y \ll \left( \frac{1}{3} \div \frac{1}{5} \right) \sigma_s, \quad (78)$$

где  $\sigma_y$  — стандарт устойчивости геодезического знака;  $\sigma_s$  — стандарт определения вертикального перемещения сооружения.

Соображения о необходимой точности измерений, приведенные в § 25, позволяют сделать вывод о том, что для различных соору-

жений значение  $\sigma_y$  находится в достаточно жестких пределах (от 0,2 до 6 мм). Поэтому при проектировании геодезических измерений возникает необходимость в выборе конструкции и глубины закладки знаков, а также в оценке их устойчивости.

Если при выполнении наблюдений предполагается использовать пункты внешней основы, выполняемые в виде обычных грунтовых знаков, необходимо предусмотреть мероприятия, обеспечивающие их устойчивость в пределах для данного сооружения.

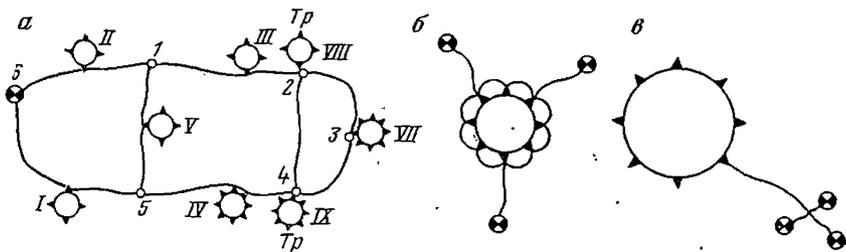


Рис. 59. Схемы высотного обоснования

В первую очередь следует рассчитать необходимую глубину заложения якоря, обеспечивающую устойчивость знака против сил морозного пучения. Для этого можно использовать уравнение устойчивости [37], которое для сезоннопромерзающих грунтов будет

$$0,9(G + g + Q_T) \geq T, \quad (79)$$

а для районов вечной мерзлоты

$$0,9(G + g + Q_T + Q_M) \geq T, \quad (80)$$

где  $G$  — сила воздействия знака на основание;  $g$  — сила воздействия грунта, лежащего на уступах якоря;  $Q_T$  — сила трения знака об окружающие грунты;  $Q_M$  — нормативная сила вследствие смерзания знака с вечномерзлым массивом;  $T$  — сила морозного пучения.

Приведем ориентировочные значения величин, входящих в уравнение (79) и (80), согласно СНиП II-Б.6—66, СНиП II-Б.5—67:

$$T = hr^H F,$$

где  $h$  — коэффициент перегрузки, равный 1,2 для вечномерзлых грунтов и 1,4 для сезоннопромерзающих;  $r^H$  — нормативное значение касательных сил пучения; принимаемое для грунтов с температурой  $t \geq -3^\circ\text{C}$  равным 0,8 кгс/см и при  $t \leq -3^\circ\text{C}$  равным 0,6 кгс/см;  $F$  — площадь поверхности реперной штанги, расположенной в сезоннопромерзающем слое, см<sup>2</sup>;

$$G = \gamma_1 V_1 + \gamma_2 V_2.$$

где  $\gamma_1$  и  $\gamma_2$  — соответственно объемный вес бетонной и металлических частей знака, кгс/м<sup>3</sup>;  $V_1$  и  $V_2$  — объемы этих частей знака, м<sup>3</sup>;

$$g = \gamma_3 V_3,$$

где  $\gamma_3$  — объемный вес грунта, кгс/м<sup>3</sup>,  $V_3$  — объем талого грунта, лежащего на уступах якоря, м<sup>3</sup>;

$$Q_T = f F_T,$$

где  $f$  — нормативное сопротивление грунта, принимаемое для песчаных грунтов 0,3 кгс/см<sup>2</sup> и 0,2 кгс/см<sup>2</sup> для глинистых грунтов;  $F_T$  — площадь боковой поверхности, расположенная в непромерзающем грунте;

$$Q_M = \sum_{i=1}^n R_{св_i} F_i,$$

где  $R_{св_i}$  — нормативное сопротивление мерзлых грунтов сдвигу, кгс/см<sup>2</sup>, определяемое по СНиП II-Б,6—66;  $F_i$  — наименьшая возможная площадь смерзания боковых поверхностей геодезического знака со слоем вечной мерзлоты;  $n$  — число слоев вечномерзлого грунта.

Подобрав по приведенным формулам глубину заложения в размеры знака с учетом уравнений (79) и (80), вычисляют возможную осадку знака. При этом следует иметь в виду, что 90 % осадки вычисленной величины  $S_k$  для различных грунтов проходит примерно за следующее время:

- 1) для песков — 5 дней,
- 2) для супесей — 10 дней,
- 3) для суглинков — 15 дней,
- 4) для глины — 20 дней.

Вышеуказанной продолжительностью оседания следует руководствоваться при определении времени начала наблюдений после закладки геодезического знака.

Как показывают результаты исследований грунтовых знаков, при правильном определении глубин их закладки и соблюдении правил, предусмотренных действующими инструкциями,  $\sigma_\gamma \approx 4$  мм. Практика многих организаций производства геодезических работ в черте городов и на промышленных площадках показывает, что в отдельных случаях для устройства знаков целесообразно использовать обечайки кирпичных и железобетонных колодцев подземных коммуникаций. При использовании для этой цели колодцев двух-трехгодичной постройки  $\sigma_\gamma \approx 2$  мм.

Для районов вечной мерзлоты М. С. Успенским предложен многодисковый якорь, который обладает большим сопротивлением силам пучения.

Для подвижных песков применяется репер в виде шнека, устанавливаемый в грунт завинчиванием. Вместо такого репера может быть применен знак, у которого якорь выполняется с помощью

химического закрепления. Реперная штанга в виде трубы погружается до нужной глубины с помощью отбойного молотка, укрепляемого в верхней ее части.

Как показали производственные испытания, выполненные в системе метростроя, таким способом в слабых грунтах погружение может быть осуществлено до 11 м. В нижнем конце штанги имеются отверстия диаметром 5 мм. После установки штанги в нее закачивают раствор, состоящий из карбамидной смолы (плотностью 1,09 г/см<sup>3</sup>) — 100 частей и 5 %-ного раствора соляной кислоты — 12—13 частей. В результате распространения раствора вокруг нижней части реперной штанги образуется монолит, обладающий прочностью 10 кгс/см<sup>2</sup>. Такой репер может обладать достаточно высокой устойчивостью, так как не нарушается грунт при его закладке и он обладает значительным сопротивлением к вертикальным перемещениям.

В тех случаях, когда необходимо, чтобы исходные знаки обладали большей устойчивостью, используют глубинные реперы. В настоящее время разработано достаточно много подобных устройств, которые могут применяться при наблюдениях за вертикальными перемещениями башенных сооружений. Из них целесообразно рекомендовать наиболее простой при изготовлении, с реперной штангой, выполненной из материала с низким коэффициентом линейного расширения. Якорь следует располагать на такой глубине, чтобы избежать его перемещений при сезонных изменениях температуры горных пород. Амплитуду годовых температур на глубине  $h$  можно найти по формуле

$$a = A e^{-\sqrt{\frac{\pi}{kT}} h}, \quad (81)$$

где  $A$  — амплитуда годовых колебаний на поверхности земли;  $k$  — коэффициент теплопроводности горных пород;  $T$  — период колебаний, с ( $31,6 \cdot 10^5$  с).

Логарифмируя (81), получим

$$\begin{aligned} \lg a &= \lg A - h \sqrt{\frac{\pi}{kT}} \lg e; \\ h &= \frac{\lg A - \lg a}{\lg e \sqrt{\frac{\pi}{kT}}}. \end{aligned}$$

Для практических расчетов глубину  $h$  принимают при условии  $a = 0,3^\circ\text{C}$ .

В качестве примера рассчитаем глубину закладки якоря в районе, характеризуемом годовыми изменениями температуры  $60^\circ\text{C}$  в скальных породах с  $k = 0,015$  см<sup>2</sup>/с.

$$h = \frac{1,778151 - 0,522878}{0,434294 \cdot \sqrt{\frac{3,14159}{0,015 \cdot 31,6 \cdot 10^5}}} = 11,2 \text{ м.}$$

При использовании глубинных реперов такой конструкции может оказаться необходимым введение поправок за изменение температуры реперной штанги, вычисляемых по формуле

$$\Delta_h = h\alpha\Delta t, \quad (82)$$

где  $\alpha$  — коэффициент линейного температурного расширения (КЛТР) материала, из которого изготовлена штанга;  $\Delta t$  — изменения температуры.

Среднюю квадратическую погрешность поправки находим, дифференцируя (82):

$$m_{\Delta h}^2 = h^2 (\Delta t^2 m_\alpha^2 + \alpha^2 m_{\Delta t}^2).$$

Это выражение можно использовать для расчета необходимой точности определения КЛТР и температуры.

Например, если использовать принцип равных влияний и принять

$$m_{\Delta h} = 0,1 \text{ мм}, \quad h = 11 \text{ м}, \quad \Delta t = 20^\circ\text{С}, \quad \alpha = 2 \cdot 10^{-6},$$

получим

$$\frac{m_{\Delta h}}{\sqrt{2}} = h\Delta t m_\alpha = h\alpha m_{\Delta t};$$

$$m_\alpha = \frac{m_{\Delta h}}{h\Delta t\sqrt{2}} = \frac{0,1}{1,1 \cdot 10^4 \cdot 20 \sqrt{2}} = 0,3 \cdot 10^{-6};$$

$$m_{\Delta t} = \frac{m_{\Delta h}}{h\alpha\sqrt{2}} = \frac{0,1}{1,1 \cdot 10^4 \cdot 2 \cdot 10^{-6} \sqrt{2}} = 3^\circ \text{С}.$$

В настоящее время разработана конструкция подобного репера со штангой из волокнистого углепластика [6] с КЛТР  $\approx 0,17 \cdot 10^{-6}$ . В этом случае практически отпадает необходимость учета температуры, так как сама поправка будет незначительной:  $\Delta_h = 1,1 \cdot 10^4 \cdot 0,15 \cdot 10^{-6} \cdot 20 = 0,03$  мм.

Преимуществом такого репера является также то, что он не подвержен коррозии и поэтому может быть использован в течение длительного времени. Весьма важно правильно выбрать конструкцию и местоположение деформационных марок. На рис. 61, а показана марка, применяемая при заглублении фундамента. Марки

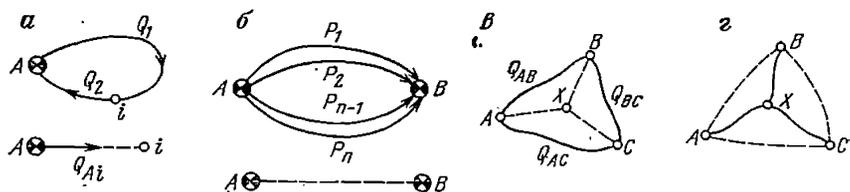


Рис 60. Схемы эквивалентных преобразований

на рис. 61, *в* и *г* используются для постановки или подвески реечек М. С. Пискунова. На рис. 61, *б* показана марка, применяющаяся для микронивелирования или при постановке реек, снабженных сферической пяткой. Такие марки снабжены завинчивающимися головками, что позволяет устанавливать их в начальном цикле на одну отметку.

После установки головки на нужную отметку резьбу сбивают зубилом и марку заливают цементным раствором. Необходимо, чтобы при установке марок не происходило ослабление наблюдаемой конструкции. Поэтому желательно отверстия для их закладки делать возможно меньшими без разрушения арматуры и по возможности на глубину защитного слоя бетона.

При наличии в фундаментах деформационных швов знаки устанавливают по обе стороны каждого шва.

Особенностью нивелирных сетей является то, что они строятся в виде одной общей сети, предназначенной для определения абсолютных осадок группы сооружений и локальных сетей, прокладываемых вокруг каждой башни для определения относительных деформаций и прогибов. Это обусловлено разницей в требованиях к точности определения превышения при наблюдениях за абсолютными осадками и другими видами деформаций. Особенно существенные различия могут возникать при необходимости наблюдений за изгибами фундаментных плит и других элементов конструкций.

Оценку проекта общей нивелирной сети целесообразно производить строгими методами эквивалентной замены, параметрически или коррелятными.

Первый из названных методов удобен при оценке проектов в отсутствие ЭВМ, так как не требует большого объема вычислений. Его целесообразно применять для оценки сравнительно простых сетей в том случае, когда требуется определить обратные веса для незначительного числа пунктов. При этом следует иметь в виду, что при оценке проекта сети, предназначенной для наблюдений за группой башенных сооружений, нужно определять обратный вес как для пункта, расположенного на сооружении в наиболее слабом месте сети, так и для пунктов на сооружениях, к которым предъявляются более жесткие требования при определении абсолютных осадок. Если для сети, показанной на рис. 59, *а*, наиболее слабым пунктом является 3 на градирне VII, необходимо определить обратные веса для пунктов 2 и 4, которые расположены на дымовых трубах VIII и IX, так как к точности определения их осадок предъявляют более высокие требования.

Приведем основные расчетные формулы для способа эквивалентной замены [26]. Для точки, расположенной в замкнутом нивелирном ходе (рис. 60, *а*) имеем

$$Q_{Ai} = \frac{Q_1 Q_2}{Q_1 + Q_2},$$

где  $Q_{Ai}$  — обратный вес превышения между точками  $A$  и  $i$ ;  $Q_1$ ,  $Q_2$  — обратные веса превышений соответственно по ходу  $Ai$  и  $iA$ .

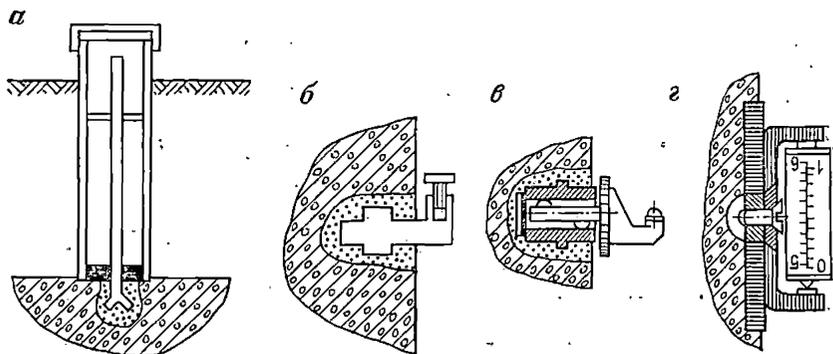


Рис. 61. Типы деформационных марок

Если между двумя узловыми точками  $A$  и  $B$  проложено  $n$  ходов (рис. 60, б), получаем

$$Q_{AB} = \frac{1}{P_1 + P_2 + \dots + P_n},$$

где  $P_1, P_2, \dots, P_n$  — веса превышений по каждому ходу. Для трех ходов (рис. 60, в) имеем

$$Q_{Ax} = \frac{Q_{AB} Q_{AC}}{\sum Q_{ij}},$$

где

$$\sum Q_{ij} = Q_{AB} + Q_{AC} + Q_{BC}.$$

$$Q_{Bx} = \frac{Q_{AB} Q_{BC}}{\sum Q_{ij}};$$

$$Q_{Cx} = \frac{Q_{AC} Q_{BC}}{\sum Q_{ij}}.$$

В тех случаях, когда нужно выполнить обратное преобразование, т. е. разложить три хода в треугольник (рис. 60, г), используют формулы

$$Q_{AB} = \frac{Q_{Ax} Q_{Bx} + Q_{Bx} Q_{Cx} + Q_{Cx} Q_{Ax}}{Q_{Cx}};$$

$$Q_{BC} = \frac{Q_{Ax} Q_{Bx} + Q_{Bx} Q_{Cx} + Q_{Cx} Q_{Ax}}{Q_{Ax}};$$

$$Q_{AC} = \frac{Q_{Ax} Q_{Bx} + Q_{Bx} Q_{Cx} + Q_{Cx} Q_{Ax}}{Q_{Bx}}.$$

Если в сети необходимо оценить положение большого количества пунктов, удобно использовать параметрический способ. Для

этого составляют матрицу коэффициентов нормальных уравнений  $N_{rr}$ , руководствуясь следующим правилом [26].

