

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

КАЗАХСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ имени К.И. САТПАЕВА

Х.М. Касымканова, Г.С. Мадимарова

**ГЕОДЕЗИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ МОНТАЖНЫХ
РАБОТ И ГЕОДЕЗИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ В
СТРОИТЕЛЬСТВЕ**

Рекомендовано Научно-методическим советом университета
в качестве учебного пособия

Алматы 2012

УДК 528 (075.8)

К28

К 28 Х.М. Касымканова, Г. С. Мадимарова. Геодезическое обеспечение монтажных работ и геодезический контроль в строительстве: Учеб. пособие. – Алматы: КазНТУ, 2012. – 210 с.
Ил. 91. Табл. 7. Библиограф. – 21 назв.

ISBN 978–601–228–370–9

Настоящее учебное по дисциплине «Геодезическое обеспечение монтажных работ и геодезический контроль в строительстве» составлено с требованиями типовой учебной программы для высших учебных заведений для специальности 050711 «Геодезия и картография».

В пособии рассмотрены вопросы по построению геодезических сетей на монтажных горизонтах, геодезического обеспечения монтажа фундаментов, колонн, зданий и сооружений, геодезического контроля точности геометрических параметров сооружения.

Особое внимание уделено исполнительным съёмкам как заключительной и обязательной части каждого технологического процесса монтажных и строительных работ.

Разработанное учебное пособие является дополнением к действующей в настоящее время учебной литературе и направлено на повышение эффективности самостоятельной работы студентов.

Рецензенты:

*В.Н. Долгоносов, д-р. техн. наук, директор
ТОО «Научно-технический центр «Альтернатива»
Ж.С. Нугужинов, канд. техн. наук, проф.,
директор Казахстанского многопрофильного
института реконструкции и развития при КарГТУ
Т.П. Пентаев, д-р. техн. наук, проф. каф.
«Инженерная геодезия и землеустройство»
КазНТУ им. К.И. Сатпаева*

Печатается по плану издания Министерства науки и образования
Республики Казахстан на 2012 год

ISBN 978–601–228–370–9

© Касымканова Х.М.
Мадимарова Г. С., 2012
© КазНТУ, 2012

ВВЕДЕНИЕ

Многообразие видов сооружений и условий их возведения приводит к необходимости выполнения геодезических измерений различными методами и средствами. Однако принципиальная схема производства геодезических измерений должна соответствовать общему геодезическому правилу последовательного выполнения работ на отдельных этапах монтажа.

При монтаже и строительстве возникает комплексная проблема – качество строительных работ. Для обеспечения качества необходимо следовать требованиям к производству, записанным в различных строительных правилах и нормах и соблюдать государственные стандарты системы обеспечения точности геометрических параметров в строительстве, документы органов государственного надзора, а также ведомственные нормативные документы. Также необходимо следовать дополнительным требованиям, которые предусматривает проектная документация. При этом все требования существенно зависят от назначения и конструктивных особенностей объектов строительства.

Своевременная и высокоточная геодезическая экспертная оценка, которая проводится во время строительных работ и для которой применяются современные спутниковые технологии, позволяет на ранних этапах узнать об отклонениях от заданных геометрических параметров.

Учебное пособие по дисциплине «Геодезическое обеспечение монтажных работ и геодезический контроль в строительстве» для студентов специальности 050711 – Геодезия и картография имеет цель максимально помочь студентам при самостоятельной проработке данного курса при выполнении как лабораторных работ, так и в изучении теоретической части дисциплины.

ГЛАВА 1. ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ ПРИ МОНТАЖЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

1.1. Принципы геодезического обеспечения монтажа строительных конструкций и технологического оборудования

Наиболее важными геодезическими характеристиками, подлежащими определению при монтаже технологического оборудования, являются прямолинейность, горизонтальность, вертикальность, параллельность, наклонность и т. д. Сочетание этих характеристик позволяет определить плановое и высотное положение элементов и узлов машин и установок, а также технологического оборудования.

По мере возведения зданий для определения планового и высотного положения окончательно установленных конструкций выполняют комплекс геодезических работ, который называют исполнительной съемкой.

Исполнительной съемке подлежат те элементы и части зданий, от правильного положения которых зависит прочность и устойчивость всего сооружения. Точность, принятая при исполнительной съемке, должна быть не ниже точности разбивочных работ.

Наиболее распространенными показателями, характеризующими качество геометрических параметров оборудования и их положения в пространстве, являются:

- вертикальность;
- наклонность;
- горизонтальность;
- параллельность;
- перпендикулярность;
- угловарность;
- криволинейность;
- прямолинейность;
- соосность.

Вертикальность, наклонность и горизонтальность определяются относительно линии горизонта или отвесной линии.

Ангулярность определяет взаимное положение линий и плоскостей (для двух или нескольких линий). Плоскость считается заданной, если даны 3 ее точки, не лежащие на одной прямой и имеющие координаты X, Y, Z .

Криволинейность характеризуется радиусом кривизны.

Прямолинейность характеризуется размещением рассматриваемых точек элементов оборудования на одной линии (оси) в одной какой-либо плоскости (горизонтальной, наклонной, вертикальной).

Соосность является особым видом прямолинейности одновременно в двух плоскостях (горизонтальной и вертикальной, наклонной и вертикальной, двух вертикальных).

Горизонтальность, наклонность и вертикальность определяют положение линии оборудования относительно линии горизонта или отвесной линии. Горизонтальность характеризуется одинаковыми высотными отметками, а вертикальность – одинаковыми абсциссами и ординатами двух каких-либо точек, принадлежащих этим линиям или осям. Наклонность характеризуется величиной уклона, значение которого на различных участках прямой линии должно быть одинаковым.

Параллельность и перпендикулярность линии определяют взаимное положение двух прямых, лежащих в одной плоскости (горизонтальной, наклонной или вертикальной). Параллельные линии при их продолжении не пересекаются, а перпендикулярные пересекаются под прямым углом.

Плоскостность характеризует уровень принадлежности семейства каких-либо точек поверхности детали оборудования одной плоскости (горизонтальной, наклонной или вертикальной). Плоскость считается заданной, если даны трехмерные координаты трех ее точек, не находящихся на одной прямой.

Горизонтальность, наклонность и вертикальность плоскости характеризует положение семейства прямых (осей), принадлежащих этой плоскости: в горизонтальной плоскости отметки точек прямых одинаковы, в наклонной – параллельные линии

имеют одинаковые уклоны, а в вертикальной – одинаковую направленность (одинаковый дирекционный угол).

Параллельность и перпендикулярность плоскостей характеризуется разностью дирекционных углов линии их пересечения с какой-либо плоскостью (горизонтальной, наклонной или отвесной), причем в первом случае эта разность равна 0^0 , а во втором – 90^0 . Для характеристики отклонения линии или плоскости конструкции от заданных геометрических условий применяется соответствующее выражение характеристики с приставкой “не”, например, непрямолинейность, негоризонтальность, несоосность и т. д. Величина отклонения определяется в линейной или угловой мере.

Криволинейность характеризуется радиусом кривизны сечения элемента оборудования какой-либо плоскостью (горизонтальной, наклонной, вертикальной). Отклонение в геометрии криволинейного элемента оборудования обычно выражают либо изменением радиуса кривизны, либо линейным отклонением от кривой с нормальным радиусом. В практике монтажа оборудования чаще всего используют криволинейные элементы, располагаемые в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Однако при создании сложных поверхностей используют и другие сечения, плоскость которых может иметь различную ориентацию в пространстве. Особой пространственной характеристикой кривизны может быть криволинейная соосность, определяемая радиусом кривизны линии в одной плоскости и плоскостностью точек этой линии в другой плоскости (плоскости радиуса).

Для характеристики качества реализации поверхности целесообразно использовать понятие “поверхность”, определяющее степень приближения реальной поверхности к теоретической, заданной математически. Линейное отклонение точки реальной поверхности от теоретической, направленное вдоль линии пересечения двух нормальных сечений в этой точке, называется неповерхностью. Чаще всего кривизна поверхности характеризуется радиусами двух нормальных сечений. Допускаемые отклонения при реализации различных форм элементов сооружений и оборудования даются в ГОСТах, СНиПах, техни-

ческих условиях и рабочих чертежах.

Наибольшее число характеристик геометрических параметров приходится на линии и плоскости элементов оборудования. Обобщенными характеристиками положения линии является соосность ее точек, наклонность (уклон), а для положения плоскости – плоскостность и наклонность (уклоны). Взаимное положение линий и плоскостей характеризуется ангулярностью – углом между ними, в частности, 0^0 – при их параллельности и 90^0 – при их перпендикулярности. Криволинейность характерна как для плоских, так и пространственных конструктивных элементов.

1.2. Методы монтажа зданий и сооружений.

Точность геодезических работ. Допуски в строительстве

Здание – надземное сооружение с внутренним пространством, которое предназначено для различных видов человеческой деятельности (жилые дома, магазины, заводские корпуса и т. п.).

Все сооружения, не относящиеся к зданиям (надземные, подземные, надводные, подводные), предназначенные для выполнения технических задач, принято называть инженерными сооружениями (дороги, мосты, плотины, метро и т. д.).

Структуру здания определяют его взаимосвязанные конструктивные элементы: фундаменты, стены, перекрытия, отдельные опоры (столбы, колонны), лестницы, перегородки, окна, двери, крыши, стропильные фермы.

Детали, из которых состоят конструктивные элементы, называются строительными изделиями (плиты, панели, площадки, лестничные марши и др.).

Фундамент – конструкция ниже уровня земли, воспринимающая и передающая на грунт (основание) нагрузки от здания. Верхняя часть фундамента, на которой располагаются надземные части здания, называется обрезаем, а нижняя его плоскость, опирающаяся на основание, – подошвой фундамента. По конструктивной схеме различают следующие фундаменты, представленные на рис. 1.:

- ленточные, располагаемые сплошной лентой по всей длине стен и под рядами колонн;
- столбчатые для отдельно стоящих опор, а иногда и для стен;
- сплошные, представляющие собой сплошную плиту под всей площадью здания или его частью;
- свайные, состоящие из отдельных свай (стержней, погружаемых в грунт), объединенных поверху плитой, называемой ростверком.

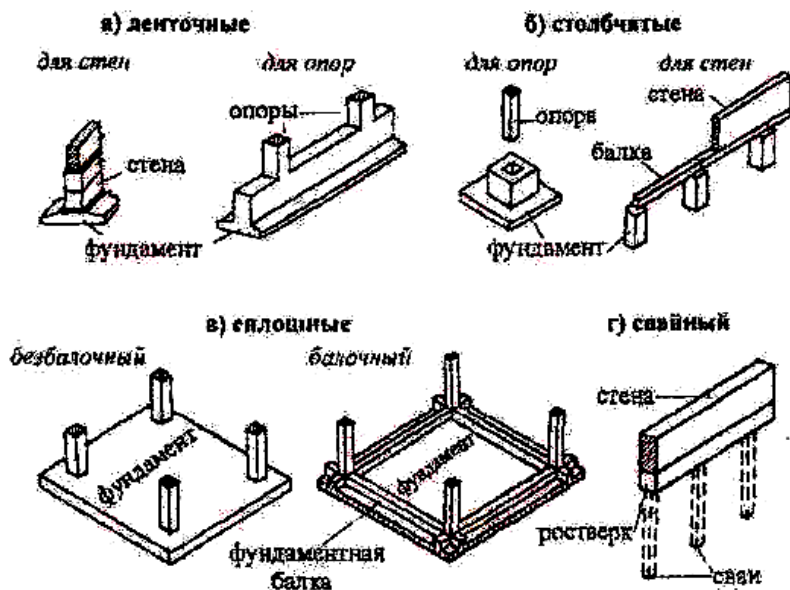


Рис.1. Конструктивные схемы фундаментов

По способу изготовления фундаменты бывают монолитными, представляющими единый блок, и сборными, состоящими из отдельных блоков.

Стены – вертикальные ограждения помещений от влияния внешней среды и друг от друга.

Перекрытия – конструкции, разделяющие здание на этажи.

Отдельные опоры (столбы и колонны) поддерживают перекрытия и другие элементы здания и передают нагрузку от них на фундаменты.

Лестницы служат для сообщения между этажами.

Перегородки – внутренние стены.

Окна предназначены для естественного освещения и проветривания помещений.

Двери служат для сообщения между помещениями.

Крыша – верхнее ограждение здания от атмосферных осадков, ветра и солнечной радиации.

Стропильные фермы – конструкции, на которых размещается покрытие крыши

Конструкции подразделяются на несущие, которые воспринимают на себя нагрузку от вышележащих частей здания, снега, ветра и т. д., и ограждающие, которые предназначены только для ограждения внутренних частей здания от влияния метеоусловий.

Помещение, полы которого находятся на одном уровне, образуют этаж.

По этажности различают следующие здания: малоэтажные (до 3-х этажей); многоэтажные (4–9 этажей); повышенной этажности (10 и более этажей).

По конструктивной схеме различают следующие здания (рис. 2): бескаркасные, в которых несущими элементами являются стены; каркасные, в которых несущими элементами, образующими остов (каркас здания), являются колонны (вертикальные опоры) и горизонтальные связи между ними: ригели и прогоны. Ригель (нем. *rigel* – поперечина) – балка, которая укладывается на консоли (франц. *console* – выступ) продольного ряда колонн, Прогон – балка, соединяющая колонны поперечного ряда; комбинированные, в которых несущими элементами являются наружные стены и внутренние колонны с ригелями.

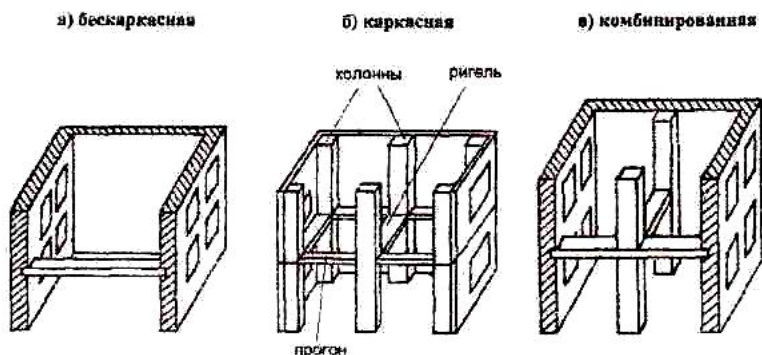


Рис. 2. Конструктивные схемы зданий

По методам выполнения строительных работ различают следующие здания: кирпичные (блочные), возводимые из кирпичей и блоков; крупнопанельные, возводимые из крупноразмерных плоских элементов (панелей) заводского изготовления; объемно-блочные, возводимые из объемных блоков полной заводской готовности (комнаты, санузлы и т. п.); монолитные, возводимые как единое сооружение с помощью опалубки, которая представляет собой временное сооружение в виде двух тонких стен по внешнему и внутреннему контуру здания, между которыми заливается бетон; сборные, которые собираются из заранее изготовленных на заводе конструкций (колонн, ригелей, перекрытий и т. п.); сборно-монолитные, отдельные конструкции которых (например, внешние стены) возводятся монолитными.

По конфигурации различают следующие здания: односекционные (один подъезд); удлиненные (свыше двух секций); сложной конфигурации (круглые, со смещенными секциями, с разворотом и т. п.).

Одно из основных требований к положению сборных элементов многоэтажных зданий заключается в том, чтобы сборные несущие конструкции совпадали по вертикали на всех этажах. Стыки этих элементов наиболее чувствительны к нагрузкам, что требует особой точности при их установке.

Другое важное требование состоит в том, чтобы была обеспечена собираемость здания. Монтаж должен выполняться так, чтобы все детали (или их, большинство) устанавливались в проектное положение с необходимой точностью без предварительной подгонки или обработки.

Сборный метод строительства является наиболее распространенным при возведении различных зданий.

По назначению здания подразделяются на гражданские, промышленные и сельскохозяйственные.

К гражданским относятся здания, предназначенные для обслуживания бытовых и общественных потребностей людей. Гражданские здания разделяют на жилые (жилые дома, гостиные, общежития) и общественные (административные, торговые, учебные, спортивные и т. д.).

Гражданское здание (рис. 3) состоит из следующих основных взаимосвязанных конструктивных элементов: фундаментов, стен, перекрытий, отдельных опор (колонн), лестниц, окон, дверей, перегородок, крыши.

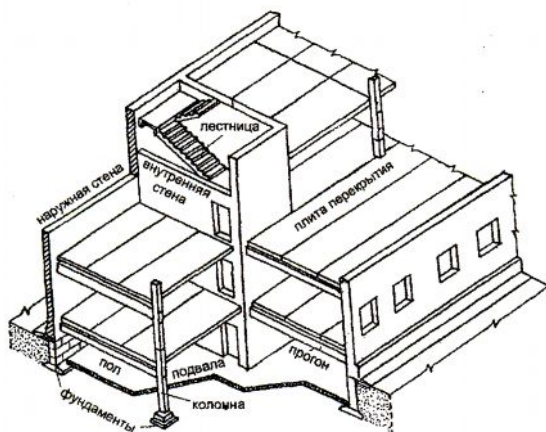


Рис. 3. Гражданское здание

К промышленным относятся здания, предназначенные для обслуживания нужд производства и транспорта (заводские и

фабричные корпуса, электростанции, склады, депо и т. д.). Чаще всего они являются каркасными и оборудованными подъемно-транспортными мостовыми кранами, которые перемещаются по рельсам, уложенным на подкрановые балки. Подкрановые балки опираются на консоли колонн и служат также продольными элементами каркаса здания. Крановый путь (рельсы) крепят к подкрановым балкам болтами, петлями и специальными крюками. На крайних рядах колонн укрепляют стеновые панели.

Промышленные здания бывают одноэтажными, многоэтажными, однопролетными и многопролетными.

Каркас одноэтажного промышленного здания (рис. 4) содержит следующие основные конструктивные элементы: фундаменты колонн, фундаментные балки, колонны, подкрановые балки, фермы стропильные и подстропильные.

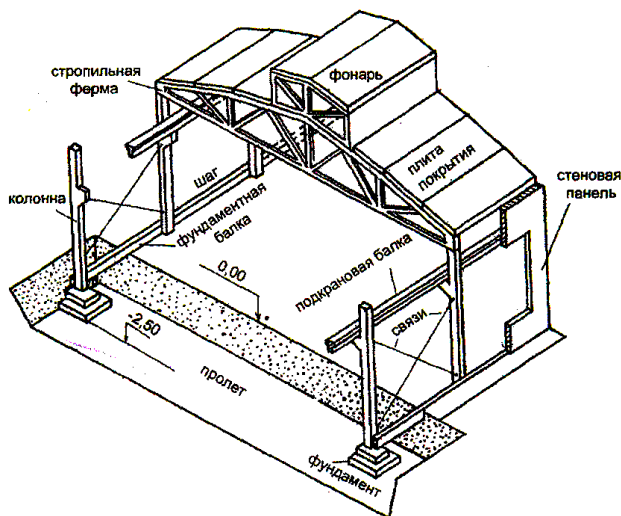


Рис. 4. Одноэтажное промышленное здание

Колонны размещают вдоль основных (разбивочных) осей здания – продольных и поперечных. Расстояние между продольными осями называется пролетом, между поперечными – шагом колонн.

Сельскохозяйственными называются здания, предназначенные для обслуживания потребностей сельского хозяйства (здания для содержания животных и птиц, теплицы, складские помещения и т. д.)

Решение многообразных задач строительного производства на всех его этапах (изыскания, проектирование, строительномонтажные работы) возможно при соответствующем их геодезическом обеспечении, основой которого являются геодезические сети (плановые и высотные).

Геодезические сети в строительном производстве подразделяются на два вида: сети геодезического обоснования топографической съемки строительной площадки и геодезические строительные сети.

Сети геодезического обоснования создаются на стадии инженерно-геодезических изысканий, в результате которых получают топографический план будущей строительной площадки, используемый для проектирования инженерных сооружений.

Геодезические строительные сети создаются для выноса проектов на местность, обеспечения строительномонтажных работ и контроля за возведением сооружений (так называемые разбивочные сети), а также наблюдений за положением сооружений в период их строительства и эксплуатации.

Для строительства уникальных сооружений, где требуется высокая точность детальных разбивочных работ, строят отдельные (локальные) разбивочные сети для каждого здания: внешние и внутренние (рис. 5).

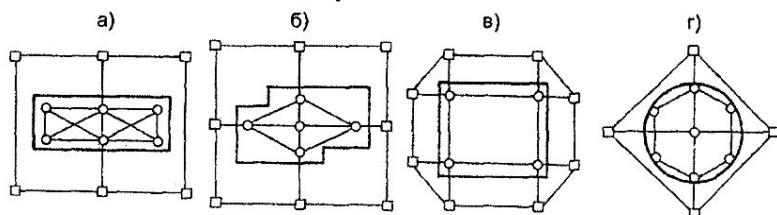


Рис. 5. Внешние и внутренние сети зданий:

а) прямоугольной формы; б) со смещёнными секциями; в) квадратной формы; г) круглой формы

Размер, форму и точность сети выбирают в зависимости от особенностей сооружений и требований к точности монтажа.

После завершения строительства подземной части сооружения создается внутренняя сеть на основе его внешней сети.

Плоскость, на которой первый раз построена внутренняя сеть, называется исходным горизонтом. Это может быть пол подвала (шахты) или пол первого этажа (перекрытие между подземной частью и первым этажом).

Пункты внутренней разбивочной сети намечают по плану первого этажа (или подвала) с учетом их сохранности и возможности передачи на другие этажи (монтажные горизонты). Закрепление пунктов выполняется на конструкциях здания специальными знаками, насечками и кернами на металлических пластинах, дюбелями и т. п. с обязательной надписью несмываемой краской.

На монтажные горизонты, т. е. на первый, второй, третий и последующие этажи, пункты разбивочной сети переносят с исходного горизонта по отвесным линиям. Проектирование должно быть таким, чтобы сохранилась единая ориентировка сетей на всех этажах и одноименные пункты находились на одной и той же отвесной линии. При сдвигах и разворотах затрудняются монтажные работы; кроме того, в конструкциях возникают односторонне направленные силы, что значительно снижает прочность сооружения. Особенно опасны такие смещения при строительстве высотных зданий.

Точность сети на исходном горизонте должна быть на класс выше, чем по характеристике строящегося здания, чтобы обеспечить точность разбивочных сетей на других монтажных горизонтах.

Проектирование пунктов на монтажные горизонты может быть выполнено с помощью приборов: для зданий до пяти этажей теодолитом с пунктов внешней сети, а для зданий большей высоты специальными приборами вертикального проектирования с пунктов внутренней сети. Требования к точности вертикального проектирования исходных пунктов на монтажные горизонты приведены в табл. 1.

Таблица 1

Точность вертикального проектирования

Высота проектирования, м	15 (до 5 этаж)	15–60 (5–15 этаж)	60–100 (выше 15 этаж)	Выше 100
Ср. кв. погрешность вертикального проектирования, мм	2	2,5	3	4
Тип прибора	T30	T5,T2	PZL, ЦО–1, «Зенит ОЦП», ПОВП	

Положение полученных проектированием пунктов *контролируется* измерением углов и линий в полученной сети, значения которых сравниваются с исходными. Для строительства подземных инженерных сетей разбивочная сеть создается в виде теодолитного хода вдоль трассы.

Высотная разбивочная сеть строительной площадки создается проложением отдельных нивелирных ходов, опирающихся на пункты высотной сети геодезического обоснования или государственные реперы. Пункты разбивочной высотной сети закрепляют в непосредственной близости от возводимых сооружений и часто совмещают с плановыми пунктами внешней разбивочной сети сооружения, в результате чего образуется сеть строительных реперов. Превышения в разбивочной сети определяют нивелированием IV класса.

Число реперов и их расположение на объекте должно обеспечивать передачу отметок на сооружения с одной установки нивелира.

При наличии строительной сетки разбивочной высотной сетью являются ее плановые пункты, по которым прокладываются ходы геометрического нивелирования соответствующей точности (обычно III или IV класса).

Пункты внутренней высотной сети (реперы и марки) закрепляются в конструкциях исходного горизонта (фундамента или первого этажа). Число пунктов исходной высотной сети должно

быть не менее трех. Передачу отметок на пункты внутренней высотной сети исходного горизонта выполняют от реперов внешней высотной сети. Отметки пунктов высотной сети исходного горизонта вычисляют в двух системах: государственной и в условной системе здания (от строительного нуля, которым принимается уровень пола первого этажа данного здания). Точность построения внутренней высотной сети должна быть такой же, как и при построении внешней высотной сети.

На монтажные горизонты значительной высоты и дно глубоких котлованов целесообразно передавать отметки от исходного горизонта с помощью вертикально подвешенной рулетки с миллиметровыми делениями, двух нивелиров, установленных на соответствующих горизонтах, и двух реек, одна из которых устанавливается на репере исходного горизонта, а другая – на определяемом репере (рис. 6).

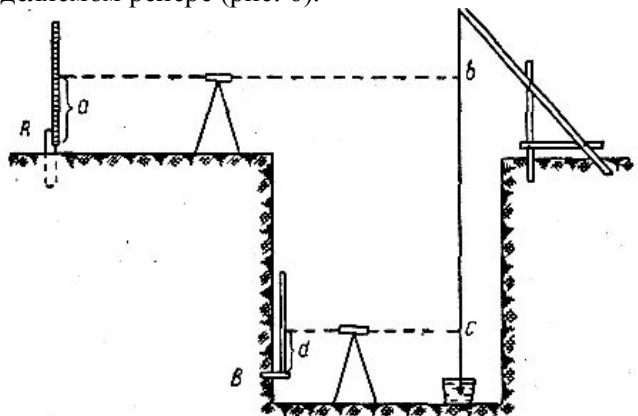


Рис. 6. Схема передачи отметки на дно котлована

Высотная разбивочная сеть каждого монтажного горизонта должна иметь не менее двух реперов, отметки которых определяют нивелирным ходом, как минимум, от двух реперов исходного горизонта. Нивелирные ходы на более высокие этажи прокладывают по лестничным маршам, а в котлованы – по пологим съездам для транспорта (пандусам).

Геометрической основой инженерного сооружения являются разбивочные оси и монтажные горизонты, относительно которых даются в проекте размеры его частей и отдельных конструкций. При строительстве промышленных и гражданских сооружений исходными осями являются оси внешних стен, т. е. основные (габаритные) оси. При строительстве линейных сооружений (дорог, трубопроводов и т. п.) такими осями являются продольные оси, т. е. главные оси, или трасса, а при строительстве отдельных или специальных сооружений (башен, труб и т. п.) – оси симметрии (тоже главные оси).

Исходные (главные и основные) оси выносят в натуру от пунктов геодезической основы, а для выноса монтажных горизонтов создают высотную основу (сеть) соответствующей точности.

Отметки монтажных горизонтов в проектах задаются от условной плоскости – уровня чистого пола первого этажа (строительного нуля): со знаком плюс вверх и со знаком минус вниз. Для каждого сооружения строительный нуль имеет определенную абсолютную отметку. На промышленных площадках и крупных объектах гражданского строительства разбивку исходных осей выполняют от пунктов строительной сетки способом прямоугольных координат. Для этого определяют разность абсцисс Δ_x и ординат Δ_y выносимых точек основного контура сооружения и ближайших пунктов строительной сетки. Вычисленные отрезки Δ_x и Δ_y строят на сторонах сетки.

Пример: На рис. 7 разность координат для точки А1: $\Delta_x = 692,00 - 600,00 = 92,00$ м; $\Delta_y = 476,00 - 400,00 = 76,00$ м.

Установив теодолит над пунктом № 3, наводят пересечение нитей зрительной трубы на пункт № 8 и вдоль визирной оси откладывают отрезок 76,00 м. Потом переносят теодолит в найденную точку, строят прямой угол и вдоль полученного направления откладывают отрезок 92,00 м, конечная точка которого является искомой точкой А1.

Аналогично находят на местности другие точки контура сооружения от пунктов № 4, № 7 и № 8. Для контроля разбивки измеряют стороны контура сооружения, а при возможности и его диагонали, и сравнивают полученные результаты с проектными значениями.

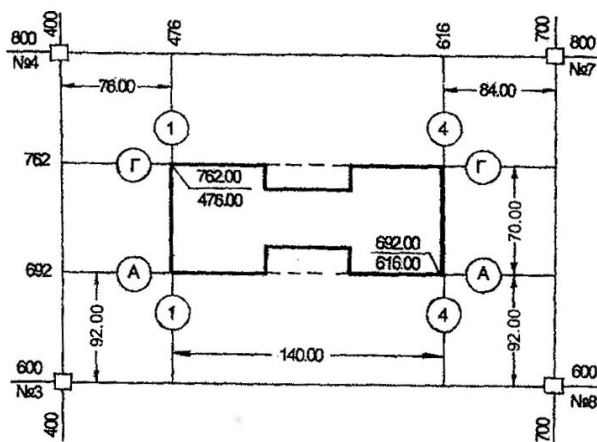


Рис. 7. Схема разбивки исходных осей способом прямоугольных координат

Основные разбивочные работы завершаются закреплением осей специальными постоянными знаками, расположенными на продолжении осей за пределами земляных работ (выносками), в таких местах, где обеспечивается их наилучшая сохранность (рис. 8).

Главные оси закрепляют четырьмя знаками – по два знака с каждой стороны сооружения (рис.8, б).

Основные и промежуточные оси закрепляются двумя знаками – по одному с каждой стороны сооружения (рис. 8, а, б).

В качестве постоянных знаков применяют специальные железобетонные конструкции, обрезки рельсов, труб, арматуры и т. п. Их устанавливают в грунт ниже глубины промерзания и бетонируют.

Для временного закрепления используют деревянные колья, металлические штыри и обрезки труб.

В сочетании с грунтовыми знаками применяют цветные от-
краски продолжения осей на постоянных зданиях и сооруже-
ниях (рис. 8, *a*).

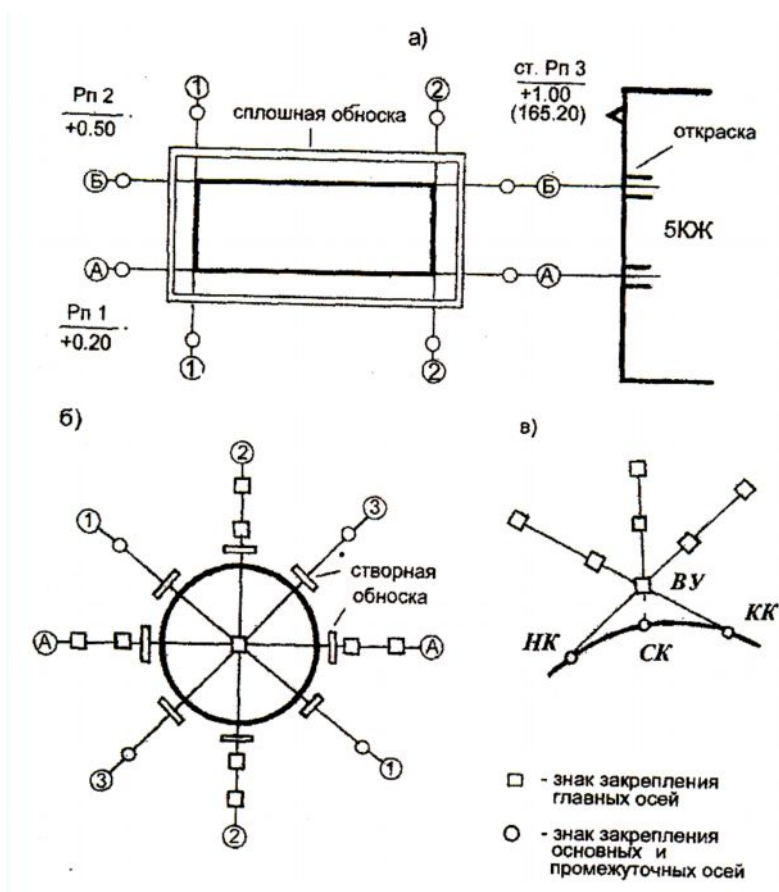


Рис. 8. Схема закрепления осей: а) основных;
б) главных и промежуточных; в) линейных сооружений на закруглениях

Линейные сооружения на закруглениях следует закреплять в их главных точках: начале (НК), середине (СК), конце (КК). Вершины углов закрепляются с внешней стороны закругления несколькими способами в зависимости от условий на повороте: по два знака на продолжении осей; два знака по биссектрисе или по любому другому направлению (рис. 8, в).

Для обеспечения дальнейших разбивочных работ основные оси переносят внутрь зданий. Оси внутри здания закрепляют на противоположных стенах скобами с насечками, кернами на металлических пластинах, специальными знаками. Часто оси внутри зданий закрепляют забетонированными в фундаменты или перекрытия знаками, над которыми возможна установка теодолита.

Внутрь здания переносят также высотные знаки – реперы, которые закрепляют надежными знаками в удобных местах или совмещают с плановыми знаками.

Детальные разбивочные работы выполняют по рабочим чертежам в соответствии со стадиями строительно-монтажных работ: разбивка котлована и траншей под фундаменты, монтаж фундаментов и подвальной части сооружения; прокладка сетей инженерных коммуникаций; возведение надземной части сооружения; монтаж строительных конструкций и оборудования.

Точность детальных разбивочных работ задается СНиП и приводится ниже в табл. 2.

Таблица 2

Точность детальных разбивочных работ

Вид детальных работ	Ср. кв. погрешность
1. Земляные сооружения, см:	
– разбивка осей и бровок	2–3
– вынос проектных высот	1
2. Бетонные и железобетонные сооружения, мм:	
– разбивка осей и контуров фундаментов	3–5
– разбивка центров опор, осей колонн, осей закладных частей	2–3
– передача проектных высот на фундаменты	3–4
– передача проектных высот на опорные плоскости строительных конструкций и оборудования	1–2
3. Монтаж строительных конструкций и оборудования, мм:	
– плановая и высотная выверка строительных конструкций	2–3
– плановая и высотная выверка типового оборудования	1–2
– плановая и высотная выверка уникального оборудования	0,5–0,05

Котлован (рис. 9) – искусственное углубление в земной поверхности, предназначенное для возведения фундамента и подземной части сооружения. В поперечном сечении котлован представляет собой трапеции, нижние основания которых образуют дно (нижний контур), верхние – бровку (верхний контур), а боковые стороны являются откосами с уклоном $1:m$, зависящим от вида грунта и проектной глубины h .

Детальные работы начинаются с разбивки котлованов. Разбивка выполняется в соответствии с рабочим чертежом, на котором указываются главные и основные оси сооружения, глубина котлована и размеры фундамента. В состав геодезических работ при устройстве котлована входят:

- вынос нижнего контура котлована;
- вынос верхнего (внешнего) контура котлована;
- нивелирование внешнего контура котлована по квадратам;
- периодические исполнительные съемки котлована в процессе выемки грунта;
- зачистка дна и откосов котлована;
- исполнительная съемка котлована.

Вынос нижнего контура котлована выполняют от основных осей сооружения, предварительно вынесенных на обноску. Для этого через гвозди, закрепляющие основные оси на обноске, натягивают капроновые нити или тонкую проволоку, точки их пересечения проектируют на землю отвесом и обозначают кольями (рис. 9).

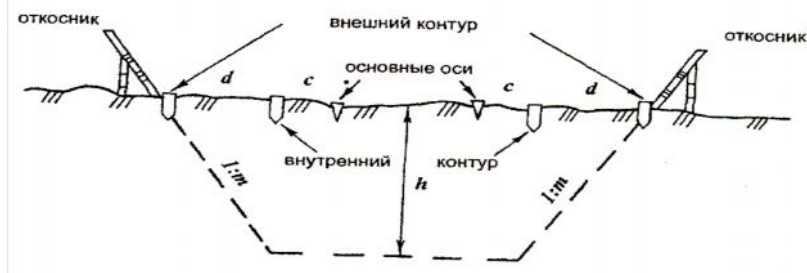


Рис. 9. Схема разбивки котлована

Затем вдоль продольных и поперечных осей откладывают отрезки c , равные половине ширины фундамента плюс 0,5–1 м для пазухи (расстояние от откоса до боковой наружной грани фундамента), в результате чего получают нижний контур котлована, который окончательно закрепляется кольями или металлическими штырями с выносами за пределы земляных работ.

Вынос верхнего контура котлована и его закрепление кольями выполняют от внутреннего контура отложением отрезка d , величину которого вычисляют по глубине котлована h и уклону откоса i :

$$i = \operatorname{tg} \nu = \frac{h}{d} = \frac{1}{m}. \quad (1)$$

Так как в процессе земляных работ колья будут уничтожены, то внешний контур привязывают к выносам нижнего контура.

Нивелирование внешнего контура котлована по квадратам со стороной 5–10 м выполняют до начала выемки грунта. По результатам нивелирования определяют среднюю глубину выемки грунта в каждом квадрате $h_{\text{кв}}^{\text{cp}}$ как разность средней отметки квадрата и проектной отметки дна котлована, по которой подсчитывается объем земляных работ в квадрате. Общий объем земляных работ будет равен сумме объемов работ в квадратах контура котлована, т. е.

$$V = \sum S_{\text{кв}} \times h_{\text{кв}}^{\text{cp}}. \quad (2)$$

Периодические исполнительные съемки выполняют с целью вычисления текущих объемов земляных работ, а также контроля за выемкой грунта, чтобы не допустить его излишней выемки и не нарушить естественный грунт, который служит опорой (основанием) фундамента на проектной отметке дна. Для этого выемку грунта заканчивают с недобором 10–20 см до проектной отметки дна котлована. Оставшийся грунт выбирают вручную или планировочными машинами, т. е. выполняют зачистку дна.

Зачистка дна с необходимой точностью выполняется по кольям, которые предварительно устанавливают на проектную высоту по всей площади котлована через 5–10 м друг от друга в вырытых для этого углублениях.

Если котлован неглубокий (до 2 м), то установку кольев на проектную высоту выполняют от ближайшего репера. Если котлован *глубокий*, то отметку передают на временный репер, установленный на откосе или дне котлована. Нивелирный ход на дно котлована прокладывают по пологим въездам в котлован (пандусам) или откосам. При крутых откосах, когда установка нивелира на них невозможна, отметку вниз на временный (рабочий) репер передают с исходного репера с помощью двух нивелиров и подвешенной компарированной рулетки. Ошибка передачи высоты не должна превышать 1 см. От временного репера устанавливают торцы кольев на проектную отметку.

Отметку на дно глубокого котлована с точностью 1–2 см можно передать с помощью теодолита, у которого предварительно определено место нуля (*МО*) вертикального круга, в таком порядке (рис. 10):

- устанавливают теодолит в рабочее положение на бровке котлована, а на исходном и рабочем реперах – рейки;

- приводят вертикальный круг в основное положение (отсчеты по вертикальному кругу должны быть меньше 90° и положительными, если объектив зрительной трубы приподнят);

- устанавливают на вертикальном круге *МО* (визирная ось зрительной трубы займет горизонтальное положение) и берут отсчет средней нитью по рейке, установленной на исходном репере, $Z_{\text{исх.}}$;

- наводят зрительную трубу на рейку, установленную на

рабочем репере, определяют наклонное расстояние по нитяному дальномеру D_q , после чего устанавливают среднюю нить на удобное деление рейки V (обычно кратное 1 м) и берут отсчет по вертикальному кругу BK , который в случае *круговой* оцифровки переводят в *малый отсчет* BK_M (меньший 90°) вычитанием 180° один или два раза;

– вычисляют угол наклона визирной оси $v=BK_M-MO$, причем MO берется со своим знаком в *малых отсчетах*;

– вычисляют превышение h_e конца визирной оси над ее началом:

$$h_b = \frac{D_q}{2} \cdot \sin 2v . \quad (3)$$

причем $h_b < 0$;

– вычисляют отметку рабочего репера по формуле

$$h_{ep} = H_{исх} + 3_{исх} - V + h_b, \quad (4)$$

где h_b берется со своим знаком;

– определяют отметку рабочего репера второй раз аналогично, изменив высоту теодолита или наведения V на рейке.