1. Каждый диагональный элемент в строке с номером  $i$  равняется сумме весов по каждому ходу, примыкающему к точке сети с номером  $i$ .

2. Элемент матрицы, расположенный в строке  $i$  и столбце  $j$ , равняется весу превышения в ходе от точки  $i$  до  $j$  со знаком минус.

Далее получают транспонированную матрицу  $N_{rr}^T$ , в которой заменяют каждый элемент определителем, полученным в результате вычеркивания строки и столбца, на которых расположен данный элемент. В полученной матрице меняют знаки у элементов с нечетной суммой индексов на обратные. И окончательно находят обратную матрицу  $N_{rr}^{-1}$ , деля каждый член полученной матрицы на определитель исходной матрицы.

Элементы матрицы  $N_{rr}^{-1}$  являются весовыми коэффициентами, значения диагональных элементов соответствуют обратным весам превышений между исходным и оцениваемыми пунктами. Вычисление осуществляется на ЭВМ по стандартной программе обращения матриц.

Оценка проекта может быть выполнена и коррелятным способом [26], для чего составляют систему условных уравнений и весовые функции интересующих элементов. Обратные веса получают на ЭВМ по стандартной программе.

В качестве примера произведем расчеты для сети, показанной на рис. 61, а, используя два первых способа.

При оценке общей сети последовательность вычислений целесообразно принять, как это рекомендовано в [26]. Составляем таблицу обратных весов превышений, определяемых на станции в зависимости от расстояния до реек (табл. 21). При этом будем счи-

Таблица. 21

№ п/п	Расстояние $D$ , м	Обратный вес превышения	
		Один горизонт	Два горизонта
1	5	0,250	0,125
2	10	0,444	0,222
3	15	0,695	0,348
4	20	1,000	0,500
5	25	1,360	0,680
6	30	1,780	0,889
7	35	2,250	1,125
8	40	2,780	1,390

тать, что для решения поставленной задачи необходимо выполнять нивелирование в одном направлении при одном горизонте инструмента.

В табл. 22 сведены результаты вычисления обратных весов по ходам.

Ход	Число неравноточных превышений в ходе				Значения обратных весов
	10	15	20	25	при одном горизонте
6—1	—	—	10	—	10,0
1—2	5	5	—	5	12,5
2—3	5	—	5	—	7,2
3—4	10	5	3	—	10,9
4—5	—	5	10	—	13,5
5—6	5	—	12	—	14,2
1—5	—	—	12	—	12,0
2—4	10	8	—	—	10,0

Составим схему ходов, на которую выпишем значения весов и обратных весов.

Произведем оценку проекта сети методом эквивалентной замены:

$$Q_{5-x_1} = \frac{14,2 \cdot 12}{36,2} = 4,71; \quad Q_{6-x_1} = \frac{10,0 \cdot 14,2}{36,2} = 3,92;$$

$$Q_{1-x_1} = \frac{10,0 \cdot 12,0}{36,2} = 3,31; \quad Q_{4-x_2} = \frac{18,21 \cdot 10,0}{44,02} = 4,14;$$

$$Q_{x_1-x_2} = \frac{18,21 \cdot 15,81}{44,02} = 6,54; \quad Q_{2-x_2} = \frac{15,81 \cdot 10,0}{44,02} = 3,59;$$

$$Q_{x_3-3} = \frac{10,79 \cdot 15,04}{25,83} = 6,28; \quad Q_{6-3} = 3,92 + 6,54 + 6,28 = 16,74;$$

$$Q_{x_1-4} = \frac{4,14 \cdot 21,69}{25,83} = 3,48; \quad Q_{6-4} = 3,92 + 6,54 + 3,48 = 13,94;$$

$$Q_{x_1-2} = \frac{3,59 \cdot 22,24}{25,83} = 3,09; \quad Q_{6-2} = 3,92 + 6,54 + 3,09 = 13,55.$$

Находим значения обратных весов для точек той же сети параметрическим способом. Составим матрицу  $N_{rr}$ .

$$N_{rr} = \begin{bmatrix} 0,26 & -0,08 & 0,00 & 0,00 & -0,08 \\ -0,08 & 0,32 & -0,14 & -0,10 & 0,00 \\ 0,00 & -0,14 & 0,23 & -0,09 & 0,00 \\ 0,00 & -0,10 & -0,09 & 0,26 & -0,07 \\ -0,08 & 0,00 & 0,00 & -0,07 & 0,22 \end{bmatrix}.$$

При помощи ЭВМ находим обратную матрицу  $N_{rr}^{-1}$ , откуда выпишем диагональные элементы:  $Q_{6-1}=7,00$ ;  $Q_{6-2}=13,69$ ;  $Q_{6-3}=16,83$ ;  $Q_{6-4}=14,09$ ;  $Q_{6-5}=8,17$ .

Полученные результаты достаточно хорошо согласуются со значениями, найденными методом эквивалентной замены. Незначи-

тельные расхождения обусловлены округлением при вычислении весов. При отсутствии ЭВМ решение задачи возможно с помощью микрокалькулятора двумя путями: либо посредством вычисления обратной матрицы в вышеуказанной последовательности, либо путем решения систем нормальных уравнений с коэффициентами при неизвестных, соответствующими элементам матрицы. В последнем случае в уравнение с порядковым номером, равным номеру оцениваемого пункта, в качестве свободного члена подставляют  $-1$ , а в остальные — нули.

Производим расчет точности локальной сети вокруг дымовой трубы IX при заданном значении  $m_{\Delta S} \leq 0,3$  мм. При этом  $m_{\Delta S}$  — ошибка положения пункта  $4'$  относительно  $4$  (см. рис. 59, а). Если выполнять нивелирование при двух горизонтах, получим

$$q_{4-4'} = \frac{q_1 q_2}{q_1 + q_2},$$

где  $q$  — обратные веса в локальной сети;  $q_1 = q_2 = q_0/n$ ;  $q_0$  — вес превышения, определяемого на станции при двух горизонтах нивелира,  $n$  — число станций в ходе:

$$q_1 = q_2 = 0,444 \cdot 4 = 1,776;$$

$$q_{4-4'} = \frac{1,776 \cdot 1,776}{2 \cdot 1,776} = 0,888.$$

Воспользовавшись формулой из [25], находим среднюю квадратическую ошибку единицы веса  $\mu_2$  в локальной сети:

$$\mu_2 = \frac{m_{\Delta S}}{\sqrt{2q_{4-4'}}} = \frac{0,3}{\sqrt{2 \cdot 0,888}} = 0,22 \text{ мм.}$$

Таким образом, чтобы обеспечить нужную точность измерений в локальной сети, следует выполнять нивелирование по такой методике, чтобы средняя квадратическая ошибка превышения на станции при расстоянии до реек 20 м не превышала 0,22 мм. Поскольку в нашей локальной сети  $D = 10$  м, средняя квадратическая ошибка на каждой станции должна быть  $m_h = 0,22\sqrt{0,44} = 0,15$  мм.

Среднюю квадратическую ошибку единицы веса  $\mu_1$  в общей сети получаем из следующего неравенства:

$$m_s^2 \leq 2\mu_1^2 Q_{6-4} + 2\mu_2^2 q_{4-4'}$$

Принимая для нашего случая  $m_s \leq 2$  мм и подставив в это выражение значения ранее найденных величин:  $Q_{6-4}$ ,  $q_{4-4'}$  и  $\mu_2$ , получим  $\mu_1 = 0,38$ .

Найдем значения  $\mu_1$  и  $\mu_2$ , которые нужно обеспечить для наблюдений за градирией VII. Для градириен, в данном конкретном случае нам задано

$$m_{\Delta S} \leq 0,5 \text{ мм, } n = 6.$$

Выполняя расчеты, аналогичные предыдущим, получаем

$$q_{3-3'} = \frac{2,664 \cdot 2,664}{2,2663} = 1,332;$$

$$\mu_2 = \frac{m_{\Delta S}}{\sqrt{2q_{3-3'}}} = \frac{0,5}{\sqrt{2 \cdot 1,332}} = 0,31;$$

$$m_S^2 \leq 2\mu_1^2 Q_{6-3} + 2\mu_2^2 q_{3-3'};$$

$$\mu_1 = 0,34 \text{ мм.}$$

Окончательно принимаем наименьшее значение  $\mu_1 = 0,34$  мм, а  $\mu_2 = 0,22$  мм для труб. Очевидно, что, так как  $\mu_2$  для градирен получено практически равным  $\mu_1$ , методика наблюдений в локальных сетях вокруг градирен будет аналогичной методике нивелирования в общей сети, предназначенной для определения абсолютных осадок. Детальное обоснование методов нивелирования дается в работах [23, 36]. Такое обоснование включает подробный анализ отдельных источников ошибок измерений. Здесь ограничимся приведением данных о точности некоторых методик геометрического нивелирования, позаимствованных из источников [20, 26, 36]. Ориентировочные значения  $\mu$  в табл. 23 приведены для расстояния до рейки 20 м.

Таблица 23

№ п/п	Методика нивелирования	$\mu$ , мм ( $D=20$ м)	$\mu'$ , мм ( $D=20$ м)
	Для нивелиров группы Н-0,5		
1	При одном горизонте с определением превышения по основной и дополнительной шкале	0,3	0,11
2	При двух горизонтах или при одном горизонте в прямом и обратном направлениях	0,2	0,08
3	При двух горизонтах в прямом и обратном направлениях	0,16	0,05
	Для нивелиров группы Н-3		
4	При одном горизонте с определением превышения по двум сторонам рек	1,3	0,6
5	При двух горизонтах или в прямом и обратном направлениях	0,9	0,4

Значения  $\mu$ , приведенные в табл. 23, даны для случая, когда при нивелировании пп. 1—3 используют рейки РН-0,5 и пп. 4—5—РН-3. В столбце 4 приведены значения  $\mu'$  для тех случаев, когда используют особые рейки, а также вводят поправки за их компарирование и применяют специальные меры по ослаблению основных источников ошибок [26]. В частности, как показывает практика некоторых производственных организаций, использование специ-

альных реек или металлических линеек с делениями 1, 2 или 5 мм при применении нивелиров группы Н-3 позволяет существенно повысить точность измерений за счет снижения ошибок отсчета.

Используя табл. 23, для рассмотренного примера можно дать следующие рекомендации:

1. Нивелирование общей сети следует выполнять нивелирами группы Н-0,5, сплоскопараллельными пластинками, рейками РН-0,5 при одном горизонте прибора и в одном направлении.

2. Нивелирование локальных сетей дымовых труб следует выполнять теми же приборами и рейками, но при двух горизонтах.

Отдельно рассмотрим вопрос о проектировании геодезических наблюдений при изучении изгибов элементов строительных конструкций на основании натуральных измерений. Следует иметь в виду, что проектной или строительной организацией перед геодезической службой могут быть поставлены две задачи: определение относительных прогибов  $f_i/L$  (см. § 25) и определение опасных мест с заданной в проекте точностью. В первом случае производят периодически измерения стрелок прогиба  $f_i$  с заданной в проекте точностью или, согласно ГОСТ 21778—81, с предельной ошибкой  $\delta_f \leq 0,1f_i$ .

Во втором случае нужно определить точность измерений значений  $f_i$  в зависимости от заданной проектом точности  $\delta_x$  определения опасных мест (мест возможного образования трещин).

Если нам известно уравнение упругой линии [27]

$$f = \varphi(x, z, t, q),$$

где  $x$  и  $z$  — текущие координаты;  $t$  — время;  $q$  — нагрузка на исследуемую конструкцию, то уравнение изгибающих моментов будет

$$M = EJf'', \quad (83)$$

где  $EJ$  — жесткость конструкции;  $f''$  — вторая производная упругой линии.

Таким образом, для решения поставленной задачи нужно определить значение координат точки, в которой функция (83) имеет максимум или принимает наибольшее значение в пределах длины исследуемой конструкции, а затем определить напряжение в этой точке. Для того чтобы определить необходимую точность геодезических измерений, следует установить зависимость между ошибкой координат этой точки и ошибками измерения величин  $f_i$ .

К числу наиболее распространенных конструкций, подлежащих исследованию, относятся балки и плиты. Далее можно ограничиться рассмотрением балок, учитывая возможность при практических расчетах обоснованного перехода от них к плитам, рамам и т. п. Если предположить, что уравнение упругой линии получают по результатам измерений  $f_i$  с помощью метода наименьших квадратов, значение координат  $X_{\max}$  можно найти из следующего выражения:

$$X_{\max} = -\frac{1}{4} \cdot \frac{k_1 \sum_{i=1}^n x_i^4 f_i + k_2 \sum_{i=1}^n x_i^3 f_i + \dots + k_4 \sum_{i=1}^n x_i f_i + k_5 \sum_{i=1}^n f_i}{k'_1 \sum_{i=1}^n x_i^4 f_i + k'_2 \sum_{i=1}^n x_i^3 f_i + \dots + k'_4 \sum_{i=1}^n x_i f_i + k'_5 \sum_{i=1}^n f_i} \quad (84)$$

Значения коэффициентов  $k$  и  $k'$ , входящих в формулу (84), зависят от количества измеряемых элементов  $f_i$  и приведены в табл. 24.