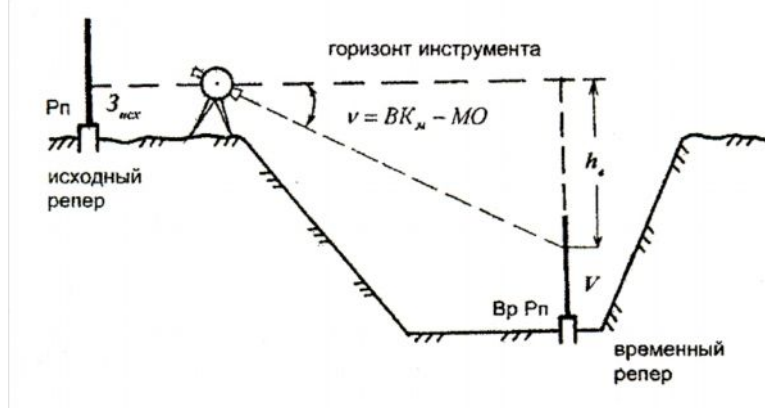


Рис. 10. Схема передачи высоты на дно котлована теодолитом

Зачистка откосов котлована выполняется с помощью установленных по внешнему его контуру специально изготовленных откосников (рис. 9). Откосник представляет собой прямоугольный треугольник, катеты которого находятся в отношении 1 (высота h) к m (горизонтальные проложения d), а гипотенуза задает проектный уклон.

Исполнительная съемка котлована выполняется от основ-

ных осей, которые переносят на дно котлована после его окончательной зачистки. Для этого внешний и внутренний контуры привязывают к основным осям сооружения, а также выполняют нивелирование дна по квадратам со стороной 3–5 м. По результатам съемки составляют исполнительный чертеж котлована. На чертеже указывают: расстояние от контуров котлована (нижнего и верхнего) до основных осей сооружения; отметки поверхности внешнего контура до начала выемки грунта; исполнительные отметки и проектную отметку дна котлована. Отклонения исполнительных отметок должны быть не более 2–3 см.

Геодезические измерения при устройстве котлованов должны выполняться с погрешностью не более: линейные – 3 см; угловые – 30"; высотные – 1 см; определение объемов работ – 5%.

1.3. Расчёты точности производства строительно-монтажных и геодезических работ. Контроль точности геометрических параметров

На положение конструкции в сборном строительстве влияют *три независимых фактора*, которыми и определяется его суммарная погрешность m : точность m_u изготовления конструкции; точность m_z , разбивочных геодезических работ, точность m_m строительно-монтажных работ, т. е.

$$m^2 = m_u^2 + m_z^2 + m_m^2. \quad (5)$$

Допустимая средняя квадратическая погрешность при контроле геометрических параметров сборных конструкций не должна превышать 0,15 величины допускаемого отклонения для данного параметра.

Процесс возведения зданий и сооружений также сопровождается контрольными геодезическими измерениями. *Геодезический контроль точности параметров сооружения* заключается в определении фактического положения конструкций в плане, по высоте и относительно вертикали как на стадии временного

закрепления, так и после их окончательного закрепления.

Точность изготовления строительных элементов, *точность* геодезических разбивочных и строительных работ нормируется государственными стандартами, которыми предусматривается *контроль* пяти *основных показателей*.

– Неравенство длин опирания монтируемого элемента на уже смонтированный.

– Несовмещение ориентиров при установке низа элемента. *Например*, при установке сборных колонн одна на другую это будет погрешность несовмещения низа монтируемой колонны с верхом ранее установленной.

– Герметичность швов между наружными стеновыми панелями и сборными конструкциями. Отклонение в размере шва от проектного допускается не более 10 мм.

– Несовпадение поверхностей монтируемых элементов. *Например*, панели перекрытия должны иметь одинаковую отметку, т. е. их поверхности должны совпадать.

– Вертикальность устанавливаемых элементов, возводимых отвесно (стены, колонны, ограждения и т. п.).

К ним также относится система геометрической точности в строительстве, которая содержит правила: расчета точности строительно-монтажных работ; контроля точности геометрических параметров строительных элементов (конструкций, изделий и т. п.); контроля точности выполнения разбивочных работ в процессе строительства.

Контроль точности изготовления поставляемых на монтаж изделий осуществляется выборками малого объема.

При контроле точности геодезических построений (осей, отметок, ориентиров и т. п.) выполняются 5–10 измерений.

При контроле точности монтажа выполняются не менее 240 измерений.

Контролировать следует точность только тех элементов, узлов и конструкций, от положения которых зависят их несущая и ограждающая способности, а также точность монтажа (укладки) на последующих этапах работ.

Средняя квадратическая погрешность контрольного изме-

рения m и допустимое отклонение σ контролируемого параметра находятся в следующей зависимости:

$$m \leq 2\sigma . \quad (6)$$

При этом цена наименьшего деления шкалы отсчетного устройства средств измерений должна составлять $0,1$ от допуска контролируемого параметра.

Геометрической основой контрольных измерений при установке конструкций в проектное положение являются знаки разбивочной сети здания (сооружения), разбивочные оси и параллельные им линии, установочные риски на боковых гранях конструкций, реперы, марки, маяки.

Плановым геодезическим контролем проверяется фактическое положение продольных и поперечных осей или граней конструкций относительно разбивочных осей или параллельных им линий.

Высотным геодезическим контролем проверяется положение монтируемых конструкций относительно вертикальной или наклонной линии.

Фактическое положение элементов, узлов и конструкций в плане, по высоте, их вертикальность, соосность, горизонтальность, уклон, совмещение плоскостей, размеры швов, зазоров или уступов, расположение закладных элементов, отверстий, ниш или штраб должны определяться на всех этапах геодезической службой строительной или специальной организации.

При контроле сопоставляют измеренные величины с проектными размерами и отметками, а вычисленные отклонения – с величинами допусков, установленных в СНиПах и проектах.

Геодезический контроль положения конструкций зданий и сооружений в плане выполняется, как правило, непосредственными измерениями расстояний между осями, установочными или монтажными рисками, а также гранями (плоскостями) монтируемых деталей с помощью эталонированных мерных приборов или специальных шаблонов.

Контроль точности производства земляных работ выпол-

няется в плане и по высоте. Объемы контроля *в плане* составляют не менее 10 % от числа точек, выносимых при разбивке возводимого сооружения (вершин квадратов картограммы, габаритов котлованов, углов поворота траншей и т. п.).

При контроле земляных оснований под фундаменты, зачищаемых вручную, выполняют сплошные измерения. *Высотное положение точек* определяют геометрическим или тригонометрическим нивелированием.

Контроль точности устройства фундаментов выполняется в плановом и высотном положениях. *В плане* проверяют расстояния между осями (фундаментами), места пересечения несущих стен, оснований закладных деталей и анкерных болтов (5 % от общего объема устанавливаемых фундаментов). Проверку выполняют измерением расстояний от ранее вынесенных ориентиров до геометрических осей фундаментов и вычислением допущенных отклонений от проектных значений. *По высоте* контролируют одну отметку на 100 м² проверяемого участка.

Контроль точности монтажа надземной части зданий или сооружений выполняется в плане и по высоте. *В плане* измеряют расстояния между смонтированными элементами и вычисляют допущенные отклонения от их проектного положения, используя привязки и расстояния между осями.

Вертикальность колонн высотой до 3 м определяют *ответом*, а при больших высотах применяют *точные теодолиты* или *лазерные приборы*. При *выверке колонн* определяют: смещение колонны в нижнем сечении относительно разбивочных осей; отклонение осей колонн от вертикали; высотное положение колонн. Для нивелирования консолей невысоких колонн (до 5–6 м) применяют уголки, надежно скрепленные с рейкой.

Вертикальность колонн целесообразно определять *боковым нивелированием* с помощью теодолита, установленного на линии, параллельной оси колонн, и легкой рейки, прикладываемой горизонтально к нижней и верхней рискам каждой колонны. По результатам бокового нивелирования вычисляют *величины смещения низа колонн с оси ряда* (как разность нижнего отсчета по горизонтальной рейке и величины смещения теодолита с разби-

вочной оси) и величину отклонения оголовка колонны от вертикали (как разность нижнего и верхнего отсчетов по горизонтальной рейке).

Высотное положение элементов монтажного горизонта (панелей перекрытий, верхних торцов наружных и внутренних панелей, лестничных площадок, лифтовых шахт) определяют геометрическим нивелированием.

На монтажном горизонте нивелируют все опорные площадки под установку последующих элементов. *Рейку устанавливают* на четырех углах панелей перекрытий, на выступах наружных панелей, на верхний торец объемных элементов лифтовых шахт. Нивелирование точек элементов монтажного горизонта выполняется от рабочих реперов со средней квадратической погрешностью не более 2 мм.

Местоположение лифтовых шахт определяют промерами от монтажных рисок или разбивочных осей. В процессе строительства шахты *контролируют* ее внутренние размеры и вертикальность ствола. *Размеры диагоналей* проверяют стальной рулеткой, *вертикальность* – с помощью отвеса, оптических центриров или лазерных приборов вертикального проектирования.

Прямолинейность поясов стропильных и подстропильных ферм контролируют натяжением шнура или проволоки между опорными узлами, а *вертикальность плоскости ферм* – отвесом.

При возведении кирпичных и блочных зданий контролируют *вертикальность* стен в пределах двух этажей *отвесом*, а при более высоких стенах применяют *отвес на блоке*. От нити отвеса перпендикулярами определяют расстояния до стены в наиболее характерных точках или через равные промежутки. Постоянство этих расстояний указывает на вертикальность стены.

Горизонтальность рядов кладки контролируют порядовками, размеченными на толщину кирпича или блока и растворного шва. Между порядовками натягивают шнур, который показывает линию кладки.

Вертикальность поверхности и углов кладки, горизонтальность ее рядов проверяются не реже двух раз на 1 м высоты кладки.

По окончании кладки каждого этажа проверяют геометри-

ческим нивелированием через 5–6 м соответствие его горизонта проектному.

Толщину возводимых кирпичных стен контролируют рейкой-шаблоном с вырезом соответствующего размера.

Контроль планового положения стен выполняется промерами от их продольных и поперечных разбивочных осей.

Инженерное сооружение состоит из отдельных взаимосвязанных строительных конструкций и деталей, проектные размеры которых указываются в рабочих чертежах. Эти размеры являются *взаимозависимыми*, т. к. изменение любого из них влияет на другие размеры. Совокупность взаимосвязанных размеров (линейных, угловых или тех и других вместе) отдельных частей сооружения, образующих замкнутый контур, называется *размерной цепью* (рис. 11).

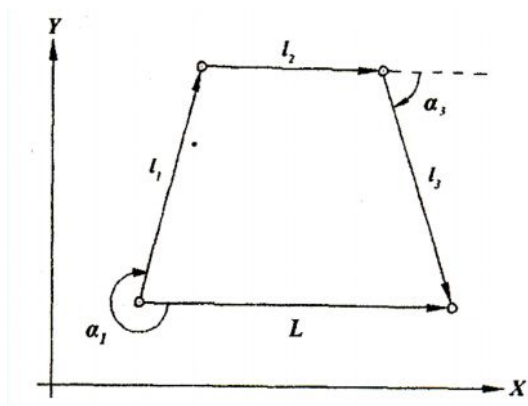


Рис. 11. Размерная цепь

Каждый размер называется *звеном* размерной цепи. В размерной цепи обязательно имеется одно *результатирующее* звено (*исходное* или *замыкающее*) и несколько *составляющих* звеньев.

Исходным называется звено, размер которого строго определен (задан, фиксирован). Размеры *составляющих* звеньев, влияющих на размер исходного звена, в этом случае *рассчитывают*.

Замыкающим в размерной цепи является звено, размер которого при сборке отдельного замкнутого контура сооружения не задается, а получается в результате реализации отдельных звеньев.

Исходное или замыкающее звено в размерной цепи образует кратчайший путь в контуре (между поверхностями, гранями, ребрами, осями и других конструкций), а *составляющие звенья* – наиболее длинный, косвенный, «кружной» путь.

Аналитическая связь между размерами называется *уравнением размерной цепи*. В общем виде уравнение размерной цепи имеет вид

$$L = f(l_1, l_2, l_3, \dots, l_n), \quad (7)$$

где L – замыкающее звено, $l_1, l_2, l_3, \dots, l_n$ – составляющие звенья.

Составляющие звенья рассматриваются как случайные величины – векторы, и по уравнению размерной цепи определяют закон распределения замыкающего звена.

Пример. Для цепи векторов l на рис. 56 уравнение размерной цепи

$$L = \bar{l}_1 + \bar{l}_2 + \bar{l}_3$$

или в общем виде

$$\bar{L} = \sum \bar{l} \quad (8)$$

Надобность в составлении уравнения размерной цепи возникает в тех случаях, когда необходимо обеспечить заданную точность взаимного положения двух частей в контуре (конструкций или деталей) не непосредственно, а *через другие размеры* (конструкции, детали).

В зависимости от расположения звеньев размерные цепи могут быть линейными, плоскими и пространственными.

В линейной размерной цепи все звенья лежат в одной плоскости и образуют прямые линии или параллельны между собой (например, блоки сборного фундамента, панели каждой из стен панельного здания, пролеты сборного моста и др.).

В плоской размерной цепи все звенья лежат в одной или па-

параллельных плоскостях, но часть размеров расположена под углом друг к другу (например, две колонны на перекрытии и ригель, уложенный на их консоли).

В пространственной размерной цепи все звенья расположены в непараллельных плоскостях (например, сборные криволинейные поверхности: покрытия куполов, автодорог на поворотах, арки и др.).

Расчет линейных размерных цепей является наиболее простым, поэтому плоские и пространственные размерные цепи преобразуют в линейные, для чего их звенья проектируют на координатные оси целесообразно выбранной прямоугольной системы координат X, Y, Z , одна из которых (обычно X) параллельна направлению исходного или замыкающего звена.

Пример. Если направление оси X выбрать параллельным замыкающему звену L (рис. 11), то проекции плоской размерной цепи на координатные оси X и Y будут линейными размерными цепями и иметь вид:

$$l_1 \cos \alpha_1 + l_1 + l_3 \cos \alpha_3 = L - \text{уравнение размерной цепи на оси } X;$$

$$l_1 \sin \alpha_1 + l_3 \sin \alpha_3 = 0 - \text{уравнение размерной цепи на оси } Y,$$

где α – дирекционные углы составляющих звеньев размерной цепи.

В общем виде пространственная размерная цепь характеризуется тремя линейными уравнениями, полученными ее проектированием на координатные оси X, Y, Z :

$$\left. \begin{aligned} L_x &= \sum_{i=1}^n l_{ix} \\ L_y &= \sum_{i=1}^n l_{iy} \\ L_z &= \sum_{i=1}^n l_{iz} \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

При расчетах необходимо убедиться, что L не выходит за пределы заданного (установленного) допуска.

В строительстве преобладают *прямые углы* между элементами конструкций и расчет размерных цепей значительно упрощается.

Инженерное сооружение не может быть построено абсолютно точно. Его геометрические параметры всегда отклоняются от проектных (абстрактных, номинальных) ввиду неизбежных ошибок, возникающих: при изготовлении строительных конструкций, выполнении разбивочных работ, производстве строительно-монтажных работ, в результате изменения размеров строительных конструкций из-за различных воздействий (сжимающих, растягивающих, изгибающих, вибрационных, температурных и т. п.). Чтобы устранить накопившиеся в реальной цепи погрешности, предусматривают в строительных конструкциях специальные *компенсаторы* – нематериальные звенья: зазоры, швы между звеньями, площадки опирания одного элемента на другой.

В размерную цепь *включают* не только размеры сопрягаемых конструкций, но и *размеры компенсаторов*.

В большинстве случаев размерные цепи заменяют *цепями погрешностей*, т. е. цепями отклонений их элементов от проектных размеров и положений или *цепями* соответствующих *допусков*.

В строительстве различают следующие *допуски* – технологические Δ_T , которые определяют допустимые отклонения в размерах изделий в процессе их изготовления и сборки; функциональные Δ_F , которые характеризуют точность функционирования геометрических параметров изделия в сборном устройстве (на участке).

Функциональные допуски не отражаются в нормативных документах (ГОСТах и СНиПах) как *технологические*, а *вычисляются* как допуски замыкающего звена размерных цепей.

Составляющие реальную размерную цепь элементы имеют погрешности, что вызывает погрешность в замыкающем размере. Зависимость между погрешностями в размерной цепи аналогична зависимости между ее размерами, и она называется *уравнением погрешностей* размерной цепи.

При расчетах точности используются средние квадрати-

ческие (стандартные) погрешности m . Согласно теории погрешностей, средняя квадратическая погрешность m_L замыкающего звена и средние квадратические погрешности m_l составляющих звеньев линейной цепи связаны соотношением

$$m_L^2 = \sum m_l^2, \quad (10)$$

которое является *уравнением погрешностей* линейной цепи.

Все расчеты выполняются *независимо* (раздельно) для каждой из проекций цепи погрешностей на координатные оси, т. к. при монтажных работах выверка конструкций выполняется независимо по продольным, поперечным и вертикальным направлениям (по высоте). Кроме того, большинство сборных элементов находится в одной плоскости, что значительно упрощает расчет.

Цепи погрешностей удобнее размерных цепей, т. к. *независимы* от проектных размеров составляющих звеньев.

Если уравнение размерной цепи имеет нелинейный вид, то его *приводят* к линейному разложению функции $f(l)$ в ряд Тейлора.

При расчете точности строительных конструкций возникают задачи *двух видов*: прямая и обратная.

Прямая задача заключается в том, что *по заданным* производственным процессом *условиям точности* (точности изготовления строительных изделий; точности разбивочных работ; последовательности монтажа и т. д.) *рассчитывается допуск замыкающего звена*. Такая задача возникает: при необходимости проверки правильности назначения размеров и допусков на геометрические параметры или на допуски разбивочных работ; при изменении изготовительных допусков в результате износа или замены функционирующей оснастки; при изменении технологии строительно-монтажных работ и в других случаях. Поэтому прямая задача называется *проверочным расчетом*.

Обратная задача заключается в том, что *по известному функциональному допуску замыкающего или исходного звена определяют допуски составляющих звеньев* и соответствующим образом подбирают условия (технологию) производственного

процесса (точность изготовления деталей; точность выполнения разбивочных работ; последовательность сборки и т. д.), т. е. *исходным* параметром для решения обратной задачи является *допуск замыкающего звена*. Обратная задача возникает: при проектировании сооружений, разработке технологии изготовления строительных изделий и последовательности сборки зданий, проектировании технологической оснастки и т. д. Поэтому обратную задачу называют *проектной задачей расчета точности*. (в машиностроении, приборостроении и других областях техники прямую и обратную задачи называют наоборот).

Кроме определения допусков *при расчетах точности* строительных конструкций могут быть решены и *другие вопросы*: определение оптимальных проектных размеров изделий по фактическим допускам изготовления составляющих элементов и допуску замыкающего звена; выбор оптимальной последовательности сборки зданий, наилучшим образом удовлетворяющей функциональным допускам; выбор мест расположения компенсаторов погрешностей и определение пределов регулирования в них конструкций.

Расчет размерных цепей возможен *двумя путями*, причем надежность получаемых при этом результатов будет неодинаковой.

В первом случае расчет выполняется с предельными (максимальными и минимальными) значениями размеров составляющих звеньев, в результате чего получают аналогичные размеры замыкающего или исходного звена. Такой расчет получил название *«расчет на максимум–минимум»*. Он исключает выход размеров исходного или замыкающего звена за установленные предельные размеры, что удовлетворяет условию *полной взаимозаменяемости конструкций*, т. е. бесподгоночной сборке сооружений.

Во втором случае допускается выход размеров исходного или замыкающего звена за расчетные пределы, что будет означать *нарушение взаимозаменяемости*, которое можно заранее предусмотреть выбором соответствующего значения коэффициента нормирования t , определяющего предельные значения функционального допуска $\Delta_{\text{ф}}$ по заданному значению стандарта

σ (при самых нестрогих требованиях к точности $t=3$ и $\Delta_{\phi}=3^{\circ}$). Такой расчет получил название «вероятностный», или «статистический расчет».

Сравнение обоих способов расчета строительных конструкций показывает, что *расчет на максимум–минимум* приводит к большому, не всегда оправданному запасу точности, в то время как *вероятностный расчет* позволяет определять допуски без лишних запасов. Поэтому необходимо все расчеты точности строительных конструкций выполнять преимущественно *вероятностным* способом.

Расчет на максимум–минимум отличается наглядностью, простотой и надежностью. Он применяется: при расчетах уникальных сооружений; в случаях ограниченного числа звеньев размерной цепи (3–4 звена); при неизвестном законе распределения размеров составляющих звеньев; в тех случаях, когда результаты расчета точности не приводят к удорожанию изготовления конструкции и их монтажа.

Размерные цепи и цепи погрешностей в *сборном строительстве* называются *расчетными участками*.

1.4. Порядок расчёта точности геометрических параметров

В зависимости от способа монтажа конструкций сборных сооружений различают размерные цепи следующих видов: контактные, свободные, с неограниченным линейным компенсатором.

Контактными называются размерные цепи, в которых монтаж элементов (размеров) выполняется последовательно вплотную один к другому. Такими являются размерные цепи сборных мостов, фундаментов, панельных зданий и др. *Замыкающим* размером в контактных размерных цепях является *общий размер* (рис. 12) (*поверочный расчет*: определение размера замыкающего звена по заданным размерам составляющих звеньев; *проектный расчет*: определение размеров составляющих звеньев по заданному размеру замыкающего звена).

Уравнение размерной цепи имеет вид

$$L = l_1 + l_1 + l_1 \dots + l_n = \sum_i^n l_i . \quad (11)$$

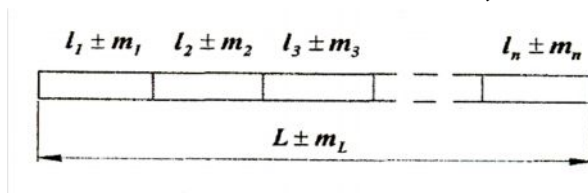


Рис. 12. Контактная размерная цепь

Каждый из составляющих размеров содержит две средние квадратические погрешности: изготовления m_u и монтажа m_m . Тогда уравнение погрешностей будет иметь вид

$$m_L^2 = \sum m_u^2 + \sum m_m^2 . \quad (12)$$

Если все составляющие звенья имеют одинаковый размер и одинаковые средние квадратические погрешности изготовления m_u и монтаж звеньев выполняется с одинаковой погрешностью m_m , то согласно теории погрешностей,

$$m_L^2 = m_u^2 \cdot n + m_m^2 \cdot n = n(m_u^2 + m_m^2) . \quad (13)$$

Тогда

$$m_L = \sqrt{n(m_u^2 + m_m^2)} . \quad (14)$$

Если $m_u = m_m = m$, то

$$m_L = m\sqrt{2n} . \quad (15)$$

Полученное соотношение показывает, что с увеличением числа составляющих звеньев довольно резко увеличивается погрешность замыкающего звена, т. е. происходит быстрое накопление погрешностей.

Пример. Определить среднюю квадратическую погрешность замыкающего звена из 8-ми фундаментных блоков, если средняя квадратическая погрешность изготовления и монтажа блоков составляет ± 6 мм,

Так как $n = 8$, а $m_u = m_m = \pm 6$ мм, то

$$m_L = m \sqrt{2n} = \pm 6 \sqrt{2 \cdot 8} = \pm 6 \sqrt{16} = \pm 24 \text{ мм},$$

т. е. средняя квадратическая погрешность в положении восьмого фундаментного блока составляет ± 24 мм.

Свободными называются цепи, в которых погрешности накапливаются на участке, ограниченном разбивочными осями.

Пример. При монтаже колонн высотой h^1 и h^2 (границы колонн находятся на расстояниях a_1 и a_2 от разбивочных осей 1 и 2) и ригеля длиной l_2 (рис. 13) накопление погрешностей происходит на участке между разбивочными осями 1 и 2, которые получены отложением на перекрытии этажа отрезка l_1 . Ригель длиной l_2 укладывают на консоли колонн с зазорами c^1 и c^2 (обычно равными), которые являются *компенсаторами погрешностей*, накопившихся на участке 1–2.

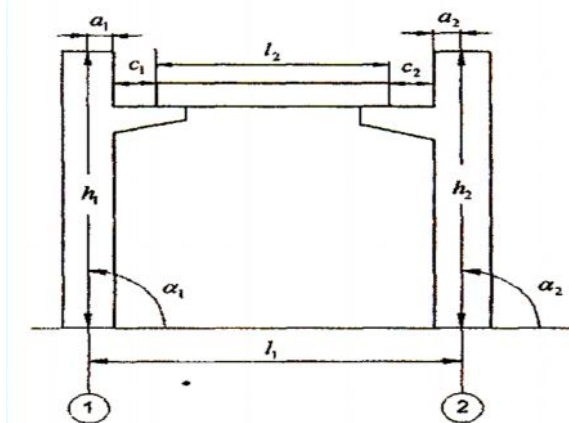


Рис. 13. Свободная размерная цепь

При расчете точности свободных размерных цепей замыкающим звеном выбирают компенсатор и на направление компенсатора проектируют все размеры цепи. Так, уравнение размерной цепи на оси X, которая выбрана параллельной направлению компенсатора c_1 c_2 , будет иметь вид

$$h_1 \cos \alpha_1 + a_1 + c_1 + l_1 + c_2 + a_2 + h_2 \cos \alpha_2 - l_1 = 0. \quad (16)$$

Для компенсатора с, $+c_2$ уравнение размерной цепи имеет вид

$$c_1 + c_2 = l_1 - h_1 \cos \alpha_1 - h_2 \cos \alpha_2 - a_1 - a_2 - l_2. \quad (17)$$

Уравнение погрешностей получается, если размер каждого звена цепи заменить суммой квадратов его средних квадратических погрешностей. Средние квадратические погрешности звеньев цепи:

- зазоров c_1 и c_2 (замыкающих размеров) m_1 и m_2 и их можно взять равными друг другу, т. е. $m_1 = m_2 = m_l$;
- размера l_1 (расстояния, между разбивочными осями 1 и 2) – это погрешность разбивки осей $m_{p.o.}$;
- $h_1 \cos \alpha_1$ и $h_2 \cos \alpha_2$ – это равные между собой погрешности монтажа колонн 1 и 2: в нижнем сечении $m_{н.к.}$; установки колонн в вертикальной плоскости $m_{вк.}$;
- половины ширины колонн a_1 и a_2 – это половина погрешности изготовления колонн, и их можно взять одинаковыми и равными $0,5 m_{ук.}$;
- размера l_2 (погрешность ригеля) – это погрешность изготовления ригеля $m_{ур}$ и его монтажа $m_{мр.}$.

Тогда уравнение погрешностей будет иметь вид

$$m_c^2 + m_c^2 = m_{p.o.}^2 + m_{н.к.}^2 + m_{н.к.}^2 + m_{вк.}^2 + 0,5^2 m_{ук.}^2 + 0,5^2 m_{ук.}^2 + m_{ур}^2 + m_{мр.}^2$$

или после некоторых преобразований

$$2 m_c^2 = m_{p.o.}^2 + 2 m_{н.к.}^2 + 2 m_{вк.}^2 + 0,5^2 m_{ук.}^2 + m_{ур}^2 + m_{мр.}^2 \quad (18)$$

Размерная цепь с неограниченным линейным компенсатором – это пространственная цепь, в которой замыкающее звено изготавливают по размеру, полученному после монтажа остальных элементов цепи.

На рис. 14, а показана такая цепь.

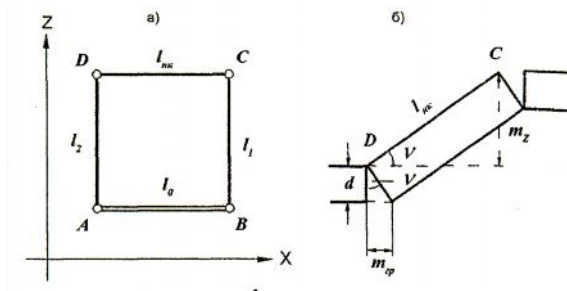


Рис. 14. Размерная цепь с неограниченным линейным компенсатором:
а – схема цепи; б – смещение граней сборных элементов в цепи

В ней неограниченным компенсатором является размер $l_{нк}$, который получен после того, как от фиксированных точек A и B (построенный отрезок l_0) установлены элементы l_1 и l_2 . Элемент $l_{нк}$ изготавливают по месту, и его можно рассматривать как *компенсатор всех погрешностей* в направлении оси X . Поскольку размер $l_{нк}$ ничем не ограничен, то он называется *неограниченным компенсатором* (по оси X).

Вдоль оси Z компенсатора погрешностей нет, хотя в этом направлении действуют следующие погрешности:

$m_h^D = m_h^C = m_h$ – передача высоты в точки D и C с исходного горизонта (взяты одинаковыми);

$m_l^u = m_2^u = m_u$ – изготовления размеров l_1 и l_2 , которые можно принять одинаковыми;

$m_l^m = m_2^m = m_m$ – монтажа элементов l_1 и l_2 , которые также можно принять равными между собой.

Влияние этих погрешностей приведет к смещению от горизонта неограниченного компенсатора $l_{нк}$ (к его развороту на угол ν в вертикальной плоскости) на величину m_z , в результате чего не совпадут *торцевые грани* реальной конструкции неограни-

ченного компенсатора с гранями смежных конструкций на величину m_{zp} (рис. 14, б).

Уравнение погрешностей по определению взаимного смещения точек D и C по оси Z будет иметь вид

$$m_z^2 = m_h^2 + m_h^2 + m_u^2 + m_u^2 + m_m^2 + m_m^2 \quad (19)$$

или

$$m_z^2 = 2m_h^2 + 2m_u^2 + 2m_m^2. \quad (20)$$

Величина смещения граней m_{zp} неограниченного компенсатора шириной d относительно граней смежных конструкций будет равна (рис. 14, б)

$$m_{zp} = d \cdot \operatorname{tg} v.$$

Из того же рисунка следует, что

$$\operatorname{tg} v = \frac{m_z}{l_{nk}}. \quad (21)$$

Тогда

$$m_{zp} = d \cdot \frac{m_z}{l_{nk}}. \quad (22)$$

Величина m_{zp} не должна выходить за пределы установленного допуска и определяет точность разбивочных работ, изготовления и монтажа конструкции.

Одним из важных условий монтажа и высокого качества сборного строительства является *взаимозаменяемость* элементов конструкций, которая означает, что любое изделие может быть использовано при строительстве без дополнительной обработки и подгонки независимо от изготовившего его предприятия (*бесподгоночный монтаж*). Взаимозаменяемость деталей обеспечивается *технологическими допусками* Δ_T , которые даются в нормативных документах.

Собираемостью (*заменяемостью*) размерной цепи называется вероятность того, что при сборке составляющих элементов

замыкающий размер будет установлен без подбора и подгонки предусмотренного размера.

При *нормальном* распределении случайных величин в области, ограниченной ординатами с тройным значением стандарта $\pm 3\sigma$, укладывается 99,73 % всех случайных величин. Следовательно, вероятность того, что отклонение размера выйдет за пределы тройной величины стандартного отклонения, т. е. за пределы $\pm 3\sigma$, будет крайне мала (0,27 %).

Поэтому *величина* 0,9973 принимается в качестве предельной (максимальной) вероятности и называется *вероятностью полной собираемости* $P_{\text{п.с.}}$.

Полной называется собираемость с вероятностью $P_{\text{п.с.}} = 0,9973$.

При сборке на замыкающий размер оказывают влияние погрешности составляющих звеньев (их изготовления и монтажа), которые являются *случайными* и подчиняются нормальному распределению Гаусса.

Нормированной случайной величиной называется ее отношение к стандарту, т. е.

$$t = \frac{\Delta}{\sigma} . \quad (23)$$

В теории вероятностей дается соотношение, с помощью которого вычисляется вероятность P нормированной случайной величины (*интеграл вероятностей Лапласа*)

$$P = \Phi(t) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^t e^{-\frac{1}{2}t^2} dt , \quad (24)$$

где $e = 2,7182$ – основание натурального логарифма; $\pi = 3,1416$.

Для вычисления $\Phi(t)$ составлены специальные таблицы значений интеграла вероятностей. При их отсутствии используется формула

$$P = \Phi(t) = 0,798 \left(t - \frac{t^3}{6} + \frac{t^5}{40} - \frac{t^7}{336} + \frac{t^9}{3456} - \dots \right)$$

Чтобы *вычислить* собираемость размерной цепи, сначала необходимо определить *нормированную* величину t , т. е. отношение допуска Δ замыкающего звена к величине стандартного отклонения σ . По *нормированной* величине t вычисляют *интеграл вероятностей* P и сравнивают его значение с вероятностью *полной собираемости* $P_{n.c.} = 0,9973$. Если $P \leq P_{n.c.}$, то *полной собираемости нет* и необходимо изменить влияние стандартных отклонений σ на соответствующие размеры, т. е. *изменить технологию возведения сооружения*.

Пример. При $t = 2$ $P = 0,9545$, т. е. с такой вероятностью погрешность замыкающего звена не будет превышать по абсолютной величине двойного значения стандарта. В данном случае *полной собираемости размерной цепи нет*, т. к. $P = 0,9545 < 0,9973$.

ГЛАВА 2. ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ И КОНТРОЛЬ ПРИ МОНТАЖЕ ФУНДАМЕНТОВ

Одним из самых важных и ответственных этапов возведения сооружения является устройство фундамента, от качества монтажа которого зависит устойчивость и надежность сооружения, отдельных его конструкций и технологического оборудования.

По конструкции фундаменты подразделяются на сплошные, ленточные, столчатые, свайные, а по способу изготовления – на монолитные и сборные.

2.1. Монтаж монолитных фундаментов

Монтаж опалубки. Для возведения монолитных фундаментов используется *опалубка*, т. е. специальная форма – временное сооружение из тонких деревянных или металлических щитов по внешнему и внутреннему контуру фундамента, заполняемое бетоном. При сооружении фундаментов из железобетона внутри опалубки монтируют *арматурный каркас* (арматура от лат. *armatura* – снаряжение), представляющий собой металлическую сетку или отдельные гибкие стержни. *Разбивку арматурного каркаса* выполняют от основных осей, которые переносят с обноски вниз и закрепляют на дне котлована обычно тоже на обноске, чаще всего створной. Поперечные размеры арматурного каркаса должны быть *меньше* поперечных размеров фундамента для обеспечения *защитного бетонного слоя* толщиной не менее 5 см.

Монтаж опалубки выполняется также от основных осей сооружения. Сначала устанавливают нижние ряды щитов, а потом верхние строго вертикально с помощью отвеса. *Отклонение опалубки от вертикали* не должно превышать 5 мм на 1 м высоты, но не более 20 мм на всю высоту конструкции. *Смещение оси опалубки* относительно основных осей допускается не более 20 мм. *Не допускается* уменьшение поперечных размеров опалубки, а *увеличение должно быть не более 5 мм*. Установка опалубки завершается *выверкой*, при необходимости *небольшими перемещениями щитов* в случае недопустимых отклонений

ее параметров и окончательным закреплением. При установке опалубки монтируют внутри нее так называемые *закладные детали* (металлические пластины, анкерные болты, вентиляционные трубы, пробки для вводов коммуникаций и т. д.), необходимые для закрепления на них строительных конструкций и оборудования.

После выверки на опалубку выносят проектные отметки верхнего обреза фундамента и фиксируют их тонкой чертой или гвоздями, по которым *контролируют* уровень заполнения опалубки бетоном. *Ошибка выноса* проектных отметок не должна превышать 3–4 мм.

Для приведения верхнего обреза фундамента к *проектному уровню* в сырой бетон устанавливают под нивелир на проектную высоту металлические штыри или гвозди, по которым затирают бетон специальным брусом с гладкой поверхностью.

После затвердевания бетона выполняют *нивелирование* поверхности фундамента по осям и через 5–10 м между ними. Кроме того, определяют *фактическое положение* осей фундаментов, а также закладных деталей относительно проектных осей. По результатам этих измерений составляют *исполнительную схему фундамента*, на которой указывают отклонение фактических величин от проектных.

Монтаж монолитных фундаментов под колонны. В каркасных зданиях основными несущими элементами являются *колонны*: железобетонные или металлические (сплошные и решетчатые) (рис. 15, а, б, в).

В верхней части колонна имеет опорную площадку в виде выступа – *консоль* (фр. *console* – выступ), на которую укладываются *горизонтальные конструкции*, составляющие здание: ригели, балки, фермы, перекрытия и др. Кроме того, к колоннам крепят *вертикально* плоские плиты (панели), образующие стены здания (нем. *raupeel* – плоский элемент строительной конструкции заводского изготовления). *Нижняя часть* колонны опирается на фундамент, который принимает на себя нагрузку от вышележащих конструкций. Для каждой колонны устраивают отдельный фундамент.

Под железобетонную колонну монтируют фундамент в виде башмака с углублением (стаканом), в который устанавливают колонну (рис. 15, г). Стенки стакана должны быть отвесными и параллельны соответствующим основным продольным и поперечным осям. Для монолитного фундамента монтируют сначала опалубку, на которую выносят теодолитом или по натянутой проволоке продольные и поперечные оси с погрешностью не более ± 5 мм. Высота дна задается нивелиром обычно на 2–3 см ниже проектной, чтобы избежать довольно сложного процесса по удалению излишнего бетона. Вертикальность опалубки проверяется отвесом.

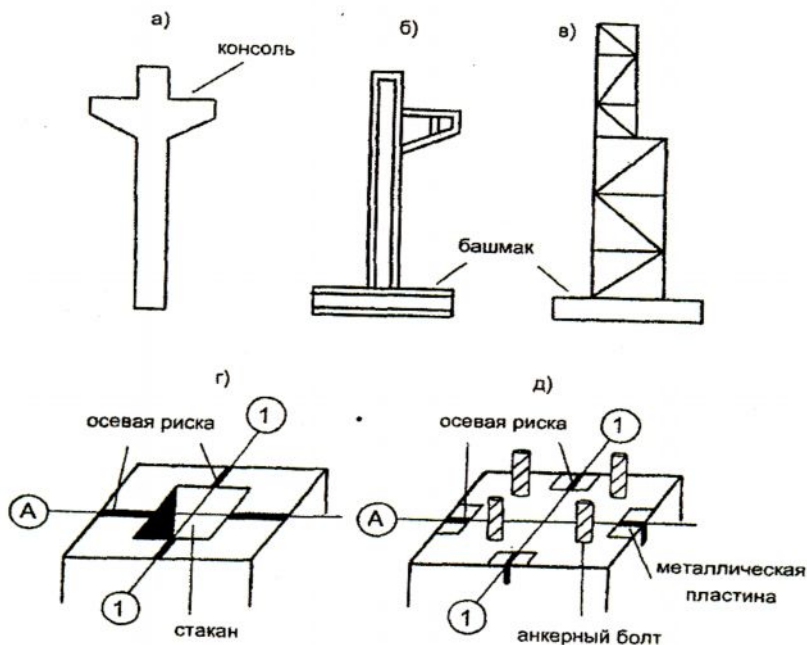


Рис. 15. Фундаменты под колонны:

- а) железобетонная колонна; б) стальная колонна; в) стальная колонна решетчатая; г) фундамент под железобетонную колонну; д) фундамент под стальную колонну

После затвердевания залитого в опалубки бетона на фунда-
менты передаются и закрепляются рисками (короткими штри-
хами) *продольные* и *поперечные оси* (рис. 15, з, д).