Таблица. 24

$k$	$n=11$	$n=6$	$k'$	$n=11$	$n=6$
1	+506	+336	1	+322	+139
2	-913	-615	2	-506	-336
3	+471	+323	3	+188	+253
4	-56	-73	4	+6	-72
5	-2	-37	5	-4	-15

От выражения (84) переходим к выражению стандарта  $\sigma_x$

$$\sigma_x = \frac{\sigma_f}{4B^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (\lambda_i B + \lambda'_i A)^2}, \quad (85)$$

где

$$\lambda_1 = x_1^4 k_1 + x_1^3 k_2 + x_1^2 k_3 + x_1 k_4 + k_5;$$

$$\lambda_2 = x_n^4 k_1 + x_n^3 k_2 + x_n^2 k_3 + x_n k_4 + k_5;$$

$$\lambda_n = x_n^4 k_1 + x_n^3 k_2 + x_n^2 k_3 + x_n k_4 + k_5;$$

$$\lambda'_1 = x_1^4 k'_1 + x_1^3 k'_2 + x_1^2 k'_3 + x_1 k'_4 + k'_5;$$

$$\lambda'_2 = x_n^4 k'_1 + x_n^3 k'_2 + x_n^2 k'_3 + x_n k'_4 + k'_5;$$

$$\lambda'_n = x_n^4 k'_1 + x_n^3 k'_2 + x_n^2 k'_3 + x_n k'_4 + k'_5;$$

$$A = \sum_{i=1}^n \lambda_i f_i;$$

$$B = \sum_{i=1}^n \lambda'_i f_i.$$

Выражение (85) можно представить в виде

$$\sigma_x = \sigma_f \sqrt{Q_n}, \quad (86)$$

где

$$Q_n = \frac{\sum_{i=1}^n (\lambda_i B + \lambda'_i A)^2}{16B^4} = \frac{\sum_{i=1}^n (\lambda_i B + \lambda'_i A)^2}{16 \left( \sum_{i=1}^n \lambda'_i f_i \right)^4}.$$

При использовании (86) следует для перехода к линейной мере полученные результаты умножить на расстояние между измераемыми точками

$$\sigma_x = \sigma_f \sqrt{Q_n} \cdot l. \quad (87)$$

Если предвычисленное значение прогиба  $W_{cp} = 1,5$  см, получим  $Q_n = 1000$   $1/\text{см}^2$ . Тогда при  $l = 100$  см и  $\sigma_x = 20$  см

$$\sigma_f = \frac{\sigma_x}{e \sqrt{Q_n}} = \frac{20}{100 \sqrt{100}} = 0,07 \text{ мм};$$

$$\sigma_h = \frac{\sigma_f}{\sqrt{2}} = 0,05 \text{ мм},$$

где  $\sigma_h$  — стандарт определяемого превышения.

Для изучения прогибов конструкции может потребоваться нивелирование очень высокой точности, особенно в тех случаях, когда значения критических прогибов малы. Так, при тех же требованиях, что и в предыдущем примере, но при среднем прогибе 0,5 см  $\sigma_h \leq 0,03$  мм. Подобную точность измерений, по существу, невозможно обеспечить методом высокоточного геометрического нивелирования. Поэтому для наблюдений за прогибами строительных конструкций может потребоваться применение других методов, в частности микронивелирования и гидростатического нивелирования.

Поскольку методика производства нивелирования при определении вертикальных перемещений достаточно подробно описана в [26, 36], остановимся здесь на некоторых ее особенностях применительно к сооружениям башенного типа.

Как было сказано в § 25, при эксплуатации некоторых сооружений вокруг них неизбежны значительные изменения температуры, которые могут оказывать существенное влияние на результаты геодезических измерений. С подобными явлениями приходится сталкиваться в первую очередь при наблюдении вблизи реакторов и градирен.

В этих условиях необходимо термостатировать нивелир, применяя специальные кожухи из поролона. Опыт ряда организаций показывает, что эти мероприятия позволяют в значительной мере снизить влияние температурных деформаций на работу прибора.

Необходимо принимать меры по устранению температурных деформаций нивелирных реек. В настоящее время разработано достаточно много компенсаторов, позволяющих автоматически исключить температурные деформации реек.

При участии авторов с 1976 г. испытывался материал карбопласт, являющийся углеродно-волоконистым пластиком и обладающий коэффициентом линейного температурного расширения  $0,15 \cdot 10^{-6}$  градус<sup>-1</sup>. Из этого материала изготовлены нивелирные рейки. Многочисленные испытания, выполненные в полевых условиях, позволяют утверждать, что при их применении в условиях со значительными изменениями температуры для практических целей не требуется введения температурных поправок.

Достаточно часто нивелирование приходится выполнять при двух горизонтах прибора. В этих случаях применяют прецизионную нивелирную подставку (ПНП) [26], позволяющую изменять высоту инструмента, не переставляя штатив. Большей производительности труда можно добиться, если применять рейку, снабженную двумя пятками. На станции выполняют нивелирование при одном положении реек, беря отсчеты в установленной последовательности, по основной и дополнительным шкалам, а затем поворачивают рейки в вертикальной плоскости на  $180^\circ$  и повторяют наблюдения. Рейки в этом случае должны быть снабжены двойной оцифровкой. Как показали испытания, такой способ позволяет получить результаты с такой же точностью, как при нивелировании при двух горизонтах, однако время, затрачиваемое для работы на станции, сокращается примерно на 10—15 %.

Следует иметь в виду, что установка двух пяток невозможна на инварные рейки РН-0,5, так как в них шкала может жестко крепиться только к одной пятке. Установку двух пяток можно выполнить на рейки с жесткой шкалой, в частности на рейки из карбопласта\*.

В процессе нивелирования чрезвычайно важно, чтобы в момент взятия отсчета ось шкалы рейки совпадала с отвесной линией, проходящей через высотную точку. Кроме того, необходимо, чтобы пятки реек были изготовлены применительно к конструкции нивелируемых знаков, т. е. обеспечивали возможность постановки реек на сферические поверхности и плоскости.

В тех случаях, когда часть нивелируемых знаков выполнена в виде сферы, а другая часть — в виде плоскости, удобно применять рейки, снабженные специальными подпятниками (рис. 62). Такой подпятник выполнен в виде пластины, вращающейся вокруг оси. В том случае, когда нивелируют плоские поверхности, рейку ставят на калиброванный шарик, а при постановке на сферические головки знаков пластину поворачивают.

При определении превышений между точками, расположенными на расстояниях 1—2 м, может быть применен метод микро nivelирования. Метод ограничен небольшими величинами измеряемых превышений. Известен микро nivelир МИИГАиК МН-3 с переменной базой от 900 до 1200 мм, ценой деления индикатора 0,01 мм

---

\* А. С. 726424 [СССР]. Способ изготовления реек. Авт. изобр. В. В. Буш, А. В. Захаров, Э. Ю. Лукина, В. Е. Новак, А. И. Мелешко. — Заявл. 3.04.78 (2596976) Оpubл. в Б. И. 1980, № 13.

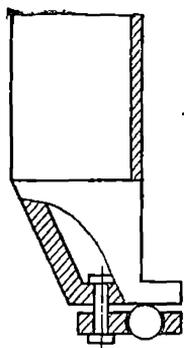


Рис 62. Устройство подпятника рейки

и уровнем 5—10". Посредством этого прибора можно определить величину превышения одним приемом со средней квадратической ошибкой 0,01—0,02 мм.

На точности определения превышения микро-нивелиром сказываются следующие основные источники ошибок:

- 1) ошибки из-за неровностей нивелируемых поверхностей;
- 2) ошибки приведения пузырька уровня в нуль-пункт,
- 3) ошибки отсчета,
- 4) ошибки из-за собственных колебаний прибора,
- 5) ошибки из-за температурных деформаций.

Для того чтобы уменьшить влияние первого из названных источников, необходимо нивелируемые поверхности обрабатывать по соответствующему классу чистоты (шероховатости) поверхностей.

В табл. 25 приведены ориентировочные данные о предельных ошибках  $\delta_{ш}$  в зависимости от класса обработки поверхности.

Таблица. 25

Класс чистоты поверхности	$\delta_{ш}$ , мкм	Класс чистоты поверхности	$\delta_{ш}$ , мкм
3	120	7	10
4	56	8	5
5	30	9	2,5
6	14	10	1,2

Для уменьшения влияния остальных источников ошибок разработан, изготовлен и испытан в производственных условиях микро-нивелир\* с базой 1400 мм и корпусом из карбопласта. Прибор снабжен индикатором часового типа с ценой деления 1 мкм и уровнем  $\tau=2''$ . При разработке прибора использовано другое положительное свойство углеродно-волоконистых пластиков — незначительный объемный вес 1,4 гс/см<sup>3</sup> при достаточно высоком модуле упругих деформаций. Поэтому корпус прибора, имеющий V-образное сечение, в очень малой степени подвержен собственным колебаниям, амплитуда которых, по сравнению с другими аналогичными конструкциями, в 10—20 раз меньше. Поскольку материал обладает низким коэффициентом линейного температурного расширения, ошибки из-за температурных деформаций незначительны.

Производственные испытания показали, что таким микро-ниве-

\* Предложение В. В. Буша и Л. А. Козлова.

лиром можно определить превышение одним приемом со средней квадратической ошибкой менее 3 мкм.

При производстве наблюдений за вертикальными перемещениями в локальных сетях может быть применен и метод гидростатического нивелирования. Для этого при производстве измерений целесообразно использовать переносные гидронивелиры. В настоящее время в нашей стране применяют отечественный прибор УГС модели 115, позволяющий измерить превышение между точками со средней квадратической ошибкой 0,01 мм, и прибор Мейссера, выпускаемый ГДР, обеспечивающий определение превышения со средней квадратической ошибкой 0,02 мм. Диапазон измеряемых превышений для первого прибора 25 мм, а для второго 100 мм.

При организации длительных наблюдений в период эксплуатации сооружения могут быть смонтированы стационарные гидростатические системы с фотоэлектрической или электроконтактной регистрацией. При измерениях с точностью 0,2—1 мм могут применяться гидродинамические системы [27, 30].

## § 28. Измерения кренов и изгибов башенных сооружений

Крен (наклон) башни является весьма важным показателем, характеризующим устойчивость сооружения. Заметим, что для абсолютно жестких сооружений можно было бы определить крен по данным нивелирования фундамента. Однако, как правило, на сооружение воздействует ряд факторов, приводящих к изгибам башни и ее наклонам независимо от стабильности нижней его части. К числу таких факторов относят односторонний температурный нагрев и ветровую нагрузку. Кроме того, понятие об абсолютно жестком сооружении является достаточно условным, по существу, таких сооружений не существует. В связи с этим полную информацию о кренах и изгибах башни можно получить на основании комплексных натурных измерений, сопоставив результаты нивелирования с результатами наблюдений за положением корпуса (оболочки) башни. Таким образом, необходимо сравнивать крен фундамента и самой башни. При наблюдениях за высокими сооружениями бывает, что нужно исследовать изгиб башни по высоте, т. е. получить уравнение геометрической оси (оси симметрии) на определенные моменты времени. Наблюдения могут вестись с пунктов геодезического обоснования или специально закрепленных вспомогательных точек, предназначенных только для определения крена. При подобных наблюдениях визирувание на башню осуществляют следующим образом: для сооружений, имеющих в сечении горизонтальными плоскостями форму круга, визируют на край башни по направлению касательных, как показано на рис. 63, и из двух отсчетов берут среднее. В некоторых случаях визирувание осуществляют на заранее установленные марки. Следует иметь в виду, что ошибка визирувания при наблюдениях на башни бывает больше, чем при других геодезических наблюдениях. Это обусловлено колебаниями объекта, на который производится визирувание.

По данным [30], при визировании на марку, расположенную на высоте 520 м Останкинской телебашни, ошибка визирования составила 3,8". При визировании на край башни ошибка визирования больше и во многом зависит от цвета башни, ее колебаний и условий освещенности. Анализ ряда литературных источников и собственные исследования авторов показывают, что ее целесообразно

принимать в 1,5—2 раза большей, чем ошибка визирования на специальные марки. Марки следует выполнять в виде черных шашек на белом фоне или концентрических окружностей.

Ширину шашки принимают равной  $\frac{2}{3}$  угловой ширины биссектора или  $\frac{1}{3}$  толщины нити. Диаметр внешней окружности второй марки также должен равняться  $\frac{2}{3}$  ширины биссектора, а диаметр внутреннего кружка —  $\frac{1}{3}$  толщины нити.

Следует иметь в виду, что на точность визирования по касательным существенно

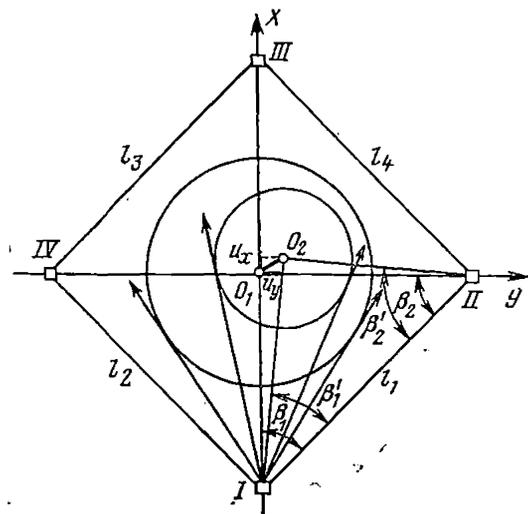


Рис. 63. Схема определения крена способом координат

оказывают влияние неравномерности башни и отклонения фактических радиусов конструкции. Для того чтобы уменьшить ошибки за счет этих факторов, можно использовать предложения В. Ф. Нестеренко об одновременном наблюдении нескольких близкорасположенных сечений [9].

Несмотря на то что визирование на марки точнее, их применяют довольно редко. Это объясняется трудностями их установки на сооружении.

Кроме того, значительные по высоте башни могут испытывать кручение вокруг вертикальной оси, что вызывает необходимость введения дополнительных поправок в наблюдения.

При наблюдениях на башни значительной высоты при разностях, больших 3", между положением отвесной линии в центре башни и в пункте, с которого ведут измерения, может возникнуть необходимость введения соответствующих поправок.

Особенностью наблюдений на башни является необходимость при больших углах наклона введения в направлении поправок за наклон оси вращения теодолита.

Наклон оси определяют с помощью накладного уровня или уровня при алидаде горизонтального круга.

Рассмотрим некоторые методы определения крена.

*Способ координат.* Наблюдения выполняют с трех-четырех пунктов геодезического обоснования. Определяют углы  $\beta_1, \beta_2, \dots$  на центр основания и  $\beta'_1, \beta'_2, \dots$  — на центр сооружения на верхнем горизонте (см. рис. 63).

При необходимости исследовать изгиб башни через определенные интервалы по высоте наблюдения осуществляют на нескольких горизонтах.

Обработка измерений заключается в вычислении координат фактической оси сооружения на наблюдаемых горизонтах, полученных методом прямой угловой засечки.

Применительно к рис. 63 имеем

$$U_x = X_{o_2} - X_{o_1}; \quad U_y = Y_{o_2} - Y_{o_1};$$

$$U = \sqrt{U_x^2 + U_y^2}; \quad \operatorname{tg} \alpha_U = \frac{U_y}{U_x},$$

где  $U_x, U_y, U$  — соответственно значения частных кренов по осям  $X, Y$  и значение общего крена в линейной мере,  $\alpha_U$  — дирекционный угол, характеризующий направление крена.

В некоторых случаях не удается выполнить наблюдения на нижнее и верхнее сечение башни, а удастся только определить крен в двух сечениях на отметках  $H_1$  и  $H_2$ . Тогда полный крен, в предположении, что изгиб корпуса незначителен, находят посредством умножения полученных значений  $U$  на  $H/(H_2 - H_1)$ .