Для этого устанавливают теодолит на каждой из разбивоч-
ных осей, наводят визирную ось на противоположный осевой
знак и тонким карандашом обозначают проекцию визирной оси
на краях стенок каждого стакана. Полученные точки соединяют
острым предметом и образовавшуюся черту (осевую линию)
обозначают яркой краской.

Монтаж фундаментов заканчивается их *исполнительной*
съемкой.

По результатам исполнительной съемки составляют *испол-*
нительные схемы, на которых показывают (рис. 16):

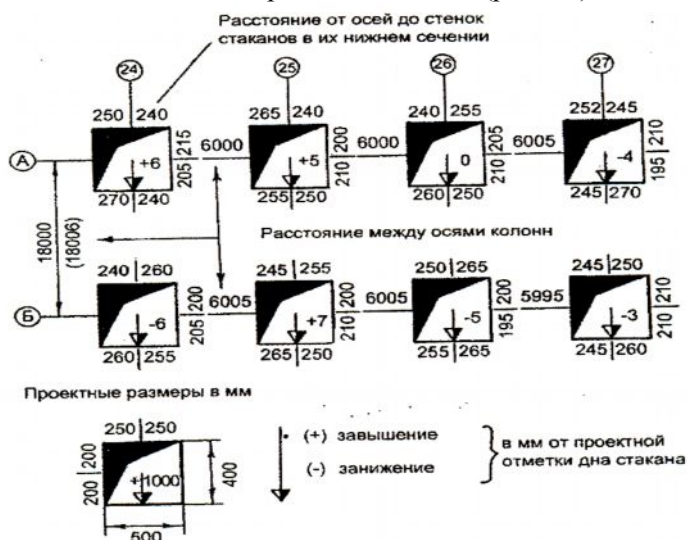


Рис. 16. Исполнительная схема нижнего сечения фундаментов –
стаканов под железобетонные колонны

- фактические расстояния между поперечными и продоль-
ными осями фундаментов;
- фактические расстояния от продольных и поперечных

осей до стенок стакана в нижнем сечении;

– отклонение фактической отметки дна стакана от проектной (после нивелирования дна стакана по углам и в середине и подливки бетона до проектной отметки).

Отклонение отметки дна стакана от проектной должно быть не более ± 5 мм. Смещение оси фундамента не должно превышать ± 10 мм. В стаканах с недопустимыми отклонениями осей *подрубают* соответствующие стенки. Дно стаканов на проектную высоту выводят его *подчисткой* или *подливкой* бетона.

Стальная колонна в нижней части имеет металлическую пластину с отверстиями по углам (*башмак*), которой она устанавливается на бетонный фундамент с *анкерными болтами* (нем. *anker* – якорь, деталь для крепления конструкций и их частей) (рис. 15, д). Анкерные болты должны войти в соответствующие отверстия башмаков колонны, после чего башмак закрепляется на болтах гайками.

Для фундамента сооружается опалубка соответствующих размеров и формы, на которую переносятся и закрепляются рисками продольные и поперечные оси, а также проектная отметка его верха. *Анкерные болты* устанавливают внутрь опалубки относительно осей фундамента и относительно друг друга с погрешностью не более ± 5 мм. Для достижения необходимой точности установки болтов изготавливают специальную рамку прямоугольной формы соответствующих размеров с осевыми рисками и отверстиями по углам для анкерных болтов (*шаблон-кондуктор*). *Перед бетонированием* шаблон прочно укрепляют сверху опалубки по осевым и высотным рискам, вставляют в отверстия анкерные болты, устанавливают в вертикальное положение *по отвесу* и закрепляют их гайками. На *проектную* высоту болты устанавливают от верхней плоскости кондуктора с точностью ± 5 мм. Нижние концы анкерных болтов приваривают к каркасу или арматуре, после чего снова делают *контрольные промеры* между болтами.

Одновременно с анкерными болтами устанавливают другие закладные детали, в т. ч. и *геодезические знаки* (металлические пластины) на краях фундамента вдоль его осей (рис. 15, д).

До бетонирования выполняют плановую и высотную выверку установки анкерных болтов и закладных деталей, при которой контролируют положение вынесенных на опалубку осей и высот, положение анкерных болтов по высоте, а также относительно осей и относительно друг друга. По результатам выверки составляют исполнительную схему. Бетонирование начинают только после устранения всех недопустимых отклонений.

В сырой бетон вбивают гвозди, с помощью нивелира устанавливают их на проектную высоту и по ним тщательно затирают весь верх фундамента пластиной с гладкой поверхностью.

После затвердевания бетона на фундамент выносят продольные и поперечные оси, обозначая их рисками на геодезических знаках и фундаменте. На геодезические знаки передают также высоту от ближайших реперов. От вынесенных высот и реперов выполняют исполнительную съемку фундамента и всех его закладных деталей, при которой выполняют нивелирование верхней плоскости фундамента по углам и в центре, измеряют расстояние от осей до центров анкерных болтов, расстояние между осями фундамента и т.д.

По результатам съемки составляют две исполнительные схемы: верхней плоскости фундамента (рис. 17, а) и установки анкерных болтов (рис. 17, б).

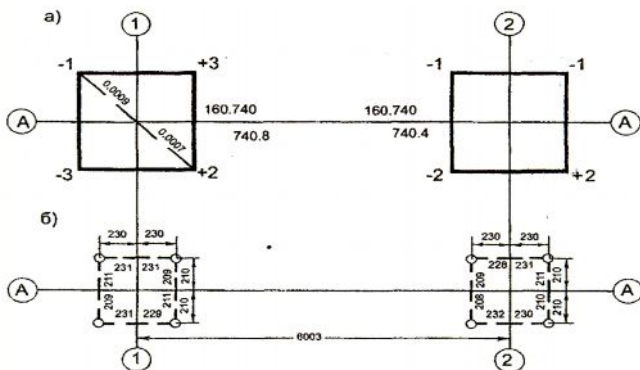


Рис. 17. Исполнительная схема фундаментов под металлические колонны:

а) верхней плоскости фундамента; б) установки анкерных болтов

На исполнительной схеме *верхней плоскости фундамента* показывают: проектную и фактическую отметки центра фундамента и уклоны от центра к углам (в десятичных с соответствующим знаком) как отношение разности высот угловой и центральной точки к длине диагонали.

На исполнительной схеме *установки анкерных болтов* показывают: фактические и проектные расстояния от осей до анкерных болтов и фактические расстояния между осями.

Отклонения анкерных болтов в плане и по высоте допускается не более ± 5 мм, *отклонения* (уклоны) *опорных плоскостей* (башмака колонны и верхней плоскости фундамента) не должны превышать 1:1000–1:1500. Все недопустимые отклонения устраняют, после чего колонну устанавливают на фундамент. В тех случаях, когда требуется более высокая точность установки колонны в вертикальное положение, в верхней части фундамента устанавливают строго горизонтально и бетонируют *отшлифованную* металлическую пластину.

2.2. Монтаж сборных фундаментов

В жилищном и гражданском строительстве обычно применяют сборные фундаменты из бетона и железобетона, изготавливаемые на заводах (рис. 18).

Ленточный фундамент под несущие стены (рис. 18, а) состоит из подушек в виде трапеций и прямоугольных блоков, которые образуют также и стены подвала. *Перед монтажом* в котлован или траншею передают теодолитом или от обноски основные оси, вдоль которых тщательно по нивелиру выравнивают основание. На *торцевых и верхних гранях* подушек и блоков наносят *осевые риски* краской. *Сначала* выполняют разбивку *угловых блоков* и промежуточных приблизительно через 20 м. Эти блоки устанавливают на основание и тщательно проверяют их положение *в плане* по осевой проволоке или шнуру, а *по высоте* – нивелиром, не допуская отклонений относительно оси более ± 10 мм и по высоте более ± 5 мм.

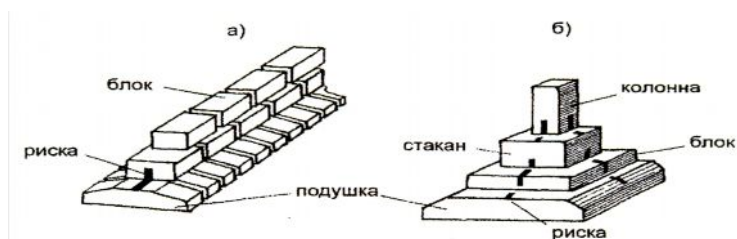


Рис. 18. Типы сборных фундаментов:

а) ленточный; б) под железобетонную колонну

Остальные блоки устанавливают по проволоке или шнуру, натянутых в 10–20 мм от наружных граней угловых блоков, и проверяют их положение по осевой проволоке и нивелиром. По осям *первого ряда* выполняют укладку по высоте других рядов фундаментных блоков.

Монтаж сборных фундаментов под колонны выполняется на предварительно подготовленное основание. Разбивку и закрепление осей выполняют *отдельно для каждого фундамента* с помощью теодолита или осевой проволоки от обноски. До монтажа наносят краской установочные риски на верхних и боковых гранях составных частей фундамента: стакане, блоке, подушке. Сначала устанавливают в проектное положение подушку. Другие части фундамента монтируют по их установочным рискам.

По окончании монтажа сборных фундаментов выполняют их исполнительную съемку с составлением исполнительных схем и последующим устранением недопустимых отклонений.

2.3. Монтаж свайных фундаментов

Свайные фундаменты состоят из погружаемых в грунт (обычно слабый или насыпной) свай, поверху которых укладывается железобетонная плита, называемая *ростверком*. Фундаментные сваи обычно проектируют рядами и располагают кустами. Разбивку мест погружения свай выполняют от основных и вспомогательных осей, построенных на дне котлована. Вдоль

всех осей натягивают монтажную проволоку и способом прямоугольных координат или промерами по створу определяют положение центров свай с точностью 1–2 см. Для контроля погружения каждую сваю *размечают* на метровые отрезки от острия к оголовку и намечают яркой краской *риску проектного погружения* с буквами «ПП» (проектная глубина погружения). В процессе погружения следят за вертикальностью свай с помощью теодолита (допустимое отклонение от вертикали 0.01). Для обеспечения *вертикальности* погружения сваи устанавливают в отвесное положение *направляющую стрелу копровой установки* с помощью теодолита или отвеса. При отклонении сваи от вертикального положения работы приостанавливают для выправления свай и положения механизмов.

По окончании погружения свай на их грани переносят и закрепляют горизонтальными рисками проектную отметку *низа* опорной фундаментной плиты (ростверка). По этим рискам сваи *срезают* и выполняют их *исполнительную съемку*. Отклонения в положении свай относительно осей не должна быть больше 0,4 стороны или диаметра сваи, но не более 40 см. Более точно устанавливаются крайние ряды свай: расстояние в свету от сваи до края ростверка должно быть 0,15 стороны или диаметра сваи, но не менее 5 см.

На сваи укладывают фундаментную плиту (ростверк). Если ростверк монолитный, то для его бетонирования выполняют разбивку опалубки от основных осей с точностью до 1 см. На *поверхность ростверка* переносят и закрепляют *основные оси* здания.

При *выверке фундаментов* теодолит устанавливают над осевым знаком обноски или крайнего фундамента и наводят крест нитей трубы на осевой, знак обноски {(фундамента) в противоположном конце здания. Затем, постепенно поворачивая трубу, наводят крест нитей на все проверяемые фундаменты и фиксируют на них фактическое положение осей. При отсутствии знаков закрепления разбивочных осей теодолит устанавливают над первым фундаментом и центрируют в точку пересечения продольной и поперечной осей здания. Из этого положения

наводят трубу на риск последнего фундамента проверяемого ряда и, действуя трубой, как и в предыдущем случае, наносят положение оси на все фундаменты.

Однако выверка теодолитом, установленным над первым фундаментом, возможна только при сравнительно небольшой длине ряда (до 100–120 м), когда дальние фундаменты хорошо видны. При большей длине зданий (до 250 м) теодолит устанавливают в середине ряда и также центрируют в точку пересечения продольной и поперечной осей данного ряда фундаментов. Выверку осей проводят так же, как и в предыдущем случае, с той лишь разницей, что после нанесения рисок на одной половине ряда (фундаментов трубу поворачивают на 180° и из этого положения наносят риски на второй половине ряда фундаментов).

После выверки оси одного ряда рулеткой измеряют расстояния поперек пролета на первом и последнем фундаментах и между фундаментами ряда; при этом для уменьшения ошибок рулетку растягивают на всю длину, размечая по ней расположение промежуточных фундаментов.

Поперечные оси фундаментов проверяют путем поворота на 90° трубы теодолита, устанавливаемого поочередно в центре каждого фундамента на оси первого продольного ряда.

Положение фундаментов по высоте контролируют нивелиром относительно временных реперов, расположенных вблизи строящегося здания. Отметки временных реперов устанавливают по основным реперам объекта. Фундаменты нивелируют только группами, одновременно по одному или нескольким рядам. При измерениях определяют отметку дна стакана фундамента в центре, отметку верха бетона фундамента и анкеров. В стаканах для двухветвевых колонн отметки берут в двух точках – по осям ветвей.

Все результаты измерений, действительные положения осей, размеры между фундаментами, размеры стаканов понизу и их отметки наносят на исполнительную геодезическую схему.

ГЛАВА 3. ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ И КОНТРОЛЬ ПРИ МОНТАЖЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

3.1. Геодезическая подготовка к монтажным работам

Для обеспечения монтажа конструкций в многоэтажных зданиях или многоярусных сооружениях на монтажные горизонты должны быть вынесены опорные точки, закрепляющие оси на исходном горизонте. Такие точки на монтажном горизонте образуют сеть геодезического обоснования. Число опорных точек, передаваемых на монтажные горизонты, зависит от размеров здания или сооружения в плане и технологии строительно-монтажного производства. Разбивочные оси на этажи или монтажные горизонты переносят разными способами.

1) Способ наклонного проецирования

В технических условиях монтажа крупнопанельных зданий основные разбивочные оси рекомендуется переносить при помощи теодолита, тщательно центрируемого над сохранившимися створными знаками (рис. 19). При этом сначала наводят трубу на соответствующую риску, закрепляющую ось на цоколе, затем, поднимая трубу в вертикальной плоскости, переносят оси на верх смонтированной части здания. Ось отмечают карандашом в виде риски на лицевой поверхности наружных элементов и переносят на перекрытие при помощи отвеса.

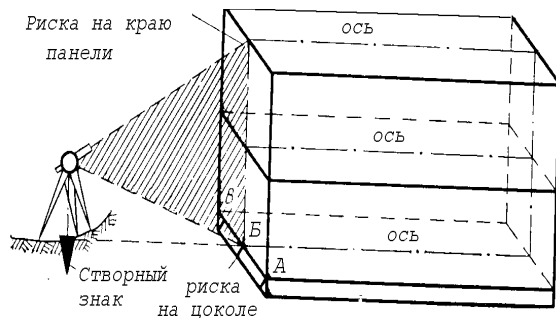


Рис. 19. Схема переноса разбивочных осей на этажи наклонным проецированием

В практике строительства зданий высотой до 9-ти этажей иногда применяют другой способ передачи осей (рис. 20).



Рис. 20. Схема переноса осей на этажи с восстановлением створных точек

Выносят створные линии по наружным продольным стенам на равное расстояние (15–20 м) от монтируемого здания и забивают колышки (точки А и В на рис. 20), потом на середине между этими колышками забивают осевой колышек Б, фиксирующий среднюю продольную ось. Над этим колышком центрируют теодолит, затем ось переносят на этаж, применяя вышерассмотренный способ. Таким же образом средняя продольная ось переносится на здании с другой стороны. В рассмотренном способе возникает необходимость в сохранении створных точек (точка Б) или в постоянном их построении.

2) Способ прямой засечки

3) Способ переноса осей снизу вверх.

При этом способе створные точки нужны только в начале строительства для переноса межсекционных осей на смонтированную цокольную часть здания (рис. 21). На цоколе оси отмечают яркой устойчивой краской для сохранения их до конца строительства. Затем точки осей с цоколя могут быть переданы наверх теодолитом способом прямой засечки с двух произвольно выбранных станций. При этом теодолит совершенно не центрирует на станции, что уменьшает ошибку в переносе осей и ускоряет процесс переноса. В некоторых случаях точки осей с цоколя (если последний отстоит от плоскости стены на некотором рас-

стоянии) передают вверх на специальные козырьки, где эти точки получают пересечением двух визирных (коллимационных) плоскостей.

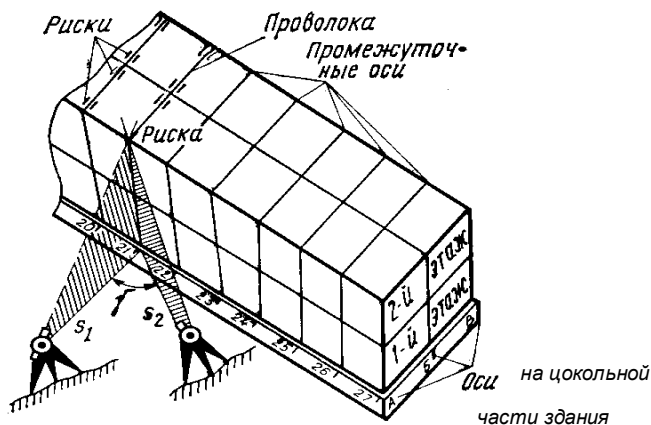


Рис. 21. Схема переноса точек осей на этажи способом прямой засечки

При первом способе на точность переноса осей снизу вверх влияют ошибки центрирования прибора, наведения на фиксированную точку оси на цоколе и визирования на искомую точку вверх, а также ошибка приведения основной оси прибора в отвесное положение (наклон оси теодолита). При способе прямой засечки ошибка центрирования прибора не имеет значения, и в расчет надо принять только ошибки визирования и наклона оси теодолита.

Ошибка визирования вычисляется по формуле

$$m_v = \frac{60}{V}, \quad (26)$$

где V – увеличение трубы.

При $V = 25^x$, $m_v = 2.4''$.

Ошибка наклона оси вычисляется по формуле

$$m_H = i \cdot \operatorname{tg} \alpha, \quad (27)$$

где i – наклон вертикальной оси прибора, равный примерно 1/5 цены деления уровня горизонтального круга;

α – угол наклона трубы теодолита.

При цене деления уровня $\tau = 45''$ и $\alpha = 45^\circ$ получим $i = 9''$, $m_H = 9 \cdot \operatorname{tg} 45^\circ = 9''$.

Средняя квадратическая ошибка направления при этих данных будет равна

$$m = \sqrt{2 \ m_V^2 + m_H^2} \approx 10''. \quad (28)$$

Средняя квадратическая ошибка перенесения точек снизу вверх определяется по формуле

$$m_t^2 = (m_1^2 \ S_1^2 + m_2^2 \ S_2^2) / (\rho^2 \ \sin^2 j), \quad (29)$$

где S_1, S_2 – расстояние от прибора до риски оси на цоколе;

j – угол при засекаемой точке оси на цоколе (рис. 21).