До начала измерений необходимо предвычислить необходимую точность определения дирекционных углов  $\alpha_i$  в зависимости от заданной точности определения  $U$ . Для этого находят значения весов  $X$  и  $Y$  по формулам

$$P_x = \left\{ \frac{\sum_{i=1}^n \frac{\sin^2 \alpha_i}{S_i^2} \cdot \frac{\left[ \sum_{i=1}^n \frac{\sin \alpha_i \cos \alpha_i}{S_i^2} \right]^2}{\sum_{i=1}^n \frac{\cos^2 \alpha_i}{S_i^2}} \right\} \rho^2, \quad (88)$$

$$P_y = \left\{ \frac{\sum_{i=1}^n \frac{\cos^2 \alpha_i}{S_i^2} \cdot \frac{\left[ \sum_{i=1}^n \frac{\sin \alpha_i \cos \alpha_i}{S_i^2} \right]^2}{\sum_{i=1}^n \frac{\sin^2 \alpha_i}{S_i^2}} \right\} \rho^2, \quad (89)$$

где  $S_i$  — расстояния от пунктов основы до центра сооружения.

Значения средних квадратических ошибок находят из выражений

$$m_\alpha \leq |m_x \sqrt{P_x}|;$$

$$m_{\alpha} \ll |m_y \sqrt{P_y}|,$$

где  $m_x$  и  $m_y$  — средние квадратические ошибки координат центра башни.

По возможности следует располагать пункты на равных расстояниях от центра башни так, чтобы их положение совпадало с направлением осей сооружения. В этом случае выражения (88) и (89) принимают вид:

$$P_x = \frac{\rho^2}{S^2} \left\{ \sum_{i=1}^n \sin^2 \alpha_i - \frac{\left[ \sum_{i=1}^n \sin \alpha_i \cos^2 \alpha_i \right]^2}{\sum_{i=1}^n \cos^2 \alpha_i} \right\};$$

$$P_y = \frac{\rho^2}{S^2} \left\{ \sum_{i=1}^n \cos^2 \alpha_i - \frac{\left[ \sum_{i=1}^n \sin \alpha_i \cos \alpha_i \right]^2}{\sum_{i=1}^n \sin^2 \alpha_i} \right\}.$$

Уравненные значения координат удобно получать параметрическим способом.

После окончания вычислений выполняют оценку точности полученных значений координат. Для этого находят уравненные значения углов  $\alpha_{0i}$  и значения поправок

$$V_i = \alpha_{0i} - \alpha'_{0i}.$$

Находят среднюю квадратическую ошибку угла

$$m_{\beta} = \sqrt{\frac{[V_i^2]}{n-k}},$$

где  $n$  — число направлений;  $k$  — число избыточных измерений.

Средние квадратические ошибки координат точек получают по формулам

$$m_x = \frac{m_{\beta}}{\sqrt{P_x}}; \quad m_y = \frac{m_{\beta}}{\sqrt{P_y}}.$$

Способ координат можно использовать для точных систематических определений крена башен значительной высоты.

Этот способ может быть применен и для наблюдений групповых сооружений.

*Способ направлений.* В нулевом (начальном) цикле измеряют на опорных пунктах I, II, III, IV углы между ориентирными направлениями и центрами башни на нижнем и исследуемом горизонтах (рис. 64). Одновременно измеряют зенитные расстояния на исследуемые горизонты. В последующих циклах наблюдают только ориентирные пункты и верхний центр.

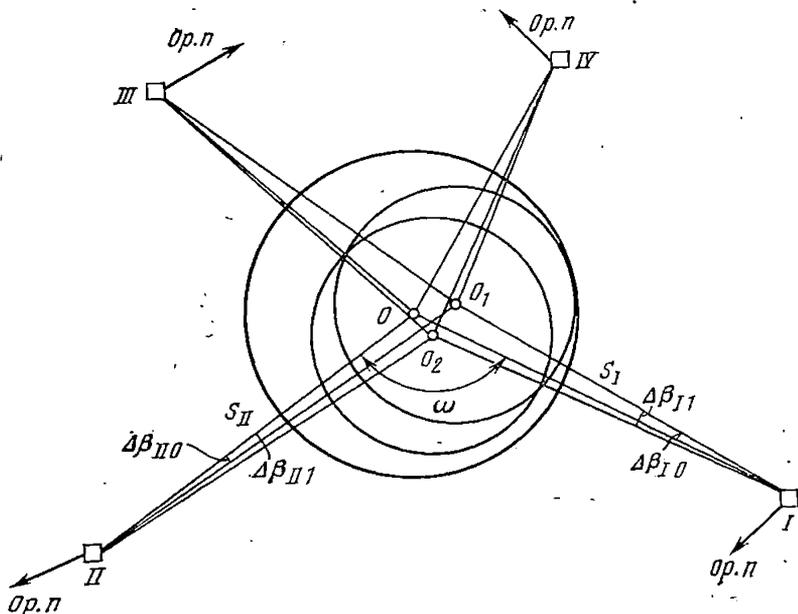


Рис. 64. Определение крена способом направлений

Значения частных кренов в нулевом цикле находят из выражений

$$U_{I0} = \frac{\Delta\beta_{I0} S_I}{\rho}; \quad (90)$$

$$U_{II0} = \frac{\Delta\beta_{II0} S_{II}}{\rho}, \quad (91)$$

где  $S_I$ ,  $S_{II}$  — расстояния от пунктов до центра башни.

Полный крен вычисляют по формуле

$$U = \frac{1}{\sin \omega} \sqrt{U_{I0}^2 + U_{II0}^2 - 2U_{I0}U_{II0} \cos \omega},$$

где  $\omega$  — угол засечки.

По аналогичным формулам находят значения кренов по наблюдениям с других пар точек и за окончательное значение берут среднее.

При наблюдениях за кренами может возникнуть задача получения составляющих крена в определенной системе координат.

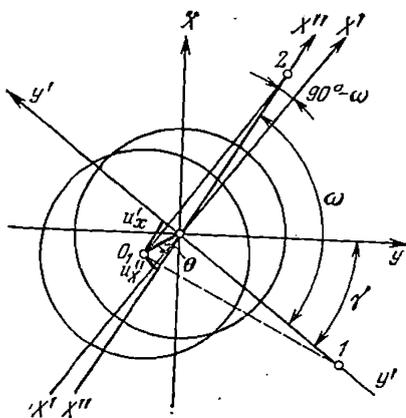


Рис. 65. Определение составляющих крена в различных системах координат

направлению с точки 2.

Проведем вспомогательную систему координат  $X', Y'$ , одна из осей которой совпадает с направлением  $1-0$ . Тогда будем иметь

$$\frac{U'_y - \frac{U''_y}{\sin \omega}}{U'_x} = \operatorname{tg}(90^\circ - \omega);$$

$$U'_y = \frac{U'_x}{\operatorname{tg} \omega} + \frac{U''_y}{\sin \omega};$$

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{U'_y}{U'_x}; \quad U_{(x'y')} = \frac{U'_x}{\cos \theta} = \frac{U'_y}{\sin \theta},$$

где  $\theta$  — угол между направлением полного крена и осью  $X'$ ;  $U_{x' y'}$  — полный крен в системе координат  $X', Y'$ .

Дальнейшее вычисление кренов в системе координат  $XU$  осуществляется по известным формулам

$$U_y = U'_x \sin \gamma + U'_y \cos \gamma;$$

$$U_x = U'_x \cos \gamma - U'_y \sin \gamma. \quad (92)$$

Очевидно, что на точность определения крена будет влиять величина угла  $\omega$ .

Дифференцируя полученное выражение полного крена в системе  $X', Y'$  и переходя к средним квадратическим ошибкам, получим

$$m_U = \frac{U'_x - U'_y \cos \omega}{\sin^2 \omega} \frac{m_\omega}{\rho}. \quad (93)$$

Из (93) видно, что наилучшие результаты будут получены при  $\omega = 90^\circ$ .

Положение осей координат системы  $X', Y'$  должно быть по возможности ближе к осям  $X, Y$ .

Среднюю квадратическую ошибку определения крена с двух опорных точек можно вычислить по формуле [42]

$$m_U = \frac{m_B}{\rho \sin \omega} \sqrt{2(S_1^2 + S_2^2)}, \quad (94)$$

если  $S_1 = S_2 = S$ , получим

$$m_U = \frac{2m_B}{\rho \sin \omega}. \quad (95)$$

В случае большего числа пунктов среднюю квадратическую ошибку определяют по формуле

$$M_U = \frac{\mu}{\sqrt{P_U}},$$

где  $\mu$  — ошибка единицы веса, принимаемая равной средней квадратической ошибке определения крена с двух пунктов.

Анализ точности этого метода [42] свидетельствует о целесообразности выполнения измерений с трех пунктов. Производство измерений при большем количестве пунктов не приводит к существенному повышению точности.

Анализ производственных материалов свидетельствует о том, что способ направлений обладает достаточной точностью и может использоваться при наблюдениях за креном высоких башен. Его удобно применять при изучении изгибов сооружений башенного типа. В связи с этим этот способ рекомендуется как основной для предприятий Минмонтажспецстроя СССР (см. Федисhev В. В. Рекомендации по геодезическому контролю за вертикальностью и осадкой высотных железобетонных сооружений. М., 1967).

В этом же документе рекомендуется в стесненных условиях, при отсутствии возможности наблюдений на ориентирные пункты, прокладывать между опорными точками угломерный ход и в последующем при измерении крена ориентировать теодолит по сторонам этого хода.

Для упрощения вычислительных работ В. В. Федисhevым предложена номограмма для получения значений частных кренов. По этой номограмме по измеренным значениям  $\Delta\beta_i$  и  $S_i$  можно получить величины  $U_x$  и  $U_y$ .

В некоторых случаях определяют крен только в начальном цикле измерений, а в последующих определяют его изменения —  $\Delta U$ . Тогда наблюдают только на исследуемое сечение и вычисления ведут по формулам, аналогичным (90), (91), подставляя в них вместо углов  $\Delta\beta_i$  углы  $\delta\beta_i$  и равные разности направлений на центр башни в предыдущем и последующем циклах.

*Способ малых углов.* На трех-четыре опорных пунктах измеряют малые углы между направлениями на нижний центр и верхний или промежуточные центры башни. Крен вычисляют по формулам (90), (91), оценку точности выполняют по формулам (94), (95). Для вычисления полного крена угол засечки получают графически или посредством измерения магнитного азимута. Для данного способа не требуется создания специальной, единой сети.

Расстояние от пунктов до центра башни измеряют или в отдельных случаях получают графически по исполнительному генеральному плану.

Дифференцируя формулу (90) и переходя к средним квадратическим ошибкам, получим

$$m_U^2 = \left(\frac{S}{\rho}\right)^2 m_{\Delta\beta}^2 + \left(\frac{\Delta\beta}{\rho}\right)^2 m_S^2.$$

Если использовать принцип равного влияния, будем иметь

$$\frac{m_U}{\sqrt{2}} = \frac{S}{\rho} m_{\Delta\beta} = \frac{\Delta\beta}{\rho} m_S;$$

$$m_S = \frac{m_U \rho}{\Delta\beta \sqrt{2}}; \quad m_{\Delta\beta} = \frac{m_U \rho}{S \sqrt{2}}.$$

Предположим, что для башни Н-200 м при  $S=250$ ,  $\Delta\beta=8'$  необходимо определить частные крены со средней квадратической ошибкой 2 см. Тогда расстояние и углы нужно измерять с ошибками, равными:

$$m_S = \frac{2 \cdot 2 \cdot 10^5}{8 \cdot 60 \cdot 1,4} = 6 \text{ м};$$

$$m_{\Delta\beta} = \frac{2 \cdot 2 \cdot 10^5}{250 \cdot 10^2 \cdot 1,4} = 12''.$$

Поскольку  $\Delta\beta_i$  получаем как разность двух углов, среднюю квадратическую ошибку измерения угла следует принять равной

$$m_{\beta} = \frac{m_{\Delta\beta}}{\sqrt{2}} = \frac{12}{1,4} = 8''.$$

Приведенные расчеты показывают, что для получения крена с нужной точностью (при достаточно высокой точности угловых измерений) не требуется высокая точность определения расстояний.

*Способ вертикального проектирования.* На двух перпендикулярных осях сооружения закрепляют точки 1 и 2, в которых устанавливают теодолиты. Перпендикулярно к линиям 1—0 и 2—0 устанавливают горизонтальные рейки. Визируя последовательно на исследуемом горизонте и нижнем горизонте на два края башни и установив средние отсчеты, поочередно проецируют направление оси сооружения на рейки и берут по последним отсчеты.

Величину частных кренов находят из выражений

$$U_x = (l_2 - l_1) \frac{S_1}{S_0}; \quad U_y = (l'_2 - l'_1) \frac{S_2}{S'_0},$$

где  $l_1, l_2, l'_1, l'_2$  — средние из отсчетов, взятых по рейкам при двух кругах;  $S_1, S_2$  — расстояния от точек до центра сооружения;  $S_0, S'_0$  — расстояния до реек от теодолита.

Проецирование на рейку выполняют при двух положениях круга теодолита.

В отдельных случаях линии 0—1 и 0—2 могут быть выбраны под произвольным углом. В этом случае, зная угол между этими направлениями, можно произвести перевычисление кренов в нужную систему координат.

Среднюю квадратическую ошибку определения любого из частных кренов можно вычислить по формуле

$$m_U^2 = \frac{(l_2 - l_1)^2}{S_0^2} m_S^2 + \frac{S^2 (l_2 - l_1)^2}{S_0^4} m_{S_0}^2 + \frac{S^2}{S_0^2} (m_{i_1}^2 + m_{i_2}^2). \quad (96)$$

Анализ выражения (96) показывает, что в основном на точность крена влияет последний член. Поэтому для практических расчетов можно принять

$$m_U = \frac{S}{S_0} \sqrt{m_{i_1}^2 + m_{i_2}^2}.$$

Можно предположить, что ошибка  $m_{i_1}$ , относящаяся к верхнему сечению, будет больше  $m_{i_2}$ ,

$$|m_{i_1}| > |m_{i_2}|,$$

тогда, воспользовавшись приближенными формулами извлечения корня из суммы квадратов двух чисел, которые гарантируют ошибку результата в пределах 4 %, будем иметь

$$m_U = \frac{S}{S_0} (0,9m_{i_1} + 0,4m_{i_2}).$$

При вычислении средних квадратических ошибок  $m_{i_1}, m_{i_2}$  необходимо учитывать следующие источники:

1. Ошибки измерения углов на образующие наблюдаемых сечений и установки оси визирования на средний отсчет;
2. Ошибки проецирования на рейку, вызванные наклоном оси вращения трубы;
3. Ошибки отсчета по рейке;
4. Ошибки за перемену фокусировки;
5. Ошибки делений шкалы рейки.

Практика применения этого способа показывает, что им можно обеспечить получение достаточно точных результатов. При этом весьма важным является выбор отношения  $S/S_0$ .

З. А. Таск рекомендует для удобства назначать  $S/S_0=10$ . В [12] рейку предлагают устанавливать около цокольного сечения и при этом  $S/S_0$  близко к единице.

В первом случае уменьшается ошибка отсчитывания по рейке, но окончательно все ошибки крена увеличиваются в 10 раз. Во втором случае увеличиваются ошибки отсчета. Однако при значительных величинах  $S_0$  и  $S/S_0$ , близких к единице, можно использовать на рейке специальные подвижные марки, которых по сигналу наблюдателя вводят в створ и по индексу, закрепленному на марках, берут отсчеты. Это обеспечит повышение точности отсчета и получение крена с необходимой точностью.

Вышеуказанные способы в настоящее время являются наиболее распространенными. Однако существует достаточно много других способов, применяющихся реже, но позволяющих выполнить измерения в стесненных условиях.

*Способ с измерением зенитных расстояний.* Способ, описанный А. М. Зеленским [15], заключается в том, что крен получают посредством измерения малых зенитных расстояний  $z_1$  и  $z_2$  (рис. 66, а) со станций А и В. При измерениях на объектив одевают насадку с преломляющей прямоугольной призмой.

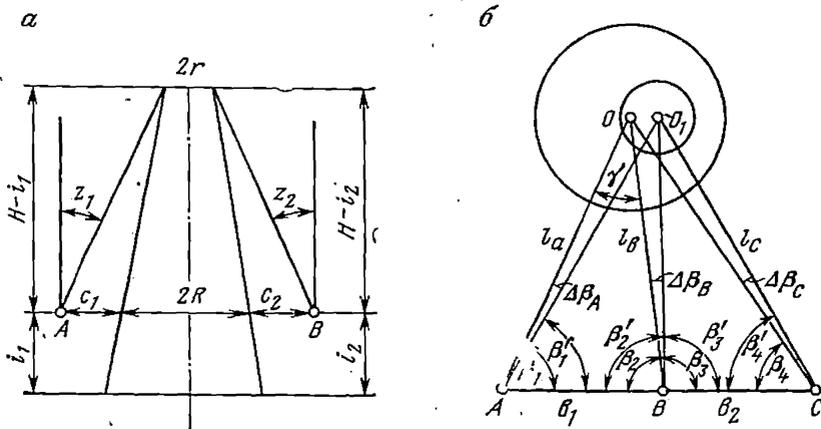


Рис. 66. Определение крена с помощью измерений зенитных расстояний и с помощью двух вспомогательных базисов

В этом случае частные крены в плоскости стояния инструментов будут найдены по формулам

$$U'_x = (H - i_1) \operatorname{tg} z_1 + r + R - (c_1 - d \cos z_1);$$

$$U''_y = -(H - i_2) \operatorname{tg} z_2 - r + R + (c_2 - d \cos z_2),$$

где  $r$  — радиус наблюдаемого сечения башни;  $R$  — радиус сооружения на высоте инструмента;  $d$  — расстояние от грани преломляющей призмы до оси вращения трубы теодолита;  $i_1, i_2$  — высоты инструментов.

За окончательное значение частного крена принимают среднее

$$U_x = \frac{1}{2}(U'_x + U''_x).$$

Для получения частного крена  $U_y$  аналогичные измерения выполняют в перпендикулярном направлении.

При определении этим способом крена трубы высотой 60 м ошибки не превысили 10 мм.

*Определение крена при помощи теодолита, снабженного пентапризмой.* Способ предложен А. М. Бельским. На объективе теодолита укрепляют насадку с откидывающейся пентапризмой. Частные крены определяют посредством проецирования верхнего центра на нижнее основание сооружения. Направление на верхний центр получают как среднее из двух направлений на образующие. При этом визирование осуществляется с помощью пентапризмы. Полученное направление переносится на основание башни при откинутой пентапризме. Все измерения выполняют с двух взаимно перпендикулярных осей.

Частные крены вычисляют по формулам

$$U_x = U'_x \left(1 + \frac{R}{S_1}\right); \quad U_y = U'_y \left(1 + \frac{R}{S_2}\right),$$

где  $U'_x$ ,  $U'_y$  — расстояния между проекциями центров верха и низа башни;  $R$  — радиус основания башни;  $S_1$  и  $S_2$  — расстояния от инструмента до основания башни.

По точности данный способ может быть равноценным способу вертикального проектирования.

*Способ определения крена с одной точки* [29]. Наблюдения ведут на марки, закрепленные на башне с одного опорного пункта, расположенного на возможно близком расстоянии от сооружения. На каждую марку измеряют вертикальные и горизонтальные углы.

Текущие координаты марки находят из выражений

$$x_i = S - \frac{H_i}{\operatorname{tg} \gamma_i} \cos \alpha_i; \quad Y_i = \frac{H_i}{\operatorname{tg} \gamma_i} \sin \alpha_i,$$

где  $S$  — расстояние от инструмента до центра башни;  $H_i$  — разность отметок марки и оси вращения зрительной трубы;  $\gamma_i$  — угол наклона на марку;  $\alpha_i$  — горизонтальный угол между исходной маркой на нижнем горизонте и наблюдаемой маркой.

Величины смещений марок находят из выражений

$$\Delta X_i = X_i - X_0 = -\frac{H_i}{\operatorname{tg} \gamma_i} \cos \alpha_i + \frac{H_0}{\operatorname{tg} \gamma_0} \cos \alpha_0;$$

$$\Delta Y_i = Y_i - Y_0 = \frac{H_i}{\operatorname{tg} \gamma_i} \sin \alpha_i - \frac{H_0}{\operatorname{tg} \gamma_0} \sin \alpha_0,$$

где индексом «0» отмечены величины, полученные в начальном цикле.

Средние квадратические погрешности приращений вычисляют по формулам

$$m_{\Delta X} = \frac{H\sqrt{2}}{\rho \sin^2 \gamma_i} m_{\gamma}; \quad m_{\Delta Y} = \frac{H\sqrt{2}}{\rho \operatorname{tg} \gamma_i} m_{\alpha}.$$

Применяя этот метод, при наблюдениях за кренами Останкинской телебашни, получили при  $H=520$  м и

$$m_{\alpha} = 4,2'', \quad m_{\gamma} = 5,6'', \quad m_{\Delta X} = 25 \text{ мм и } m_{\Delta Y} = 8 \text{ мм.}$$

К недостаткам этого способа следует отнести отсутствие контроля при измерениях с одной точки и невозможность учета кручения башни.

*Метод определения крена с двух базисов.* Метод предложен В. И. Полищуком и применялся при определении крена трубы Куратовской ГРЭС. Перед началом наблюдений на местности закрепляют на одной прямой точки  $A, B, C$  (рис. 66, б) таким образом, чтобы треугольники  $AOB$  и  $BOC$  были близки к прямоугольным. Значения углов при точке  $A$  и  $C$  должны находиться в пределах  $20-60^\circ$ . Предварительно измеряют базисы  $AB$  и  $BC$  и углы  $\beta_1, \beta_2, \beta_3$  и  $\beta_4$ . По этим данным находят расстояния  $l_a, l_b, l_c$ . В дальнейшем в каждом цикле измеряют углы  $\beta_1', \beta_2', \beta_3', \beta_4'$ .

Частные крены вычисляют по следующим формулам:

$$U_{AX} = l'_a \cos \Delta\beta_a - l_a; \quad U_{AY} = l'_a \sin \Delta\beta_a;$$

$$U_{BX} = l'_b \cos \Delta\beta_b - l_b; \quad U_{BY} = l'_b \sin \Delta\beta_b;$$

$$U_{CX} = l'_c \cos \Delta\beta_c - l_c; \quad U_{CY} = l'_c \sin \Delta\beta_c.$$

По полученным значениям частных кренов находят три общих значения крена  $U_A, U_B, U_C$ . За окончательное значение крена принимают среднее арифметическое.

Предрасчет точности определения крена этим методом можно выполнить по следующим формулам:

$$\frac{m_l}{l} = \sqrt{\left(\frac{m_b}{b}\right)^2 + \frac{m_{\beta}^2}{\rho^2} [\operatorname{ctg}^2 \beta_1 + 2\operatorname{ctg} \beta_1 \operatorname{ctg} \gamma + 2\operatorname{ctg}^2 \gamma]};$$

$$m_{U_X} = \sqrt{m_l^2 \cos^2 \Delta\beta + l^2 \sin^2 \Delta\beta \frac{m_{\Delta\beta}^2}{\rho^2} + m_l^2};$$

$$m_{U_Y} = \sqrt{m_l^2 \sin^2 \Delta\beta + l^2 \cos^2 \Delta\beta \frac{m_{\Delta\beta}^2}{\rho^2}};$$

$$m_U = \sqrt{m_{U_X}^2 + m_{U_Y}^2}.$$

Опыт применения описываемого метода при наблюдениях за трубами  $H=250$  м показывает, что им может быть обеспечено получение крена с ошибками около 1 см.



$$L = \frac{r}{\sin \frac{\beta_1 - \beta_2}{2}}.$$

Дирекционный угол линии  $l=0$  равен

$$\alpha_{10} = \alpha_{12} + \beta.$$

Среднюю квадратическую ошибку радиуса, вычисленного по формуле (97), находим из выражения

$$m_r = 0,16m_l,$$

а по формуле (98)

$$m_r = \frac{\sin \frac{\beta_1 - \beta_2}{2}}{1 - \sin \frac{\beta_1 - \beta_2}{2}} m_S.$$

Аналогичная задача решается В. Н. Соустиным посредством измерения в створе  $0-1$  (рис. 67, б) базиса  $b$  и углов  $\beta$ ,  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$ .

В этом случае искомые величины находят из следующих выражений:

$$r = \frac{b \sin \frac{\alpha_2}{2} \sin \frac{\alpha_1}{2}}{\sin \frac{\alpha_2}{2} - \sin \frac{\alpha_1}{2}};$$

$$L = S + r = \frac{b \sin \frac{\alpha_2}{2}}{\sin \frac{\alpha_2}{2} - \sin \frac{\alpha_1}{2}}.$$

Оценку точности можно выполнить по формуле

$$m_L = \frac{1}{\sin \frac{\alpha_2}{2} - \sin \frac{\alpha_1}{2}} \times$$

$$\times \sqrt{m_b^2 \sin^2 \frac{\alpha_2}{2} - \frac{b^2 \left( \sin^2 \frac{\alpha_1}{2} \cos^2 \frac{\alpha_2}{2} + \sin^2 \frac{\alpha_2}{2} \cos^2 \frac{\alpha_1}{2} \right)}{4 \left( \sin \frac{\alpha_2}{2} - \sin \frac{\alpha_1}{2} \right)^2 \rho^2} m_\alpha^2.$$

На основе этого метода могут осуществляться наблюдения за кренами сооружений башенного типа. В этом случае в каждом цикле измерений осуществляют для верхнего горизонта построения, аналогичные показанному на рис. 67, б, получают координаты верхнего центра и вычисляют крены.

Средние квадратические ошибки продольной составляющей крена  $m_{U_X}$  и поперечной  $m_{U_Y}$  будут соответственно равны

$$m_{U_X} = m_L \sqrt{2}; \quad m_{U_Y} = L \frac{m_\alpha}{\rho}.$$

Как указывалось выше, в тех случаях, когда сооружение башенного типа можно считать абсолютно жестким, возможно определение крена по результатам нивелирования. Для этого в каж-

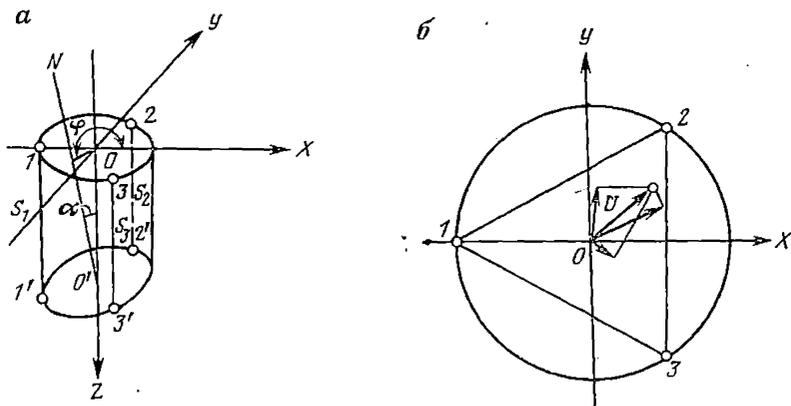


Рис. 68. Определение крена по результатам нивелирования

дом цикле наблюдений производят нивелирование трех или более осадочных марок, заложенных на одном горизонте в цокольном сечении.

По результатам нивелирования осадочных марок находят осадки каждой точки  $S_i$ .

Если в начальном цикле измерений осадочные марки условно были расположены в плоскости  $XOY$  (рис. 68, а), а в последующем цикле они переместились в положение  $1', 2', 3'$ , то для определения крена необходимо найти угол  $\alpha$  между нормалью  $O'N$  и осью координат  $OZ$ , а также угол  $\varphi$ , характеризующий направление полного крена.

Решение этой задачи может быть выполнено в следующей последовательности:

- находят значения координат  $X_i$  и  $Y_i$  осадочных марок и их осадки  $S_{ij}$ ;
- находят уравнение плоскости, проходящей через точки  $1', 2', 3'$ :

$$S = a + bx + cy; \quad (99)$$

в) вычисляют углы  $\alpha$  и  $\varphi$ :

$$\sin \alpha = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{c}{b}\right)^2 + \left(\frac{1}{b}\right)^2 + 1}}; \quad \operatorname{tg} \varphi = \frac{c}{b}.$$

В том случае, если количество осадочных марок более трех, значения коэффициентов, входящих в уравнение плоскости, находят по методу наименьших квадратов.

Если осадочные марки расположены на равных расстояниях друг от друга, коэффициенты, входящие в уравнение (99), будут равны

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n S_i}{n}; \quad b = \frac{\sum_{i=1}^n x_i S_i}{\sum_{i=1}^n x_i^2}; \quad c = \frac{\sum_{i=1}^n y_i S_i}{\sum_{i=1}^n y_i^2}.$$

Часто не удается расположить марки на равных расстояниях, тогда значения коэффициентов находят из решения системы трех уравнений

$$\begin{aligned} na + b \sum_{i=1}^n x_i + c \sum_{i=1}^n y_i - \sum_{i=1}^n S_i &= 0; \\ a \sum_{i=1}^n x_i + b \sum_{i=1}^n x_i^2 + c \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i S_i &= 0; \\ a \sum_{i=1}^n y_i + b \sum_{i=1}^n x_i y_i + c \sum_{i=1}^n y_i^2 - \sum_{i=1}^n y_i S_i &= 0. \end{aligned} \quad (100)$$

Ниже дан пример вычисления крена по результатам нивелирования шести марок, расположенных неравномерно в цокольном сечении дымовой трубы. Значения исходных данных (в мм) и вычисление коэффициентов системы (100) приведены в табл. 26.