Если допустить, что прибор устанавливают в вершинах правильного треугольника со стороной 30 м и с $m_1 = m_2 = 10''$, то получим

$$m_t = m \ S \ \sqrt{2} / (\rho \ \sin j) \approx 2,6 \text{ мм}. \quad (30)$$

Даже при самых худших условиях (больших расстояниях и остром угле $j = 30^\circ$) средняя квадратическая ошибка m_t не превышает 3 мм, что точнее, чем при других способах передачи точек осей снизу вверх для зданий выше 9-ти этажей.

В настоящее время для переноса осей многоэтажных зданий и сооружений на монтажный горизонт широко применяются приборы для вертикального проектирования (ОЦР, PZL, ЛЗЦ и др.).

В) Способ вертикального проектирования

Сущность этого способа заключается в том, что опорную точку, расположенную на исходном горизонте, проектируют на монтажные горизонты сквозь специальные отверстия в перекрытиях. В зависимости от технологии монтажных работ вертикальный луч может проходить сквозь все монтажные горизонты или последовательно с одного монтажного горизонта на другой (рис. 22, 23).

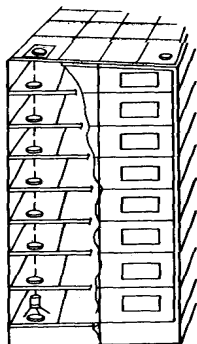


Рис. 22. Схема переноса точек опорной сети на монтажный горизонт способом вертикального проектирования

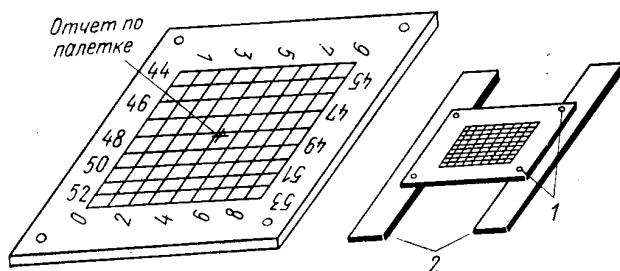


Рис. 23. Палетка для приборов вертикального проектирования:
1 – места крепления палетки; 2 – доски, укладываемые под отверстиями в плитах перекрытия

Передача разбивочных осей на монтажный горизонт способом вертикального проектирования обеспечивает заданный проектом класс точности. Например, для здания высотой $H=40$ м средняя квадратическая ошибка передачи осей составляет 0,6 мм.

При использовании способа вертикального проектирования необходимо предусматривать двухстороннюю связь между исполнителями, находящимися на монтажном и исходном горизонтах.

Основой для построения разбивочной сети на монтажном горизонте служат опорные пункты, полученные проектированием с исходного горизонта. Построение сети на монтажном горизонте осуществляют как на исходном горизонте, но с точностью на класс ниже, чем на исходном горизонте.

Разбивочные оси и монтажные (установочные) риски наносят на перекрытие монтажного горизонта от пунктов разбивочной сети с помощью построения створов, проектных отрезков и способом перпендикуляров.

При построении створа особое внимание уделяют центрированию теодолита и визирной цели. При небольших длинах сторон, как правило, не применяют построений проектных углов с помощью теодолита. Для получения отдельных точек используют линейные засечки. Требования к точности измерений приведены в СНиП 301.03–84.

Для контроля разбивки измеряют расстояния между рисками осей и диагонали полученных прямоугольников. После контроля разбивочные оси и установочные риски закрепляют на перекрытиях монтажного горизонта несмываемой краской ярких цветов, керном на закладных деталях сборных железобетонных конструкций или дюбель гвоздями. На рис. 24 приведен пример построения разбивочных осей:

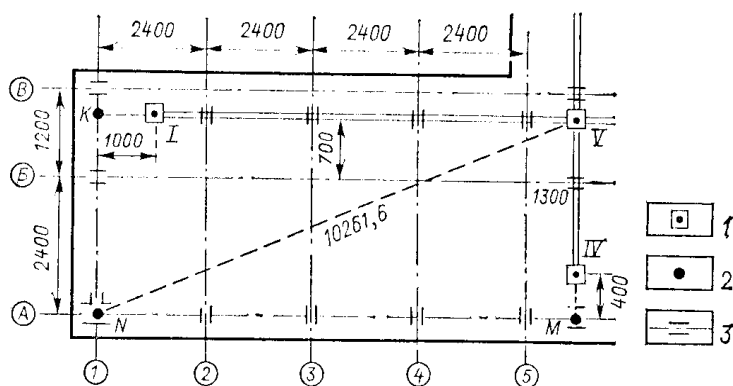


Рис. 24. Схема детальной разбивки осей на монтажном горизонте

По створам сторон сети V-I и V-IV откладывают проектные отрезки, равные соответственно 1000 и 400 м и получают точки К и М. Линейной засечкой с точек К и М и пункта V получают точку N. По створам линий NM и KV откладывают проектные отрезки 2400 мм и получают поперечные оси 1-1, 2-2, 3-3 и т. д.

Положение осей на перекрытиях закрепляют открасками. Аналогично проводят разбивку по створным линиям NK, VM и получают положение осей Б-Б и В-В. Для контроля измеряют диагонали прямоугольников, образованных осями и расстояниями от осей до пунктов разбивочной сети.

На крупных строительных объектах для создания высотной основы по пунктам строительной сетки прокладывают нивелирный ход. Требования к точности измерений в ходе зависят от характеристики объекта.

Если нет строительной сетки, то на территории строительства закладывают ряд реперов и определяют их отметки. Число реперов и их расположение на объекте должно обеспечивать передачу отметок на здания и сооружения с одной постановки нивелира. Для обеспечения надлежащего контроля за неизменностью высотного положения реперов на строительной площадке их должно быть не менее трех.

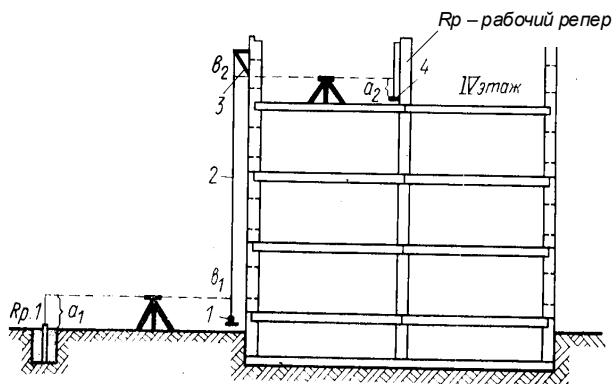


Рис. 25. Передача отметок на монтажный горизонт

Внутренней высотной основой при возведении многоэтажных зданий служат реперы (марки), заложенные в конструкцию фундамента или первого этажа. Эти реперы в период возведения здания называют основными. Для обеспечения контроля за сохранностью высотного положения реперов число их на здании должно быть не менее трех.

Передачу отметок на основные реперы здания проводят геометрическим нивелированием с пунктов (реперов) внешней разбивочной основы.

В качестве высотного обоснования на монтажном горизонте служат рабочие реперы, отметки которых получают от реперов, расположенных на исходном горизонте. Одним из способов передачи отметки на монтажный горизонт является их передача при помощи двух нивелиров и рулетки (рис. 25).

Отметка рабочего репера будет вычислена по формуле

$$H_4 = H_{Rpl} + a_1 + (b_2 - b_1) - a_2. \quad (31)$$

Во втором способе отметки на каждый этаж передаются от точек нулевых отметок, закрепленных на цоколе или другом удобном месте, или от строительных реперов, имеющих на строительной площадке, с использованием для этой цели стальной рулетки, нивелира и рейки.

Сначала измеряют расстояние рулеткой от точки цоколя, на которую передана отметка, до верха возведенного этажа по фасаду здания. Получают отметку промежуточной точки. Далее встают с нивелиром на перекрытие соответствующего этажа и передают отметку от этой промежуточной точки на любую конструктивную точку этажа.

Средняя квадратическая ошибка m такой передачи отметки будет зависеть от ошибок: отсчетов по рейке m_a , измерения вертикального расстояния m_l , компарирования рулетки и рейки m_K и ошибки m_O , зависящей от влияния всех других источников:

$$\begin{aligned} m &= \sqrt{4m_a^2 + m_l^2 + 2m_k^2 + m_o^2}; \\ m_a &= m_l = m_k = m_o = 1 \text{ мм}, \\ m &\approx 2.8 \text{ мм}. \end{aligned} \quad (32)$$

После завершения работ по созданию плановой и высотной основы составляют исполнительную схему для каждого монтажного горизонта.

При подготовке к монтажу проводят контроль геометрических параметров сборных конструкций и их разметку.

Для плоских элементов измеряют длину, ширину, диагонали и толщину детали. При измерениях используют стальные компарированные рулетки с миллиметровыми делениями. Для фиксации граней применяют уголковые фиксаторы (рис. 26, а). Погрешности измерений не должны превышать 0.2 допуска на отклонение конструкции от проектного размера. Результаты измерений сравнивают с проектными размерами и вычисляют отклонения Δ .

Отклонения сборного элемента от прямоугольной формы характеризуют разностью его диагоналей. При определении отклонений поверхности от плоскости используют специальные шаблоны. Шаблон прикладывают к проверяемой поверхности и линейкой измеряют зазоры между рабочей поверхностью шаблона и поверхностью конструкции (рис. 26, в).

Для проверки крупных конструкций используют геометрическое нивелирование. Конструкцию укладывают так, чтобы проверяемая поверхность располагалась приблизительно горизонтально. В девяти ее точках устанавливают рейку и проводят отсчеты по нивелиру (рис. 26, б). При определении отклонений от плоскости сравнивают отсчеты по восьми линиям: 1–3, 4–6, 7–9, 1–7, 2–8, 3–9, 1–9 и 3–7. Для каждой из них вычисляют отклонения Δ средней точки от прямой, соединяющей крайние точки. Это отклонение можно вычислить с помощью отсчетов по рейке а. Для линии 1–3 (рис. 26, в) имеем

$$\Delta_{1-3} = a_2 - \frac{a_1 + a_3}{2}. \quad (33)$$

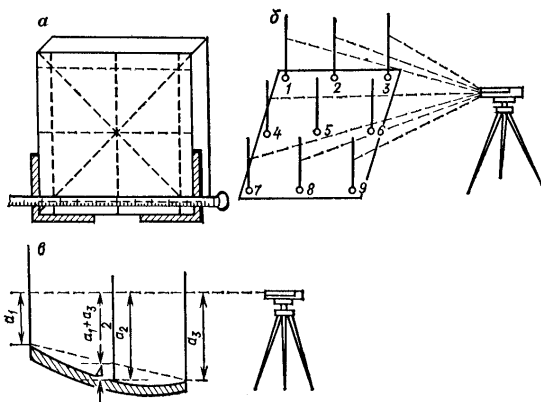


Рис. 26. Контроль геометрических параметров конструкций
а – схема измерений плоского элемента; б – схема расположения точек; в – определение отклонений

Все полученные отклонения сравнивают с допусками на изготовление конструкции и делают заключение о ее качестве и пригодности к монтажу. Контролю подвергаются наиболее ответственные конструкции.

Одновременно с промерами на сборные конструкции наносят установочные риски, по которым при монтаже устанавливают сборный элемент в проектное положение. Обычно риской обозначают геометрическую ось конструкции, например, ось колонны. При этом измеряют ширину колонны в ее нижнем и верхнем сечениях, а риску наносят на середине грани ярким цветным карандашом (рис. 27, а).

Разметку навесных стеновых панелей производят нанесением рисок 1 для установки ее по высоте и риску 2 для установки в направлении оси здания (рис. 27, б).

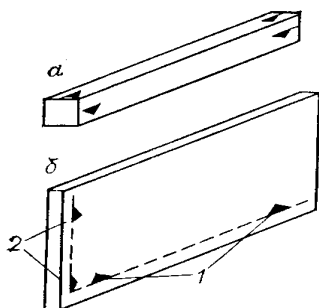


Рис. 27. Разметка конструкций
рисками:

а – колонны, *б* – панели

После предварительной установки и временного закрепления конструкции выполняется *выверка конструкций*, т. е. введение ее небольшими перемещениями в проектное положение. Точность установки сборного элемента в проектное положение зависит от вида конструкции, типа сооружения и регламентируется «Строительными нормами и правилами» (СНиП).

Так, например, в СНиП III–16–80 «Бетонные и железобетонные конструкции сборные» допустимое смещение оси колонны в нижнем сечении относительно разбивочной оси ограничено величиной 5 мм, а отклонение оси колонны в верхнем сечении относительно разбивочной оси при высоте колонны до 8 м – величиной 20 мм.

3.2. Геодезические работы и контроль при монтаже крупнопанельных бескаркасных и каркасно-панельных зданий

Крупнопанельные – это такие здания, которые монтируются из крупных плоскостных элементов – *панелей* (нем. *paneel* – крупноразмерный плоский элемент строительной конструкции заводского изготовления). Панели имеют высокую заводскую готовность: отделанные наружные и внутренние поверхности, вмонтированные окна и двери и другие детали. Применение панелей значительно сокращает сроки и стоимость строительства, позволяет более широко использовать в строительстве средства механизации и автоматизации.

По конструктивной схеме крупнопанельные здания делятся на два основных типа: бескаркасные и каркасные. *Бескаркасные* схемы используются главным образом в жилищном строительстве, а *каркасные* – при строительстве общественных и промышленных зданий, а также многоэтажных жилых домов.

Высоту и длину панелей выбирают с учетом деления {разрезки} стен на конструктивные элементы. При *одноразрядной* разрезке высота панели стены соответствует высоте этажа, а ширина – одной или двум комнатам (рис. 28, а, б). В *каркасно-панельных* зданиях используют *двухразрядную* разрезку (рис. 28, в).

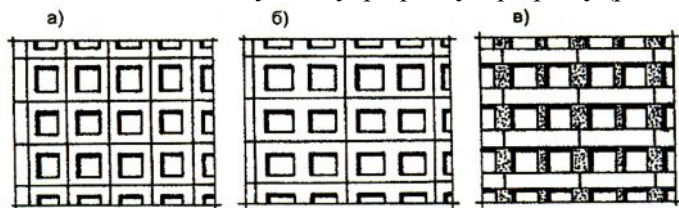


Рис. 28. Типы разрезки панельных стен:

- а) одноразрядная на одну комнату; б) то же на две комнаты;
в) двухразрядная полесовая

Бескаркасные здания (рис. 29) возводят из крупных панелей, выполняющих функции несущих и ограждающих конструкций. По месту расположения различают стеновые панели *наружные* (по контуру здания, образующие наружные стены) и *внутренние* (образующие внутренние стены, которые разделяют внутреннее пространство здания на отдельные помещения). *Наружные* стены всегда являются несущими. *Внутренние* стены здания могут быть как несущими, так и ненесущими. Различают дома: с *несущими поперечными стенами* (рис. 29, а), в которых вертикальную нагрузку принимают на себя поперечные наружные стены; с *несущими продольными стенами* (рис. 29, б), в которых вертикальную нагрузку принимают на себя продольные наружные стены; с *несущими продольными и поперечными стенами* (рис. 23, в), в которых вертикальную нагрузку принимают на себя наружные и внутренние стены.

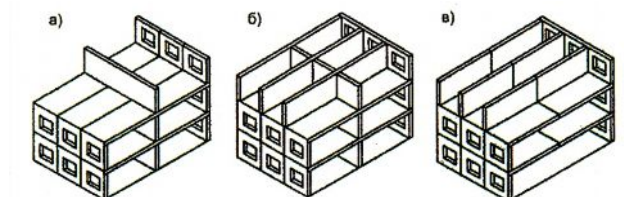


Рис. 29. Схемы крупнопанельных бескаркасных зданий:
а) с несущими поперечными стенами; б) с несущими продольными стенами; в) с несущими продольными и поперечными стенами

Пространственная жесткость и устойчивость здания обеспечивается взаимной связью между панелями стен и перекрытий. *Стыки* стеновых панелей между собой и панелями перекрытий являются наиболее *ответственными* узлами в конструкции панельных зданий.

По расположению различают стыки горизонтальные и вертикальные.

На *вертикальных* стыках панели соединяют с помощью стальных связей (накладок), привариваемых к закладным деталям стыкуемых панелей, или при помощи выпущенных из панелей стальных петель, соединяемых стальными скобами. Вертикальный стык *герметизируют* от проникновения влаги и продувания упругими прокладками из резины, после чего заклеивают с наружной и внутренней сторон специальной мастикой. Применяют также безметалльный *шпоночный шов*, в котором стык обеспечивается специальной формой стыкуемых граней с заливкой зазоров цементным раствором.

В *горизонтальных* наружных стыках верхнюю стеновую панель скрепляют с нижней панелью цементным раствором (рис. 30).

Верхняя панель имеет противодождевой выступ с наружной стороны, закрывающий горизонтальный стык сверху. На наклонной части шва раствор не укладывают, в результате чего создается воздушный зазор, предохраняющий от капиллярного проникновения влаги снаружи через раствор. С наружной стороны стык заполняют утепляющей прокладкой и покрывают герметизирующей мастикой.

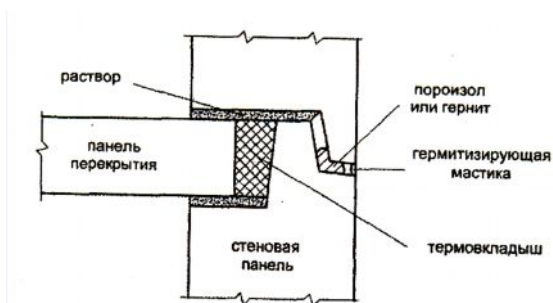


Рис. 30. Горизонтальный стык наружных панелей

Соединение панелей *внутренних стен* выполняют сваркой закладных деталей. *Вертикальные швы* заполняют упругими прокладками и заливают бетоном или цементным раствором.

Панели *стен* и *перекрытий* соединяют между собой при помощи оцинкованных накладок и болтов или сваркой металлических связей к закладным деталям, которые строго фиксируются при изготовлении панелей.

Монтаж стеновых панелей выполняется *свободно* или *принудительно*.

При свободном монтаже панели в проектное положение устанавливаются сразу и закрепляются без предварительного закрепления и выверки в плане и по высоте. Ориентирами при установке панелей являются вынесенные на монтажный горизонт геодезическими методами разбивочные оси или риски. Свободный монтаж применяется редко, т. к. всегда имеются препятствия для свободной установки панелей в плане и по высоте (отметка дна котлована, плановое положение и отметка фундамента и т. п.).

При принудительном способе панели в проектное положение устанавливаются и временно закрепляются при помощи специальных приспособлений и оборудования (клиньев, подкосов, растяжек, торцевых стоек, одиночных и групповых кондукторов и т. п.). После выверки панели окончательно закрепляются (обычно сваркой).

Принудительным способом выполняется монтаж панелей также при помощи *фиксаторов* (рис. 31). Простейший фиксатор представляет собой два штыря на верхней грани панели и две соответствующие лунки (углубления) на нижней грани панели, а также соединительные устройства (*замки*), расположенные в верхней части торцевых граней панелей. Монтируемая панель устанавливается лунками на штыри панели нижнего этажа с одновременным соединением замков. Дополнительных операций



Рис. 31. Фиксатор для принудительной установки панелей

по закреплению и выверке монтируемой панели не требуется. При этом точность положения каждой устанавливаемой панели зависит от точности установки ранее смонтированной панели.

Каркасно-панельные здания состоят из несущего каркаса и ограждающих панелей. Основным элементом каркаса являются сборные колонны на всю высоту здания, состоящие из отдельных колонн (ярусов) на один, но чаще всего на два этажа. Каркасно-панельные здания могут быть как с полным, так и с неполным каркасом (рис. 32). Неполный каркас, требующий несущих панелей, применяется в зданиях небольшой высоты.

Основным требованием к каркасу является его *прочность* и *пространственная жесткость*. Как правило, каркасы выполняются из железобетона. Каркас здания образуют колонны и ригели, опирающиеся на консоли колонн. Расположение ригелей может быть как *поперечным*, так и *продольным* (рис. 32, а, б).

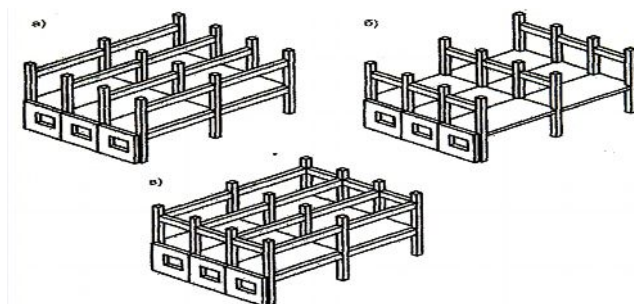


Рис. 32. Схемы каркасных крупнопанельных зданий:
а) продольное расположение ригелей; б) поперечное расположение ригелей; в) полный каркас

Применяется и *безригельный* вариант с опиранием перекрытий непосредственно на колонны. На полки ригелей опираются *панели перекрытий*. Стены состоят из панелей, соединяемых с элементами каркаса и между собой сваркой закладных деталей. *Сопряжение* элементов каркаса достигается сваркой закладных деталей *ригелей* и *колонн*, после чего все швы и зазоры между стыкуемыми элементами заливаются раствором, и место стыка оштукатуривается (рис. 33).

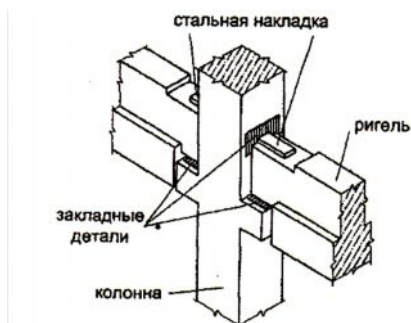


Рис. 33. Сопряжение ригелей и колонн

Наиболее *ответственными* местами сборного каркаса являются его *узлы*, в которых стыкуются между собой отдельные элементы сборных колонн. Стыки обычно осуществляются сваркой закладных деталей.

Наиболее *простым стыком* двух частей сборной колонны является непосредственное *опирание на сварные оголовки* в их торцах (рис. 34, а). Верхний оголовок имеет стальную или бетонную центрирующую прокладку. Выпуски арматуры соединяют сваркой и стык замоноличивают мелкозернистым бетоном или цементным раствором.

Колонны могут опираться друг на друга через *ригели (платформенный стык)* (рис. 34, б). Стык закрепляют сваркой стальных закладных деталей в торцах колонны и опорных плоскостях ригелей. Платформенный стык колонн может быть решен не через ригель, а через перекрытие размером на комнату.

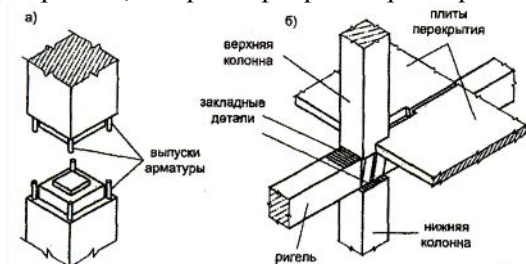


Рис. 34. Стыки колонн:

а) со сварными оголовками; б) платформенный

Навесные панели стен могут крепиться в зависимости от их положения к колоннам, ригелям и крайним плитам. Крепление осуществляется с помощью стальных стержней, привариваемых к закладным деталям (рис. 35).

Чтобы *своевременно проводить геодезические работы*, необходимо знать *технологическую последовательность монтажа зданий*.

Основными элементами *крупнопанельных зданий* являются: фундаменты, стены (наружные и внутренние), перекрытия, лестничные площадки и марши, лифтовые шахты, сантехузлы, вентиляционные блоки, крыши.

Геодезические работы начинаются до строительно-монтажных работ с выноса и закрепления на местности основных осей здания, установки обноски (обычно инвентарной, со-

стоящей из металлических стоек, забиваемых в грунт и скрепляемых хомутами с трубчатым ограждением) на расстоянии 3–4 м от наружных стен, чтобы не мешать рытью котлована и монтажу фундамента, и переноса на обноску основных и дополнительных осей здания.

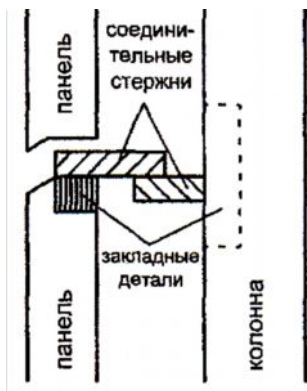


Рис. 35. Крепление стеновых панелей к колонне

По окончании рытья котлована через ограждение обноски натягивают по осям здания тонкие проволоки (нити) и переносят вниз их пересечения с помощью отвесов. В местах пересечения осей устанавливают маячные фундаментные блоки и выверяют их положения в плане и по высоте. По маячным блокам укладывают рядовые блоки на цементном растворе. Верхний обрез сборного фундамента по нивелиру выводят до проектной отметки с помощью выравнивающего слоя цементного раствора.

При наличии подвала монтируют блоки его стен так же, как и фундаментные блоки, и укладывают на проектной отметке с помощью нивелира плиты перекрытия над подвалом (разность отметок по углам перекрытия допускается не более 20 мм).

На перекрытии создают и закрепляют *внутреннюю плано-высотную сеть здания* с погрешностью не более 2 мм и выносят основные и монтажные оси.

На перекрытиях делают также *разметку* (наносят ориентирные риски) под панели наружных и внутренних стен. Разметку для панелей *наружных стен* выполняют от *основных осей*, а для разметки панелей *внутренних стен* выносят *допол-*

нительные оси. Для каждой панели наносят на перекрытии *три ориентирные риски* (рис. 36): две продольные и одну поперечную. *Продольные риски* наносят параллельно разбивочным осям на расстоянии 200 мм от грани панели, т. е. на расстоянии от оси

$$\frac{P}{2} + 200 \text{ мм}, \quad (34)$$

где P – ширина панели.

Поперечные риски наносят на расстоянии 200 мм от торца устанавливаемой панели. Разметку ориентирных рисков выполняют однообразно на всех междуэтажных перекрытиях.

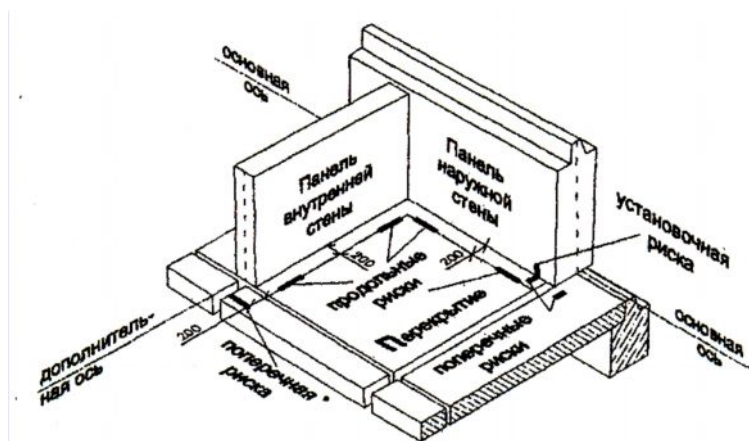


Рис. 36. Разметка ориентирных рисков для установки стеновых панелей

Перед установкой выполняют *контроль* геометрических параметров панелей (рис. 37), для чего измеряют длину l , высоту h , ширину P (они характеризуют параллельность граней панели), а также длины диагоналей d , разность которых характеризует перекос панели. Измерение параметров l , h , P выполняют в трех разных местах (на рис. 37 точки 1, 2, 3): в середине и на расстоянии 0,1 величины параметра l или h от краев панели.

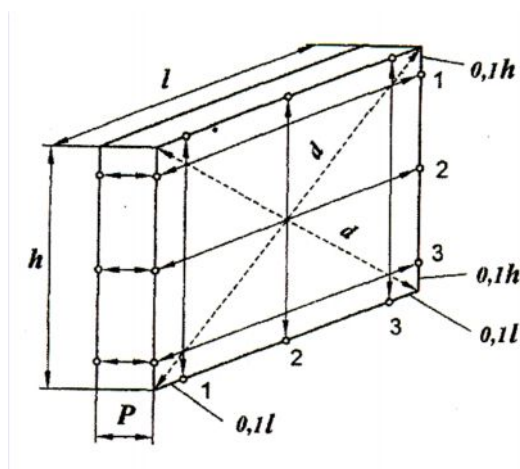


Рис. 37. Контроль геометрических параметров стеновых панелей

До установки панелей стен выравнивают для них опорную площадку с помощью бетонного раствора. Для этого *нивелируют* не менее двух точек в местах установки каждой панели таким образом, чтобы была определена высота *наивысшей точки* (обычно это стыки смежных перекрытий или перекрытий и наружных стен). К отметке наивысшей точки прибавляют минимальную толщину растворного слоя (5 мм) и получают *отметку монтажного горизонта* (расчетную отметку низа панелей), на которую выводят по два бетонных знака (*маяка*) под каждую панель на расстоянии 20–40 см от ее торцов (рис. 38).

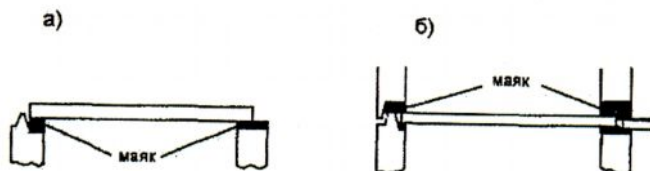


Рис. 38. Маяки на монтажном горизонте:
а) под панели перекрытий; б) под стеновые панели

Толщину маяков вычисляют как разность отметки монтажного горизонта и фактической отметки места установки маяка. Отличие отметок маяков от отметки монтажного горизонта допускается *не более 10 мм*. С помощью маяков раскладывают раствор бетона на уровень монтажного горизонта по всей длине устанавливаемой панели.

Устанавливают сначала маячные панели наружных стен этажа (по углам здания и через 20–30 м). Панель подводят краем к месту установки с внешней стороны здания и опускают строго вертикально на подготовленное основание. В плановое положение панель устанавливают по ориентирным рискам на перекрытии, проверяют установку по наружной грани и временно закрепляют с помощью подкосов.

После временного закрепления наружных панелей *устанавливают* и временно закрепляют внутренние панели по предварительно размеченным рискам. Если панели устанавливают на штыревые закладные фиксаторы, то предварительно выполняется их закладка и выверка.

По окончании монтажа всех панелей выполняют *планово-высотную исполнительную съемку этажа*. Съемку каждой панели выполняют по *четырем угловым точкам* (двум внизу и двумверху).

Положение низа панели проверяют промерами рулеткой от тех же ориентирных рисок, по которым панель устанавливалась в проектное положение. *Вертикальность панелей* выверяют *рейкой-отвесом* (рис. 39, а), *боковым нивелированием* или *прибором вертикального проектирования (ПВП)* через отверстия в перекрытиях (рис. 39, б).

Отвес-линейка представляет собой планку с кронштейном и упорами для укрепления к верхнему торцу панели параллельно ее вертикальной плоскости. В верхней части линейки имеется отверстие для подвеса нити отвеса, которое находится на одной отвесной линии с нулевым делением миллиметровой шкалы, расположенной в нижней части линейки. Нить отвеса, пересекающая шкалу, указывает величину и направление отклонения панели от вертикали.

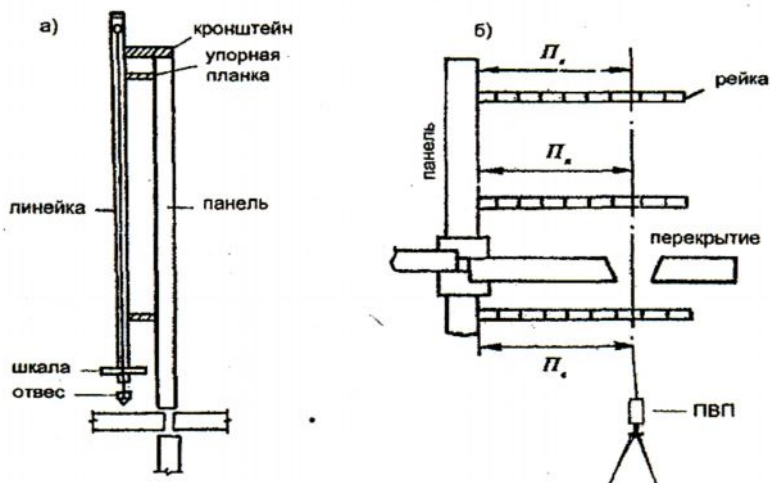


Рис. 39. Схема выверки панелей:
а) отвес-линейкой; б) приборами ПВП

При выверке вертикальности панелей прибором ПВП для каждой панели выполняют два отсчета по горизонтальной рейке: внизу $П_n$ иверху $П_v$. Разность отсчетов $П_v - П_n$ для одной и той же панели является ее отклонением от вертикали в линейной мере, а эта же разность на панелях смежных этажей является смещением панелей с вертикальной оси.

При плано-высотной съемке этажа нивелируют также все панели перекрытия в четырех угловых точках каждую.

По результатам плано-высотной съемки составляют исполнительную схему этажа, на которой показывают: величину и направление отклонения двух крайних точек каждой панели от разбивочной оси (допустимая величина отклонения 4 мм) и от вертикали (допустимая величина отклонения 5 мм) и выделяют те панели, которые установлены с нарушением этих допусков. На исполнительной схеме показывают также отклонения от отметки монтажного горизонта каждого из четырех углов панели перекрытия. Допускается разность в отметках двух смежных элементов до 8 мм. Недопустимые отклонения устраняются (панели в вертикальное положение приводят вращением стяжных

муфт подкосов), после чего сборные конструкции скрепляются между собой окончательно, и составляется *окончательная исполнительная схема этажа* – основной документ приемки этажа.

Незначительные отклонения от указанных допусков не вызывают серьезных осложнений, т. к. они могут быть компенсированы за счет толщины швов, зазоров, прокладок и т. п.

После установки панелей этажа образуются *лестничные клетки*, в которых сразу монтируют *лестницы*, проверяя точность их опирания и горизонтальность ступеней по уровню. Лестничные марш должен точно примыкать к стеновым панелям.

Плиты перекрытия следующего этажа укладывают от лестничных клеток, выводя их на проектный уровень в горизонтальное положение с помощью нивелира, а в плане – по рискам.

Для монтажа надземной части переносят вверх на перекрытия каждого этажа разбивочные и смещенные оси с погрешностью не более 2 мм *наклонным проектированием* теодолитами типа Т2 и Т5 или *приборами вертикального проектирования*. На каждом этаже в точках пересечения поперечных и продольных смещенных осей *измеряют полученные углы*, которые не должны отличаться от прямых более чем на 45". Линии измеряют стальной компарированной рулеткой с относительной погрешностью не более 1:7 000.

Весьма ответственным является *монтаж лоджий*. После временной установки стенки лоджии сразу же выполняется ее выверка, т. к. конструкция лоджии требует срочной приварки этой стенки к примыкающей наружной панели. Отклонение оси панели лоджии в плане относительно поперечных разбивочных осей допускается 4 мм, а по вертикали – 5 мм.

При монтаже высотных зданий (выше 16 этажей) создают *внутреннюю сеть* на перекрытии подземной части от знаков внешней основы в виде прямоугольника или двух смежных прямоугольников. Пункты этой сети *переносят* вертикальным проектированием через отверстия в перекрытиях *на каждый этаж* и от них *развивают* плановые сети на монтажных горизонтах.

Координаты точек и расстояния между ними на перекрытии каждого этажа должны быть равны проектным *в пределах точности их переноса по вертикали*. В тех случаях, когда вверх спроектированы только *две исходные точки*, находящиеся на одной параллельно смещенной линии (лучше всего на продольной), то *плановую основу этажа* развивают от этой линии. Точность построения плановой основы в этом случае может быть определена по формуле

$$m = \sqrt{m_s^2 + \left(\frac{m_\beta}{\rho} \times S\right)^2}, \quad (35)$$

где S – длина линии; m_s^2 – средняя квадратическая погрешность измерения линии; m_β – средняя квадратическая погрешность измерения углов.

Пример. При $S = 60\text{ м}$ $m_\beta = 5''$ (для теодолита Т5), относительной погрешности измерения линии 1:50 000 (2 мм на 100 м)

$$m = \sqrt{2 \times 0,6^2 + \left(\frac{S' \times 60000}{206265''}\right)^2} = \sqrt{1,4 + 2,1} = \sqrt{3,5} = 1,9 \text{ мм}. \quad (36)$$

С учетом погрешности перенесения пунктов на исходный горизонт (*относительная погрешность порядка 1:25 000*) и вертикального проектирования на монтажный горизонт (*порядка 1 мм*) общая погрешность плановой сети монтажного горизонта составит около 3 мм, что вполне достаточно для геодезического обеспечения всех видов работ на этаже.

Основной частью сборных *каркасно-панельных зданий* является сборный каркас, обычно железобетонный, который состоит из колонн, ригелей, панелей перекрытий и *вертикальных связей – диафрагм жесткости* (вертикальных стен из сборных железобетонных панелей толщиной 120 мм, соединяемых с элементами каркаса и между собой сваркой закладных деталей). Вертикальные связевые стены проходят по всей высоте здания и образуют так называемое *ядро жесткости* (рис. 40), которое обычно располагается в центральной части здания и использует-

ся для размещения лифтовых и коммуникационных шахт, лестничных клеток.

Вертикальные связевые стены закрепляются в фундаментах и соединяются с перекрытиями, которые в свою очередь являются *горизонтальными* диафрагмами жесткости.

Для обеспечения большей жесткости каркаса высотных зданий, кроме того, создают *специальные горизонтальные перекрытия (диски)*, образующие так называемые *технические этажи*, которые используются для размещения инженерного оборудования.

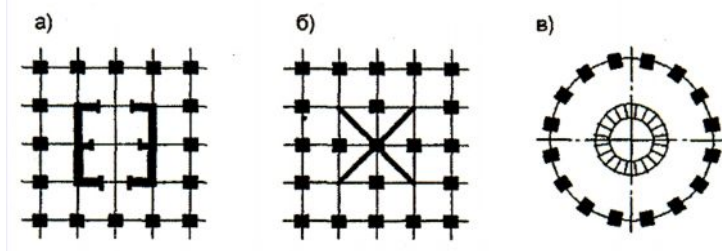


Рис. 40. Вертикальные связевые стены:
а) коробчатые; б) иксообразные; в) кольцевые

Иногда железобетонные ядра жесткости возводят *моноклитными* до монтажа каркаса.

Геодезические работы начинаются с выноса основных осей здания и разбивки фундаментов-стаканов под колонны. В состав работ *по монтажу фундаментов* входят: зачистка основания до проектной отметки на песчаных грунтах или подсыпка песка до проектной отметки, если фундаменты возводятся на других грунтах; вынос фундаментов на подготовленное основание; установка фундаментов в проектное положение; выверка планового положения фундаментов и отметок дна стаканов; засыпка фунта до верха смонтированных фундаментов.

Основной элемент каркаса – сборные колонны на всю высоту здания. Отдельная часть колонны (*ярус*) имеет высоту на один, но чаще всего на два этажа. *Колонны подземной части*

здания устанавливают в подготовленные фундаменты стаканного типа. Колонну поднимают краном над фундаментом, приводят ее основание в проектное положение по осевым рискам на колонне и фундаменте. *Установку колонны проверяют* в двух взаимно перпендикулярных направлениях и по высоте. После *выверки* колонна закрепляется монтажными приспособлениями и кран освобождается, а бетонирование колонны в фундаменте выполняет звено бетонщиков.