Таблица 26

Номер марок	x	y	s	x <sup>2</sup>
1	-10 <sup>4</sup>	0	-2,3	+10 <sup>8</sup>
2	0	+10 <sup>4</sup>	-2,6	0
3	+10 <sup>4</sup>	0	-3,8	+10 <sup>8</sup>
4	0,7·10 <sup>4</sup>	-0,7·10 <sup>4</sup>	-4,2	0,5·10 <sup>8</sup>
5	0	-10 <sup>4</sup>	-3,5	0
6	-0,5·10 <sup>4</sup>	-0,866·10 <sup>4</sup>	-3,0	0,25·10 <sup>8</sup>
6	0,2·10 <sup>4</sup>	-1,56·10 <sup>4</sup>	-19,4	2,75·10 <sup>8</sup>

Номер марок	$y^2$	$xy$	$xs$	$ys$
1	0	0	$+2,3 \cdot 10^4$	0
2	$+10^8$	0	0	$+2,6 \cdot 10^4$
3	0	0	$-3,8 \cdot 10^4$	0
4	$0,5 \cdot 10^8$	$-0,5 \cdot 10^8$	$-2,9 \cdot 10^4$	$+2,9 \cdot 10^4$
5	$10^8$	0	0	$+3,5 \cdot 10^4$
6	$0,75 \cdot 10^8$	$+0,43 \cdot 10^8$	$+1,5 \cdot 10^4$	$+2,6 \cdot 10^4$
6	$3,25 \cdot 10^8$	$-0,07 \cdot 10^8$	$-2,9 \cdot 10^4$	$11,6 \cdot 10^4$

Система уравнений будет

$$6a + 0,2 \cdot 10^4 b - 1,56 \cdot 10^4 c + 19,4 = 0;$$

$$0,2 \cdot 10^4 a + 2,75 \cdot 10^8 b - 0,07 \cdot 10^8 c + 2,9 \cdot 10^4 = 0;$$

$$-1,56 \cdot 10^4 a - 0,07 \cdot 10^8 b + 3,25 \cdot 10^8 c - 11,6 \cdot 10^4 = 0.$$

Решая эту систему находим уравнение плоскости

$$S = -2,98 - 0,42 \cdot 10^{-4} x + 0,91 \cdot 10^{-4} y;$$

$$\sin \alpha = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{0,91}{0,42}\right)^2 + \left(\frac{1}{0,42 \cdot 10^{-4}}\right)^2 + 1}} = 0,42 \cdot 10^{-4}, \quad \alpha = 9'';$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{+0,91}{-0,42} = -2,16667, \quad \varphi = 114^\circ 46'.$$

Если наблюдения ведут по трем точкам, величина и направление полного крена могут быть найдены и графически. Для этого составляют чертеж в масштабе 1:100, на котором показывают положение трех марок (рис. 68, б). Вычисляют частные крены по направлениям 1—2, 2—3, 3—4 по формулам

$$U_{1-2} = \frac{S_1 - S_2}{d_{12}}; \quad U_{2-3} = \frac{S_2 - S_3}{d_{23}}; \quad U_{3-4} = \frac{S_3 - S_1}{d_{31}},$$

где  $d_{12}$ ,  $d_{23}$ ,  $d_{31}$  — расстояния между марками. Значения частных кренов в избранном масштабе откладывают от точки О параллельно соответствующим линиям и из их концов восстанавливают перпендикуляры. Соединив центр с точкой пересечения перпендикуляров, получают вектор полного крена.

Для наблюдений кренов может быть применен стереофотограмметрический метод. Преимуществом этого метода является то, что смещения большого количества точек могут быть определены одновременно относительно трех координатных осей. Для фотографирования могут быть применены фототеодолиты Photoe<sup>19/1318</sup>,  
<sup>20/1318</sup>, <sup>30/1318</sup>.

Сооружение фотографируют с двух точек базиса. Измерение горизонтального параллакса  $P$ , фотограмметрических координат точек  $x_{\phi}$  и  $z_{\phi}$  выполняют на стереокомпараторе. Координаты точек сооружения находят по формулам

$$Y = \frac{B}{P} f; \quad X = \frac{B}{P} x_{\phi}; \quad H = \frac{B}{P} z_{\phi},$$

где  $B$  — длина базиса;  $f$  — фокусное расстояние камеры.

По полученным значениям  $Y$  и  $X$  в двух циклах измерений находят значения частных и общего крена.

Средние квадратические ошибки частных кренов могут быть вычислены по формулам

$$m_{U_Y}^2 = 2 \left( \frac{Bf}{P^2} \right)^2 m_P^2;$$

$$m_{U_X}^2 = 2 \left( \frac{B}{P} \right)^2 m_{x_{\phi}}^2 + 2 \left( \frac{Bx_{\phi}}{P^2} \right)^2 m_P^2.$$

Для получения надежных результатов необходимо в процессе наблюдений обеспечить постоянство элементов ориентирования снимков. Для этого целесообразно постоянно закреплять базис железобетонными монолитами. Целесообразно, чтобы в поле зрения находился постоянный ориентирный пункт, так как это позволит контролировать постоянство элементов ориентирования снимков.

Задача может решаться и фотограмметрическим путем, посредством фотографирования башни с двух точек, расположенных на осях сооружения. Тогда частные крены измеряют отдельно по каждому снимку.

Применение некоторых автоматических систем позволяет обеспечить непрерывные наблюдения за колебаниями сооружений вследствие пульсаций ветровой нагрузки и различных технологических факторов.

К числу автоматических средств могут быть отнесены фотоэлектрические и дистанционные кренометры и электронные наклонометры. Датчикам этих приборов служат прецизионные уровни с ценой деления  $\tau = 1 \div 5''$  или маятники. Прибор крепится к платформе, снабженной подъемными винтами.

Для определения направления крена его ориентируют по меридиану или ось одного из датчиков совмещают с осью сооружения. Прибор устанавливают на специальную площадку, жестко скрепленную с оболочкой башни. Необходимо принимать меры к защите приборов от воздействия температурных полей.

Для решения задачи проведения наблюдений за положением сооружений может быть использована оптико-электронная система дистанционной регистрации колебаний [6, 25]. На башне укрепляется трипель-призменный отражатель, на который направляется линейно-поляризованный и коллимированный световой поток. После отражения поток попадает в приемную трубу и параллельным пучком падает на одноосный кристалл, где расщепляется на два

луча — обыкновенный и необыкновенный, которые, пройдя различные оптические пути, образуют на выходе из кристалла эллиптически поляризованный световой поток. Характер поляризации зависит от угла падения света на кристалл. Далее световой поток проходит через анализатор и поступает на светоприемник фотометрического блока. Если положение отражателя, фиксирующего наблюдаемую точку на башне, меняется, изменяется угол падения света на кристалл. Это позволяет определить величину крена.

Теоретические расчеты показывают, что чувствительность такой системы к изменению угла падения света находится в пределах 1".

## § 29. Обработка результатов наблюдений

По результатам наблюдений за осадками, кренами и изгибами сооружений башенного типа строят графики или аналитически находят уравнения кривых, характеризующих ход происходящих процессов. При аппроксимировании осадок во времени часто используют экспоненциальную функцию

$$S_t = S_k(1 - e^{-\alpha t}), \quad (101)$$

где  $S_t$  — осадка марки за время  $t$ ;  $S_k$  — конечная осадка;  $e$  — основание натуральных логарифмов;  $\alpha$  — коэффициент сжимаемости грунта.

Параметры уравнения (101)  $s_k$  и  $\alpha$  находят по способу наименьших квадратов параметрическим методом.

Уравнения поправок будут иметь вид

$$\delta_t = S_{t_i} - S'_{t_i},$$

где  $S'_{t_i}$  — результат определения осадки.

Для того чтобы формулу (101) привести к линейному виду, ее раскладывают в ряд Тейлора, предварительно введя приближенные значения параметров  $S_{k_0}$  и  $\alpha_0$ . Эти приближенные значения находят, используя формулы предрасчета осадки в § 27 или по результатам нескольких первых циклов наблюдений.

Ограничиваясь первыми членами разложения, и полагая

$$\Delta\alpha = \alpha - \alpha_0, \quad \Delta S_k = S_k - S_{k_0}, \quad (S_{t_i})_0 = S_{k_0}(1 - e^{-\alpha_0 t_i}),$$

получаем

$$S_{t_i} = (S_{t_i})_0 + \left(\frac{\partial S_{t_i}}{\partial \alpha}\right)_0 \Delta\alpha + \left(\frac{\partial S_{t_i}}{\partial S_k}\right)_0 \Delta S_k.$$

Далее вводим следующие обозначения:

$$a_i = \left(\frac{\partial S_{t_i}}{\partial \alpha}\right)_0 = S_{k_0} t_i e^{-\alpha_0 t_i};$$

$$b_i = \left( \frac{\partial S_{t_i}}{\partial S_k} \right)_0 = 1 - e^{-\alpha_0 t_i};$$

$$l_i = (S_{t_i})_0 - S'_{t_i}.$$

С учетом вышеуказанных обозначений получаем систему нормальных уравнений

$$\Delta\alpha \sum_{i=1}^n a_i^2 + \Delta S_k \sum_{i=1}^n a_i b_i + \sum_{i=1}^n a_i l_i = 0;$$

$$\Delta\alpha \sum_{i=1}^n a_i b_i + \Delta S_k \sum_{i=1}^n b_i^2 + \sum_{i=1}^n b_i l_i = 0,$$

где  $n$  — число уравнений поправок, откуда

$$\Delta\alpha = \frac{D_\alpha}{D}; \quad \Delta S_k = \frac{D_S}{D}.$$

Общий вид детерминанта:

$$D = \sum_{i=1}^n a_i^2 \sum_{i=1}^n b_i^2 - \left[ \sum_{i=1}^n a_i b_i \right]^2,$$

а детерминанты  $D_\alpha$  и  $D_S$  составляют:

$$D_\alpha = \sum_{i=1}^n a_i b_i \sum_{i=1}^n b_i l_i - \sum_{i=1}^n b_i^2 \sum_{i=1}^n a_i l_i;$$

$$D_S = \sum_{i=1}^n a_i b_i \sum_{i=1}^n a_i l_i - \sum_{i=1}^n a_i^2 \sum_{i=1}^n b_i l_i.$$

Для оценки точности полученных параметров находят их веса:

$$P_\alpha = \frac{D}{\sum_{i=1}^n b_i^2}; \quad P_S = \frac{D}{\sum_{i=1}^n a_i^2}.$$

Средняя квадратическая погрешность единицы веса равняется

$$\mu = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \delta_i^2}{n-2}}.$$

Средние квадратические погрешности параметров вычисляют по формулам

$$m_\alpha = \frac{\mu}{\sqrt{P_\alpha}}; \quad m_S = \frac{\mu}{\sqrt{P_S}}.$$

По найденным значениям  $\Delta\alpha$  и  $\Delta S_k$  находят параметры  $\alpha$  и  $S_k$ .



Оценку точности можно выполнить следующим образом.

1. Вычислить среднюю квадратическую погрешность единицы веса (среднюю квадратическую погрешность аппроксимации) по формуле

$$\mu = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^k V_i^2}{k - n'}}$$

где  $V$  — уклонение вычисленных значений  $S$  от измеренных;  $n'$  — число неизвестных в системе.

Следует иметь в виду, что число неизвестных не всегда будет равняться степени полинома, например когда кривая проходит через начало координат, будем иметь  $n' = n - 1$ .

2. Находят значения весовых коэффициентов  $Q_{ji}$  ( $j$  — порядковый номер неизвестного,  $i$  — номер весового коэффициента).

Для этого решают  $n'$  систем уравнений, аналогичных (103), в которые вместо найденных коэффициентов полинома (102) подставлены весовые коэффициенты, а вместо свободных членов — значения  $\delta_{ij}$  (символ Кронекера), которые принимают равными при  $j = i$  единице, а при  $i \neq j$  нулю.

3. Средние квадратические погрешности коэффициентов полинома находят по формуле

$$m_{a_i} = \mu \sqrt{Q_{ji}}$$

4. Величину обратного веса функции (102) определяют из выражения

$$\begin{aligned} Q_S = & f_1^2 Q_{11} + 2f_1 f_2 Q_{12} + 2f_1 f_3 Q_{13} + \dots + 2f_1 f_{n'} Q_{1n'} + f_2^2 Q_{22} + \\ & + 2f_2 f_3 Q_{23} + \dots + 2f_2 f_{n'} Q_{2n'} + f_3^2 Q_{33} + \dots + \\ & + 2f_3 f_{n'} Q_{3n'} + \dots + f_{n'}^2 Q_{n'n'}, \end{aligned}$$

где

$$f_i = \frac{\partial S}{\partial a_i}$$

5. Находят среднюю квадратическую погрешность функции

$$m_S = \mu \sqrt{Q_S}$$

Как указывалось выше, решение этой задачи может быть выполнено другими методами. При решении ее методом равных сумм используют первое уравнение системы (103), разбивая кривую на участки, количество которых равняется числу неизвестных коэффициентов полинома.

В том случае, когда участок от 0 до  $k$  разбивают на  $n$  интервалов, неизвестные получают из решения системы уравнений

$$\frac{k}{n} a_0 + a_1 \sum_{i=0}^{i=d} t_i + a_2 \sum_{i=0}^{i=d} t_i^2 + \dots + a_n \sum_{i=0}^{i=d} t_i^n - \sum_{i=0}^{i=d} S_i = 0;$$



Для полинома четвертой степени будем иметь:

$$\begin{aligned}
 a_0 &= 5S_1 - 10S_2 + 10S_3 - 5S_4 + S_5; \\
 a_1 &= -6,41666S_1 + 17,833333S_2 - 19,5S_3 + 10,166666S_4 - 2,083333S_5; \\
 a_2 &= 2,958333S_1 - 9,833333S_2 + 12,25S_3 - 6,833333S_4 + 1,458333S_5; \\
 a_3 &= -0,583333S_1 + 2,166666S_2 - 3,0S_3 + 1,833333S_4 - 0,416666S_5; \\
 a_4 &= 0,041666S_1 - 0,166666S_2 + 0,25S_3 - 0,166666S_4 + 0,041666S_5.
 \end{aligned}
 \tag{107}$$

Для полинома пятой степени получим формулы

$$\begin{aligned}
 a_0 &= 6S_1 - 15S_2 + 20S_3 - 16S_4 + 6S_5 - S_6; \\
 a_1 &= -6,199999S_1 + 29,249999S_2 - 42,333333S_3 + 32,999999S_4 - \\
 &\quad - 13,499999S_5 + 2,283333S_6; \\
 a_2 &= 4,833333S_1 - 19,208333S_2 + 31,0S_3 - 25,583333S_4 + \\
 &\quad + 10,833333S_5 - 1,875S_6; \\
 a_3 &= -1,291666S_1 + 5,708333S_2 - 10,083333S_3 + 8,916666S_4 - \\
 &\quad - 3,958833S_5 + 0,708333S_6; \\
 a_4 &= 0,166666S_1 - 0,791666S_2 + 1,50S_3 - 1,416666S_4 + \\
 &\quad + 0,666666S_5 - 0,125S_6; \\
 a_5 &= -0,008333S_1 + 0,041667S_2 - 0,083333S_3 + 0,083333S_4 - \\
 &\quad - 0,041667S_5 + 0,008333S_6.
 \end{aligned}
 \tag{108}$$

Следует иметь в виду, что по формулам (107) и (108) мы получаем коэффициенты уравнения, абсцисса каждой точки которого равняется ее порядковому номеру 1, 2, 3, ...

Ниже приведены примеры вычислений перечисленными методами.

Таблица 27

Номер наблюдений	Номер циклов	Дата наблюдений	мм
0	6	15.3	0,0
1	7	15.4	-2,7
2	8	15.5	-4,8
3	9	15.6	-6,4
4	10	15.7	-6,6
5	11	15.8	-7,0

Пример 1. В табл. 27 приведены данные наблюдений осадочной марки, установленной на фундаменте габрири. Наблюдения велись один раз в месяц через равные промежутки времени.

В этом примере шестой цикл принят за начальный и все последующие осадки марки вычислены относительно его. Поэтому кривая должна пройти через начало координат  $a_0=0$ .

Необходимо найти уравнение вида

$$S = a_1 t + a_2 t^2.$$

При составлении системы уравнений по методу наименьших квадратов все вычисления выполнены в табл. 28

Таблица 28

Номер наблюдений	$x$	$x^2$	$x^3$	$x^4$	$y$	$xy$	$x^2y$
0	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0
1	1	1	1	1	-2,7	-2,7	-2,7
2	2	4	8	16	-4,8	-9,6	-19,2
3	3	9	27	81	-6,4	-19,2	-57,6
4	4	16	64	256	-6,6	-26,4	-105,6
5	5	25	125	625	-7,0	-35,0	-175,0
15	15	55	225	979	-27,5	-92,9	-360,1

Система уравнений для вычисления коэффициентов будет иметь вид:

$$55a_1 + 225a_2 + 92,9 = 0;$$

$$225a_1 + 979a_2 + 360,1 = 0.$$

Решая ее, получим уравнение осадки марки

$$S = -2,879t + 0,2909t^2.$$

Применяя метод равных сумм и разбивая кривую на два одинаковых интервала, будем иметь систему уравнений:

$$a_1 \sum_0^2 t_i + a_2 \sum_0^2 t_i^2 = \sum_0^2 S_i;$$

$$a_1 \sum_3^5 t_i + a_2 \sum_3^5 t_i^2 = \sum_3^5 S_i,$$

или

$$3a_1 + 5a_2 + 7,5 = 0;$$

$$12a_1 + 50a_2 + 20,0 = 0.$$

В этом случае получим эмпирическое уравнение осадки

$$S_i = -3,05t + 0,33t^2.$$

Пример 2 Произведены наблюдения за прогибами балки, расположенной на упругом основании. Результаты измерений приведены ниже. Требуется определить опасное сечение.

Номер точек . . . . .	1	2	3	4	5
Расстояние от левого конца . . . . .	0	1,75	3,50	5,25	7,00
Величины перемещения, см . . . . .	0,000	0,080	0,137	0,139	0,112

Для вычисления коэффициентов эмпирического уравнения упругой линии воспользуемся формулами (107). Подставив приведенные значения  $S_i$  в формулы, получим уравнение

$$S = -0,013 - 0,0650x + 0,10506x^2 - 0,029493x^3 + 0,002416x^4. \quad (109)$$

Контроль выполняем, подставляя в (109) значения  $x$ .

Согласно (83), дважды дифференцируем (109) и находим максимум полученного выражения:

$$-6 \times 0,029493 + 24 \times 0,002416x = 0;$$

$$x = \frac{0,029493}{4 \times 0,002416} = 3,05.$$

Величина  $x$  получена нами в условной системе, где координата  $x$  соответствует номеру точки.

Определяем расстояние, на котором находится опасное сечение от левого конца балки:

$$l = (3,05 - 1) \times 1,75 = 3,6 \text{ м.}$$

### § 30. Исполнительные съемки

Исполнительные съемки сооружений башенного типа выполняются в процессе строительства и по окончании строительного-монтажных работ.

Как правило, в процессе строительства снимаются те части сооружения, которые подлежат пооперационному контролю или выполнены в процессе проведения скрытых работ.

По окончании строительства по результатам всех видов съемок составляют исполнительные чертежи, на основании которых можно судить о соответствии сооружения проекту.

На исполнительных чертежах помимо строительных конструкций показывают фактическое положение технологического оборудования. Точность геодезических измерений при исполнительных съемках должна соответствовать точности разбивочных работ. Так, например, точность съемки оболочки градирен должна соответствовать той точности, с которой определяется положение скользящей опалубки.

Исполнительные съемки производятся в основном теми же методами, что и разбивочные работы. Перед бетонированием фундамента производится контрольное нивелирование дна котлована и верха бетонной подготовки. Фактическое положение фундамента определяется в плане относительно главных осей сооружения. Верх фундамента нивелируется. При возведении градирен исполнительной съемке подлежат: днище водосборного бассейна, сборные железобетонные конструкции оросительного и водораспределительного устройства, наклонная колоннада. Производится также съемка всех подземных коммуникаций, примыкающих к башням.

В процессе возведения корпуса башни (оболочки) производят исполнительные съемки поперечных сечений через 3÷5 м по высоте. Частота съемки поперечных сечений определяется для каждого типа сооружений в картах технологии пооперационного контроля качества строительно-монтажных работ (КТМК) или в ППГР.

Весь съемочный материал, собранный в различные периоды строительства сооружения, систематизируется и по мере готовности используется при составлении исполнительной документации, которая составляется в трех экземплярах.

В состав исполнительной документации входит:

1. Геометрическая схема выноса и закрепления в натуре главных осей и центра сооружения.
2. Ведомости (таблицы) результатов исполнительной геодезической съемки готового сооружения.
3. Планы-сечения сооружения через установленные интервалы по высоте.
4. Схема рабочей технологической основы.
5. Вертикальные разрезы сооружения по двум главным осям.
6. Ведомости наблюдений за осадками, кренами и изгибами сооружений.
7. Исполнительные чертежи на подземные коммуникации.

К ведомости результатов наблюдений за осадками и кренами, как правило, должна прилагаться краткая пояснительная записка объемом 1—2 стр., содержащая сведения о методах измерений и их точности, исходных реперах, расположении наблюдаемых пунктов и осадочных марок и другие сведения, которые могут представлять интерес при дальнейшей эксплуатации сооружения.

## *Глава VII*

### *ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ РАБОТ И ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ*

#### **§ 31. Особенности организации геодезических работ при возведении башенных сооружений**

Организация геодезических работ неразрывно связана с технологией возведения сооружений. Часто различные виды строительных работ на одном и том же объекте выполняются с помощью нескольких отделов геодезической службы: общая разбивка застройки, земляные, сваебойные работы, устройство бетонных подготовок и фундаментов, возведение колонн (на силосах, градирнях) нижней части сооружения, монтаж опалубки, геодезическое обеспечение строительства сооружения, наблюдение кренов, осадок, деформаций и др.

Акты и исполнительные геодезические схемы, завершающие один этап работы, являются исходным материалом для начала

следующего этапа строительства. От качества исполнения предшествующего вида работ зависит качество последующих работ. На исполнительных схемах указывают отклонение от проектных размеров и величин, что является одним из основных критериев для суждения о возможности продолжения работ и принятия мер для исправления допущенных отклонений.

Разбивочные и другие геодезические работы производятся согласно чертежам, проверенным и подписанным главным инженером строительного предприятия к производству работ.

Геодезическая служба строительного управления, треста, участка по договоренности с администрацией имеет право на остановку работ, ведущихся с нарушением проектных размеров, или на временную остановку какого-либо вида строительных работ, если этого требует технология геодезических измерений. К примеру, во время промеров стальными рулетками по арматуре сооружаемых фундаментов башен работы по электросварке и электропрогреву должны быть прекращены, в противном случае рулетки разрушаются. На период работ по выносу центра монолитного сооружения на рабочий горизонт приостанавливается движение лифтов, грузоподъемных механизмов, отключаются calorиферы.

В условиях непрерывного строительного-монтажного производства требуется оперативное выполнение геодезических работ.

Оперативность достигается как своевременными измерениями, так и быстрой обработкой полученных данных, что позволяет незамедлительно вносить коррективы в строительный-монтажный процесс.

При выполнении ряда операций, таких, как откладывание заданных длин линий с учетом поправок за температуру, наклон, компарирование, контроль положения конструктивных элементов, необходимо иметь заранее вычисленные в известных пределах величины поправок и заранее предвычислять результаты измерений. При невозможности использования предвычисленных результатов нужно предусмотреть быструю камеральную обработку, чему способствует применение телефонной и радиосвязи. На строительных объектах применяют специальные радиопереговорные устройства, имеющие небольшую массу и габариты, типа «Ласточка», «Тюльпан» — портативные УКВ-радиостанции, обеспечивающие устойчивую радиосвязь на расстоянии 1 км, или «Кактус», «Сирень» — носимые радиостанции, обеспечивающие двустороннюю связь на расстоянии до 4000 м. Масса портативных радиостанций — 0,9—1,6 кг.

Совершенно необходимым является применение радиостанций при геодезическом контроле за возведением стальных башен, сооружаемых методом поворота вокруг шарнира, наращивания и др.

Обязательно наличие двусторонней телефонной связи при выполнении работ по выносу центра монолитного железобетонного сооружения на отметку рабочей площадки. Для этого в геодезических ячейках и на рабочей площадке устанавливают телефонные розетки, телефонные трубки оборудуются соответствующими разъемами.

Геодезическая служба должна быть обеспечена благоустроенным отдельным помещением, в котором обязательно наличие металлических несгораемых шкафов для хранения инструментов и документации.

Строительство и монтаж высотных сооружений башенного типа требуют неперемennого участия представителей геодезической службы в строительных процессах.

Состав работников геодезической службы избирается в зависимости от сложности и ответственности работ на объекте, требований точности и технологии строительства.

Возведение сооружений в скользящей опалубке в связи с непрерывностью и большой скоростью строительного процесса требует пристального внимания к геометрии объекта. Поэтому к геодезическому обслуживанию строительных работ должны быть привлечены и линейные инженерно-технические работники — мастера, прорабы.

При строительстве силосов, элеваторов и других подобных сооружений геодезический контроль осуществляется одним геодезистом с привлечением линейных ИТР.

Возведение градирен и дымовых труб в скользящей опалубке, применение скользяще-переставной опалубки для строительства сооружений с большим количеством закладных элементов и проемов требует постоянного участия в геодезическом обеспечении строительства объекта специального отдела или группы, в состав которой рекомендуется включить:

<i>Должность</i>	<i>Кол-во человек</i>
Старший прораб геодезических работ . . . . .	1
Прораб (мастер) геодезических работ . . . . .	1
Рабочие замерщики IV разряда . . . . .	4

Геодезические работы при строительстве сооружений в подъемно-переставной опалубке выполняются линейными ИТР с участием одного геодезиста.

Геодезические инструменты, их количество и точностные характеристики должны соответствовать видам геодезических работ и удовлетворять требованиям к их точности.

В табл. 29 приводится примерный перечень приборов и инструментов, необходимых для обеспечения строительного-монтажных работ при возведении в скользящей опалубке монолитной железобетонной гиперболической градирни высотой 150 м.

Примерный перечень инструментов и приборов, используемых при строительстве в скользящей опалубке силосной группы из четырех банок высотой 42,5 м, приводится в табл. 30.

Рекомендуемая обеспеченность геодезическими инструментами и приборами строительства дымовых труб высотой 180—420 м в подъемно-переставной опалубке приводится в табл. 31.

Представленные примерные перечни позволяют комплектовать геодезические приборы и инструменты для обеспечения строительного процесса в зависимости от технологии возведения сооружения.

Таблица 29

№ п/п	Наименование прибора	Марка	Ед. изм.	Кол-во
1	Оптические теодолиты	T5	шт.	1
		T30	шт.	1
2	Нивелиры	H-3	шт.	1
		HC-4	шт.	1
3	Зенит-прибор	PZL	компл.	2
4	Нивелирные рейки	HP-3	шт.	2
		HP-4	шт.	2
	Прецизионные нивелирные рейки		компл.	1
	Алюминиевые рейки длиной 5,2 м		шт.	2
5	Стальные рулетки	PC-30	шт.	2
		PK-50	шт.	2
		PK-75	шт.	2
6	Длиномер	ДЛ-2	компл.	1
7	Штативы теодолитные		шт.	3
8	Штриховой метр		шт.	3
9	Уровни различной длины		шт.	3
10	Термометр-прац	TM-8	шт.	2
11	Анемометр для измерения скорости ветра		шт.	1
12	Радиопереговорное устройство		компл.	1

Таблица 30

№ п/п	Наименование прибора	Марка	Ед. изм.	Кол-во
1	Оптический теодолит	T5	шт.	1
2	Нивелир	H-3	шт.	1
3	Штатив теодолитный		шт.	1
4	Штатив нивелирный		шт.	1
5	Рулетки	PC-30	шт.	2
6	Метр штриховой		шт.	2

Таблица 31

№ п/п	Наименование прибора	Марка	Ед. изм.	Кол-во
1	Оптические теодолиты	T5	шт.	1
		T30	шт.	1
2	Нивелиры	H-3	шт.	1
3	Зенит-прибор PZL или лазерный датчик вертикали		компл.	1
4	Штативы теодолитные		шт.	2
5	Штатив нивелирный		шт.	1
6	Рулетка стальная	PC-10	шт.	3
		PC-30	шт.	2
		PK-50	шт.	2
7	Штриховой метр		шт.	3
8	Телефонное переговорное устройство		компл.	1
9	Термометр-прац		шт.	1

При строительстве высотных сооружений необходимо соблюдать требования СНиП III-4—80 «Техника безопасности в строительстве».

На строительстве башенных сооружений геодезические работы связаны с нахождением исполнителей на большой высоте в опасных зонах.

В процессе производства геодезических работ следует выполнять общие и специальные правила техники безопасности, установленные Строительными нормами и правилами, инструкциями, проектом производства работ.

На строительстве высотных сооружений работают лица не моложе 18 лет. Все работающие при поступлении проходят медицинский осмотр, через каждые 12 мес. — повторные осмотры. Главное внимание при медицинских осмотрах обращается на пригодность к работе на большой высоте.

Все лица, находящиеся на строительной площадке, обязаны носить защитные каски по ГОСТ 12.4.087—80.

При производстве работ, выполняемых с подвесных лесов и подмостей, работающие пользуются предохранительными поясами. Предохранительные пояса закрепляют за металлические элементы, конструкции, заранее указанные производителем работ. Все рабочие обеспечиваются спецодеждой, спецобувью и другими средствами индивидуальной защиты в соответствии с действующими отраслевыми нормами.

Геодезические приборы переносят в ящиках.

Запрещается работать на высоте при ветре 6 и более баллов, во время сильного дождя, снегопада, грозы, при обледенении конструкций башен.

Рабочие геодезической службы проходят вводный инструктаж по технике безопасности и инструктаж непосредственно на рабочем месте.

Запрещается находиться на подвесных лесах во время подъема рабочей площадки.

Запрещается производить геодезические работы внутри башни при демонтаже опалубки и подъемной головки.

Геодезическая ячейка в шахтном подъемнике должна быть ограждена со всех сторон мелкоячейистой сеткой с учетом свободного прохода геодезиста к опорному столику. Расположенные рядом с ячейкой тросы должны быть взяты в деревянные или металлические защитные футляры. Над рабочим местом устанавливают защитное перекрытие из доски толщиной 50 мм в два слоя с взаимно перпендикулярным расположением волокон. В перекрытии оставляют отверстие диаметром 50 мм.

При необходимости устраивают промежуточные геодезические ячейки на различных отметках по вертикальной оси сооружения. Кроме защитных перекрытий над рабочим местом сооружают защищенные сверху проходы для геодезистов.

При работе геодезистов с центрировочным приспособлением на уровне рабочей площадки рабочий помещается в центральной ячейке на специальных подмостях, имеющих фиксаторы, препятствующие перемещению подмостей по ригелям шахтного подъемника.

Во время нахождения геодезистов в центральной ячейке шахтного подъемника движение лифтов и грузовых клетей должно быть приостановлено.

Особое внимание должно быть обращено на освещенность рабочего места геодезиста, которая не должна быть менее установленных норм.

Лазерные приборы, употребляемые для геодезического контроля, должны быть заземлены. Запрещается вскрывать лазерные приборы и блок питания во включенном состоянии, соединять и разъединять разъемы не ранее чем через 1,5 мин после выключения блока питания. Следует не допускать повреждений соединительных кабелей прибора, предотвращать попадание луча лазера в глаза. На пути прохождения луча лазера нельзя ставить зеркала или металлические предметы с блестящей поверхностью, луч лазера не должен выходить за пределы строительной площадки.

Место, где ведутся работы с лазером, должно быть ограждено. Во время работы следует пользоваться предупредительными сигналами, сигнальными лампами, вывешивать предупредительные плакаты. Все рабочие на строительной площадке должны быть осведомлены о вредном воздействии лучей лазера на сетчатку глаза.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Александренко А. И., Кулешов Д. А., Ярославцев Т. А.* К вопросу определения радиуса и координат центра инженерного сооружения, имеющего цилиндрическую или коническую форму. — Известия вузов, Строительство и архитектура, 1971, № 11, с. 183—185.
2. *Большаков В. Д., Гайдаев П. А.* Теория математической обработки геодезических измерений. М., Недра, 1979.
3. *Брикман Г. А., Гусев М. А.* Исследование динамических отклонений Останкинской телебашни под воздействием ветра. — Труды ЦВТМО, 1977, вып. 9, с. 61—65.
4. *Буш В. В.* О точности центрирования оптических теодолитов. — Труды МИИТа, 1975, вып. 483, с. 78—81.
5. *Буш В. В., Ерин Л. М., Горлов В. С.* О химическом закреплении грунтов. — Метрострой, 1973, вып. 1, с. 23.
6. *Вопросы геодезического обеспечения строительства ректификационных колонн*/В. Е. Новак, В. В. Буш, И. Р. Гольдфарб и др. — Межвузовский сборник «Исследования по геодезии, аэрофотосъемке и картографии», М., 1979, вып. 5(4), с. 72—74.
7. *Войтенко С. П., Евтифеев С. А.* Влияние внешних условий на точность вертикального проектирования монтажных осей с помощью PZL. — Межвузовский сборник «Инженерная геодезия», Киев, 1972, вып. 12, с. 58—62.
8. *Гайдаев П. А.* Математическая обработка геодезических сетей. М., Недра, 1977.
9. *Геодезические методы определения крена промышленных труб.* — Сборник статей Белорусского политехнического института. Минск, 1981.
10. *Грала М.* Геодезический контроль положения скользящей кольцевой опалубки для сооружений башенного типа. — Межвузовский сборник «Инженерная геодезия», Киев, 1980, вып. 23, с. 67—71.
11. *Гридчин А. Н.* Подбор уравнений кривых и оценка точности результатов наблюдений при исследованиях осадок инженерных сооружений — Межвузовский сборник «Инженерная геодезия», Киев, вып. 8, 1970, с. 35—43.
12. *Губенко Е. Н., Ким А. С., Красавцев М. А.* Влияние некоторых факторов на результаты геодезических наблюдений за кренами промышленных труб. — Геодезия и картография, 1976, № 6, с. 34—39.
13. *Губенко Е. Н., Ким А. С., Красавцев М. А.* Обобщение геодезических методов определения крена дымовых труб промышленных предприятий. — Геодезия и картография, 1978, № 10, с. 39—49.
14. *Жилкин В. А.* Способ контроля скользящей опалубки в пространстве по высоте при строительстве высоких сооружений. — Межвузовский сборник «Исследования по геодезии, аэрофотосъемке и картографии», 1978, вып. 4, с. 121—124.
15. *Зеленский А. М.* Об определении крена высоких сооружений башенного типа. — Геодезия и картография, 1974, № 12, с. 30—33.
16. *Калугин В. В., Измайлов А. А., Хромов Е. И.* Исследование характера распределения погрешностей строительно-монтажных процессов при вычислении значений допусков. — Межвузовский сборник «Исследования по геодезии, аэрофотосъемке и картографии», 1979, вып. 5(4), с. 26—29.
17. *Лукьянов В. Ф.* Расчеты точности инженерно-геодезических работ. М., Недра, 1981.
18. *Маркузе Ю. И.* Алгоритм уравнивания комбинированных геодезических сетей. М., Недра, 1972.
19. *Маркшейдерские работы при установке и эксплуатации шахтного подъемного оборудования*/И. И. Добкин, В. Б. Лебедев, М. Н. Галицкая и др. М.,

20. Михелев Д. Ш., Рунов И. В., Голубцов А. И. Геодезические измерения при изучении деформаций крупных инженерных сооружений. М., Недра, 1977.
21. Никитин Н. В. Останкинская телевизионная башня. М., Стройиздат, 1972.
22. Новак В. Е., Захаров А. В., Буш В. В. Применение карбопласта для геодезических работ. — Межвузовский сборник «Исследования по геодезии, аэрофотосъемке и картографии». М., 1978, вып. 4(3), с.
23. Новая геодезическая техника и ее применение в строительстве. Под редакцией В. Е. Дементьева. М., Высшая школа, 1982.
24. Осинский Б. В. Кривизна вертикальных осей сооружений башенного типа и ее анализ в целях совершенствования производства геодезических работ. Ленинград, ЛИСИ, 1979.
25. Парвулов Ю. Б. О способе измерения линейных перемещений высотных сооружений башенного типа. — Труды МИИГАиК, 1970, вып. 57, с. 53—56.
26. Пискунов М. Е. Методика геодезических наблюдений за деформациями сооружений. М., Недра, 1980.
27. Прогнозирование места появления трещин в строительных конструкциях по геодезическим данным. Теоретические и экспериментальные исследования мостов/В. В. Буш, Ю. Е. Федосеев, Н. М. Комар и др. Омск, 1980.
28. Раинкин В. Я. Влияние колебаний башенных сооружений на точность передачи высот. — Геодезия и картография, 1981, № 10, с. 34—36.
29. Раинкин В. Я. Определение деформаций сооружений башенного типа посредством измерения горизонтальных и вертикальных углов с одного опорного пункта. — Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка, 1972, вып. 3, М., с. 27—33.
30. Раинкин В. Я. Определение изгиба Останкинской телевизионной башни геодезическими методами. — Известия вузов, Геодезия и аэрофотосъемка, 1972, вып. 1, с. 43—51.
31. Романус Т. Н. Об учете деформаций железобетонных конструкций из-за неравномерного нагрева отдельных частей здания. — Геодезия и картография, 1973, № 1, с. 24—27.
32. Саар А. И., Федисhev В. В. Применение зенит-прибора на строительстве высотных монолитных железобетонных сооружений. — Специальные работы в промышленном строительстве, ЦБНТИ, Минмонтажспецстрой, 1975, вып. 10(112), с. 20—22.
33. Саар А. И. Применение зенит-прибора PZL-100 на строительстве оболочек гиперболических градирен. — Специальные работы в промышленном строительстве, ЦБНТИ, Минмонтажспецстрой, 1975, вып. 12(114), с. 7—8.
34. Сизова Г. Н. Рациональные схемы специальных геодезических сетей. — Строительство и архитектура, 1980, вып. 5.
35. Справочник по динамике сооружений. Под редакцией В. Г. Коренева. М., Стройиздат, 1972.
36. Справочное руководство по инженерно-геодезическим работам/В. Д. Большаков, Г. П. Левчук, В. Е. Новак и др. М., Недра, 1980.
37. Столбов Ю. В. О глубине заложения типовых геодезических центров в районах распространения сезонной мерзлоты. — Межвузовский сборник. «Инженерная геодезия», Киев, 1975, вып. 17, с. 84—88.
38. Столбов Ю. В. Расчет точности геодезической разбивки осей сборных сооружений различными методами. — Научные труды Омской сельскохозяйственной академии, 1975, т. 136, с. 73—77.
39. Сундаков Я. А. Геодезические работы при возведении крупных промышленных сооружений и высотных зданий. М., Недра, 1980.
40. Сытник В. С., Ключин А. Б. Геодезический контроль точности возведения монолитных зданий и сооружений. М., Стройиздат, 1981.
41. Тамугис З. П. Оптимальные методы проектирования геодезических сетей. М., Недра, 1973.
42. Цытович Н. А., Тер-Мартirosян З. Г. Основы прикладной геомеханики в строительстве. М., Высшая школа, 1981.
44. Brtkan G. A. Analysis of Ostandkino tower body movements under influence of the temperature factor. — Mast and towers for Radio and television, Bratislava, 1981, Book 2, p. 188—192.
46. How they Built the world's tallest tower. — World construction, 1977, No. 2, p. 36—37.

## О Г Л А В Л Е Н И Е

Предисловие . . . . .	3
Введение . . . . .	4
<b>Глава I. КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ О СООРУЖЕНИЯХ БАШЕННОГО ТИПА . . . . .</b>	<b>6</b>
§ 1. Технологические характеристики и геометрические параметры . . . . .	6
§ 2. Дымовые трубы и градирни . . . . .	7
§ 3. Сооружения связи и транспорта . . . . .	9
§ 4. Силосы, грануляционные башни, надшахтные копры и другие сооружения . . . . .	17
§ 5. Основные методы возведения башенных сооружений . . . . .	23
<b>Глава II. ТРЕБОВАНИЯ К ТОЧНОСТИ ПРИ ВОЗВЕДЕНИИ СООРУЖЕНИЙ БАШЕННОГО ТИПА . . . . .</b>	<b>29</b>
§ 6. Состав геодезических работ . . . . .	29
§ 7. Основные нормативные требования . . . . .	31
§ 8. Методика предрасчета точности геодезических работ . . . . .	37
<b>Глава III. ГЕОДЕЗИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА СООРУЖЕНИЙ БАШЕННОГО ТИПА . . . . .</b>	<b>44</b>
§ 9. Назначение геодезического обоснования и схемы его построения . . . . .	44
§ 10. Предрасчет точности геодезических сетей . . . . .	49
§ 11. Методы и приборы, применяемые при создании планового и высотного геодезического обоснования . . . . .	55
§ 12. Особенности уравнительных вычислений . . . . .	64
<b>Глава IV. ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ ДЛЯ НУЛЕВОГО ЦИКЛА И ПРИ СОЗДАНИИ РАБОЧЕЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНОВЫ . . . . .</b>	<b>67</b>
§ 13. Закрепление рабочих осей . . . . .	67
§ 14. Геодезические работы при устройстве котлованов сооружений . . . . .	68
§ 15. Геодезические работы при укреплении оснований . . . . .	69
§ 16. Геодезические работы при устройстве фундаментов и возведении нулевого цикла . . . . .	75
§ 17. Рабочая технологическая основа . . . . .	79
<b>Глава V. ГЕОДЕЗИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СТРОИТЕЛЬСТВА И МОНТАЖА БАШЕН . . . . .</b>	<b>82</b>
§ 18. Геодезические работы при монтаже опалубочного оборудования . . . . .	82
§ 19. Геодезические работы по обеспечению возведения монолитных сооружений . . . . .	90
§ 20. Геодезический контроль высотного положения башенных сооружений . . . . .	107
§ 21. Геодезический контроль монтажа сборных и секционных сооружений . . . . .	115
§ 22. Применяемые приборы и методика их использования . . . . .	119
§ 23. Обеспечение монтажа и устройства технологического оборудования в башенных сооружениях . . . . .	126
§ 24. Геодезические работы при монтаже специальных промышленных сооружений . . . . .	130
§ 25. Геодезические работы при возведении особо высоких сооружений . . . . .	134
	215

<i>Глава VI. НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ДЕФОРМАЦИЯМИ БАШЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ . . . . .</i>	152
§ 26. Общие сведения о деформациях сооружений башенного типа и точности их определения . . . . .	152
§ 27. Наблюдения за вертикальными перемещениями сооружений	159
§ 28. Измерения кренов и изгибов башенных сооружений . . . . .	181
§ 29. Обработка результатов наблюдений . . . . .	199
§ 30. Исполнительные съемки . . . . .	206
<i>Глава VII. ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ РАБОТ И ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ . . . . .</i>	207
§ 31. Особенности организации геодезических работ при возведении башенных сооружений . . . . .	207
§ 32. Техника безопасности . . . . .	211
Список литературы . . . . .	213

**ВАСИЛИЙ ВИЛЬЯМОВИЧ БУШ,  
 ВЛАДИМИР ВАСИЛЬЕВИЧ КАЛУГИН,  
 АНАТОЛИЙ ИЛЬМАРОВИЧ СААР**

**ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ  
 СООРУЖЕНИЙ БАШЕННОГО ТИПА**

Редактор издательства *Н. Т. Куприна*  
 Обложка художника *Ю. Г. Осафова*  
 Художественный редактор *Г. Н. Юрчевская*  
 Технический редактор *А. В. Трофимов*  
 Корректор *Н. А. Громова*

ИБ № 5025

---

Сдано в набор 25.03.85. Подписано в печать 12.06.85. Т-10979. Формат 60×90<sup>1/16</sup>.  
 Бумага книжно-журнальная. Гарнитура «Литературная». Печать высокая Усл. печ. л. 13,5.  
 Усл. кр.-отт. 13,75. Уч.-пзд. л. 14,38. Тираж 4160 экз. Заказ 225/9075—15. Цена 70 коп

---

Ордена «Знак Почета» издательство «Недра», 103633, Москва, К-12,  
 Третьяковский проезд, 1/19.

Московская типография № 6 Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР  
 по делам издательств, полиграфии и книжной торговли.  
 109088, Москва, Ж-88, Южнопортовая ул., 24.