По горизонтальной рейке, прикладываемой к нижним осевым рискам колонн, определяют их *смещение с разбивочных осей*. Сравнением нижних и верхних отсчетов по горизонтальной рейке определяют *отклонение колонны от вертикали* (допустимое отклонение не более 5 мм). На установленных колоннах *нивелируют консольные выступы*, на которые укладываются ригели каркаса. Допустимое отклонение от проектной отметки в пределах подполья не должно превышать 5 мм.

Перед укладкой ригелей на консоли колонн выпрямляют арматурные выпуски и очищают закладные детали. *В поперечном направлении* ригели укладывают совмещением их осей (выпуски верхней арматуры) с осями колонн (выпуски арматуры). *В продольном направлении* ригели укладывают, соблюдая равенство площадей опирания на консоли колонн. После *выверки* ригелей их опорные закладные детали приваривают к консолям колонн. Вначале монтируют *нижние*, а потом *верхние* ригели.

Связевые плиты жесткости укладывают на полки приваренных к консолям ригелей и временно закрепляют их, после чего выполняется *исполнительная планово-высотная съемка* установленного каркаса, по результатам которой выявляют и устраняют недопустимые отклонения элементов каркаса. *Исполнительную съемку каркаса* выполняют также после окончательного закрепления сваркой всех элементов каркаса. *На исполнительной схеме* показывают: величину отклонения от проекта геометрической оси каждой колонны и отметки их консолей и оголовков; положение оси ригелей, отметки его концов и т. д. Исполнительная схема является *основным документом* при приемке каркаса техподвала и каждого яруса каркаса.

Плиты перекрытий укладывают на ригели и после выверки и необходимых исправлений сваривают с закладными деталями ригелей и колонн.

Стеновые панели, как правило, являются навесными и конструктивно независимой частью каркасного здания. Их монтируют после закрепления несущей конструкции. Предварительно выполняют *разметку панелей и колонн* (рис. 41): на панели отмечают *грань и уровень подвески*, а на колонне – *две установочные риски для каждой панели*. Совмещением рисков панель устанавливают в проектное положение и временно закрепляют подкосами ее вверх к плитам перекрытия или к колоннам, после чего выполняется выверка панели и постоянное закрепление ее низа.

Монтаж панелей наружных стен смежных этажей выполняется одновременно после монтажа каркаса верхнего этажа.

На полу или перекрытии техподполья от пунктов внешней основы создают *планово-высотную внутреннюю сеть здания* (исходную), которая проектируется на перекрытия каждого яруса (*ярус – два этажа*), т. е. на каждый нечетный этаж. Перенос пунктов *плановой* сети выполняется способом вертикального проектирования, а *высотной* – техническим нивелированием с закреплением не менее двух реперов на каждом ярусе.

От перенесенных на этажи пунктов и линий плановой сети выносят на *оголовки колонн* и закрепляют рисками *продольные и поперечные оси здания* полярным способом или способом бокового нивелирования, если линии внутренней сети параллельны основным осям здания. В этом случае над зенитной (перенесенной) точкой центрируют теодолит и ориентируют его на другую зенитную точку линии параллельно смещенной оси. Горизонтальную реечку или рулетку с миллиметровыми делениями прикладывают к оголовку колонны нижележащего этажа (яруса) и устанавливают ее на отсчет, равный смещению оси. По пятке рейки или нулевому делению рулетки отмечают карандашом на колонне положение разбивочной оси при двух положениях вертикального круга, закрепляя среднее положение яркой краской.

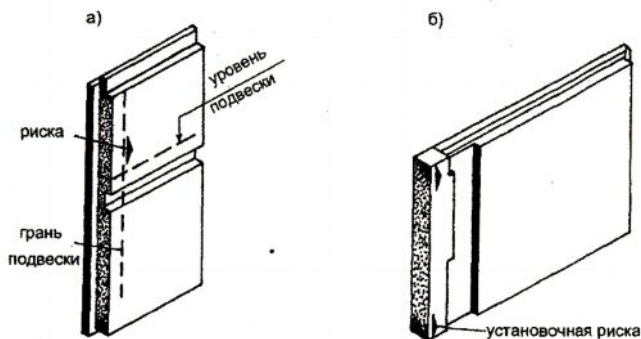


Рис. 41. Разметка навесных панелей (а) и колонн (б)

При выносе основных осей на этажах допускается их смещение относительно осей исходного горизонта до 5 мм на *первых пяти этажах* и до 8 мм – на *последующих*. В дальнейшем эти оси являются *исходными* для разбивочных работ и исполнительных съемок на этажах.

На каждом этаже разбивают одноименные оси, определяющие положение колонн, ригелей, а также панелей, ограждающих лифтовые шахты, неправильная установка которых может привести к несоответствию габаритов шахты и лифта на том или ином этаже.

На каждом этаже после монтажа панелей перегородок укладывают наружные ригели, центрируют их по осевым рискам и приваривают к колоннам, предварительно выполнив *выверку* колонн в осях и по вертикали. Обе задачи решаются способом *бокового нивелирования* при помощи точного нивелира. Этим же способом выверяют плановое положение перегородочных панелей.

Исправив после *исполнительной съемки* положение *перегородочных панелей*, перекрывают их ригелями и укладывают перекрытие следующего этажа.

После *планово-высотной выверки* и необходимых исправлений панели перекрытия сваривают с колоннами и ригелями, а потом выполняют *исполнительную съемку* готового участка

этажа. Затем монтируют вертикальные диафрагмы жесткости, перегородочные панели, шахты лифтов и другие сборные элементы. Геодезическая *выверка* планового положения *лифтовых шахт* обязательно выполняется *на каждом этаже.*

Порядок работы на *четных* этажах аналогичен, с той разницей, что колонны на четных этажах не устанавливаются.

По окончании монтажа верхнего этажа от осей, вынесенных на верхнее перекрытие (или от параллельно смещенных линий), проверяют установку парапетных (ограждающих крышу) панелей и вентиляционных блоков.

Объемными (объемно-пространственными) блоками называются крупные железобетонные коробки в виде отдельных помещений или квартир, изготавливаемых в заводских условиях. *Объемные блоки* доставляются на строительную площадку с законченной наружной и внутренней отделкой, установленным внутренним оборудованием. На строительной площадке выполняется только монтаж блоков на заранее подготовленный фундамент, заделка стыков, сопряжение коммуникаций и устройство кровли.

Здания из крупных объемных блоков бывают следующих конструктивных типов (рис. 42):

- *блочные* (наиболее применяющиеся) – из отдельных *несущих* объемных блоков, которые устанавливаются один на другой;
- *панельно-блочные*, состоящие из *несущих* объемных блоков в сочетании с плоскими панелями стен и перекрытий;
- *каркасно-блочные*, состоящие из каркаса, на который опираются объемные блоки.

Способы опирания блоков друг на друга определяют и *конструкцию фундаментов* здания. В *блочных* и *каркасных* зданиях по углам применяют *столбчатые* фундаменты. При опирании блоков по *контур*у или *двум сторонам* применяют *ленточные* фундаменты. Наиболее целесообразным видом фундаментов являются *свайные*.

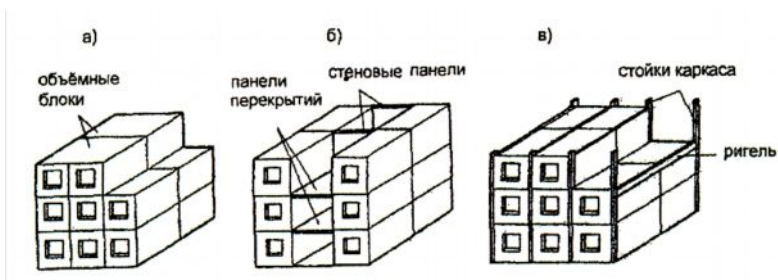


Рис. 42. Конструктивные схемы зданий из объёмных блоков:
а) блочная; б) панельно- блочная; в) каркасно-блочная

Крыша здания из объёмных блоков может быть совмещенной из специальных панелей или скатной из сборных пространственных элементов.

Объёмный блок – это готовая или подготовленная под отделку железобетонная коробка с установленным инженерным оборудованием (остеклены окна, навешены двери, смонтированы трубопроводы и санитарно-технические приборы и др.).

До монтажа блоков на каждом монтажном горизонте выносят и закрепляют рисками проектные оси, а также четыре марки по углам в местах установки блока на проектную высоту. По периметру блока укладывают и выравнивают полосу раствора шириной 150–200 мм на 3–5 мм выше марок.

При монтаже блоки подают к месту установки краном (вес блока составляет 20 т и более). Блоки временного закрепления не требуют, т. к. они достаточно устойчивы. В то же время их трудно после перемещать для окончательной установки в проектное положение совмещением рисок на перекрытии и блоке. Поэтому стремятся устанавливать блоки в проектное положение сразу без выверки. Для этого весьма эффективным является использование специальных фиксаторов, устанавливаемых в швах нижележащего этажа.

После установки блоков их скрепляют сваркой закладных деталей в соответствии с проектом.

При возведении зданий из монолитного железобетона от фундамента вертикально вверх монтируют каркас из стальных

стержней приблизительно на 15–20 см *более узкий*, чем проектная толщина стен, ограждают его с обеих сторон объемными щитами (обычно металлическими), т. е. *опалубкой*, или *постоянными железобетонными панелями*, и образовавшееся внутреннее пространство проектной толщины заполняют раствором бетона. После затвердевания бетона щиты поднимают вверх или монтируют следующий ряд железобетонных панелей над нижним и поступают аналогично.

Одним из прогрессивных способов возведения зданий из монолитного железобетона является непрерывное бетонирование металлического каркаса с помощью *скользящей опалубки*. Этим способом возводят различные монолитные сооружения: элеваторы, силосы, многоэтажные общественные и жилые здания, мостовые опоры, ядра жесткости и др.

Монтаж здания начинается с устройства на проектной отметке горизонтальной фундаментной плиты из монолитного железобетона. Для этого выносят и закрепляют основные оси здания, отрывают на проектную глубину котлован для фундамента и передают оси на дно котлована. В котловане *монтируют горизонтальный каркас* из арматурной стали, закрепляют на нем сваркой вынесенные от осей *арматурные стержни вертикальных стен* (длина стержней должна быть, как минимум, на 10 см больше толщины фундаментной плиты) и закладные детали. После *исполнительной съемки каркаса* и устранения выявленных недопустимых отклонений по контуру фундаментной плиты *устанавливают опалубку* и заливают каркас раствором бетона до проектной отметки, проверяя горизонтальность верхней плоскости плиты *нивелированием по квадратам*.

На фундаментной плите создают *внутреннюю сеть* здания, от пунктов которой выносят основные оси, контуры стен и металлического каркаса. К выходам арматурных стержней приваривают стальные стержни, проверяя их *вертикальность* отвесом, и монтируют каркасы стен до следующего монтажного горизонта. *На арматуру каркаса* выносят и монтируют закладные детали, проемы, ниши и т.д. *По окончании монтажа каркаса* выполняют его *исполнительную съемку*.

После устранения недопустимых отклонений приступают к установке скользящей опалубки по контуру стен из отдельных щитов высотой 1–1,5 м.

Перед монтажом опалубки нивелируют ее опорную площадку на фундаментной плите (площадка ограничена контуром стены) и вычисляют отметку нижней кромки щитов, для чего к максимальной отметке прибавляют 20–30 мм.

В плановое положение щиты устанавливают с помощью теодолита совмещением установочных рисок на них с контурными рисками стен на фундаментной плите (рис. 43).

В горизонтальное положение нижняя кромка каждого щита устанавливают с помощью подкладок соответствующей толщины, после чего проверяется горизонтальность верхней кромки щита нивелированием двух крайних его углов. В вертикальное положение щиты устанавливают по отвесу. Через каждые 1,5–2 м устанавливают строго вертикально с помощью теодолита специальные направляющие арматурные стержни для гидравлических домкратов на стальных рамах, которые связывают щиты опалубки (рис. 44).

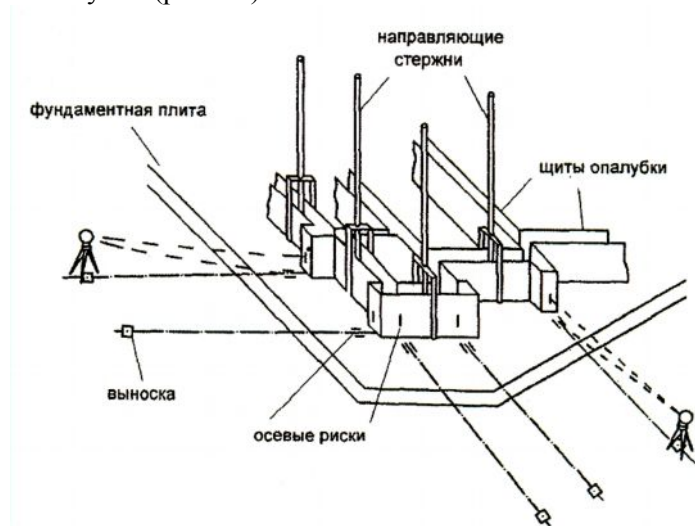


Рис. 43. Схема монтажа скользящей опалубки на фундаментной плите

Домкраты перемещаются по вертикальным стержням и одновременно поднимают вверх всю опалубку.

В состав геодезических работ при возведении монолитных зданий с помощью *скользящей опалубки* входит: контроль за движением опалубки по вертикали; контроль за горизонтальностью рабочего пола и его высотным положением; определение планового и высотного положения подъемных механизмов; передача отметок на рабочий пол опалубки по мере ее подъема; вынос проектных отметок для закладных деталей.

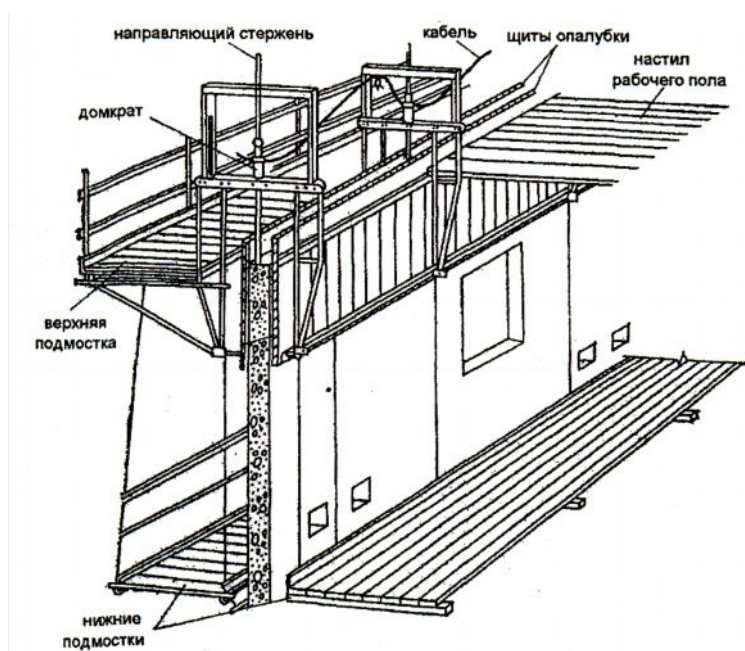


Рис. 44. Конструкция скользящей опалубки

Вертикальность движения опалубки контролируется отвесом, теодолитом или *надир-прибором*, установленным на опалубке. *Надир-прибор* предназначен для вертикального визирования *сверху вниз* (это обычно зенит-прибор с поворотной приз-

мой, которая изменяет на 180° направление визирного луча), и в отношении точности, удобства и безопасности работ его применение является наиболее предпочтительным.

По мере подъема опалубки через каждые 3–4 м высоты выполняют ее *планово-высотную исполнительную съемку*, по результатам которой определяют отклонение опалубки от вертикали и изменение ее формы, а также плановое и высотное положение закладных деталей.

На рабочий настил передают проектные отметки и контролируют горизонтальность по четырем его угловым точкам через каждые 10–20 см высоты. *Наклон пола* устраняют регулировкой хода домкратов.

Горизонтальность опалубки во время бетонирования контролируют нивелиром или по заранее вынесенным на домкратные стержни рискам.

Вертикальность готовых стен контролируют способами наклонного и вертикального визирования, бокового нивелирования или отвесами специальной конструкции.

После подвода подземных коммуникаций и возведения подземной части здания приступают к возведению *надземной* его части. Наиболее *ответственной* частью надземного цикла является возведение *несущих* кирпичных стен здания и монтаж вертикальных элементов его каркаса – *колонн*.

Разбивка надземной части кирпичного здания начинается с выноса и закрепления яркой краской *осей* несущих стен и их граней на горизонтальной поверхности цоколя. Выносят и закрепляют горизонтальными рисками внутри здания удобные *условные высоты* или *нулевой горизонт* (отметку чистого пола первого этажа).

Промерами рулеткой намечают расположение *внутренних стен* и *проемов* в соответствии с рабочим чертежом.

Кладка кирпичей выполняется горизонтальными и прямолинейными рядами, образующими вертикальные стены. Отклонение отдельных рядов от *горизонта* допускается не более 15 мм на 10 м длины. Отклонение стены от *вертикали* не должно превышать 10 мм на этаж и 30 мм на все здание.

Для обеспечения *горизонтальности рядов* по периметру цоколя выносят нулевой или смещенный горизонт и от него тщательно выкладывают несколько рядов внешних стен, на углах которых и через каждые 10 м горизонтальными рисками закрепляют один и тот же уровень. Рядом с рисками прибивают вертикальные рейки с делениями или вырезами через 75 мм (65 мм толщина кирпича, 10 мм толщина цементного раствора, на который укладывают кирпичи), так называемые *порядовки* (рис. 45). Шнур, натянутый между соответствующими делениями, образует горизонтальную и прямую линию кладки.

По мере возведения стен оси *систематически* выносят на грани стен. *Первую выноску* делают на высоте стен около 2 м. Оси обязательно выносят *на каждый этаж* здания. На значительные высоты перенос осей теодолитом становится затруднительным. Кроме того, резко возрастают погрешности переноса. Поэтому наклонным проектированием перенос осей выше 8–10 этажей нецелесообразен.

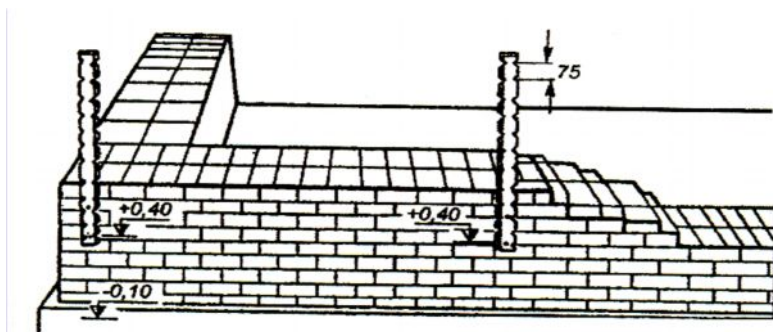


Рис. 45. Установка порядовок для кирпичной кладки стен

Вертикальность стен проверяется отвесом. От нити отвеса до стены измеряют через определенные интервалы (например, через 1 м) горизонтальные отрезки, разность которых характеризует отклонение стены от вертикальной линии.

Высоты на этажи здания передаются при помощи нивелира, рейки и подвешенной рулетки.

Разбивка перегородок, лестниц, балконов, дверных и оконных проемов и т. д. выполняется рулеткой от осей и высотных рисков.

Существует *механизм* для автоматической кладки кирпичей. *Установка* механизма выполняется по разбивочным осям с помощью теодолита, а по высоте с помощью нивелира.

ГЛАВА 4. ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ ПРИ МОНТАЖЕ КОЛОНН

При строительстве каркасных зданий наиболее ответственными работами является установка колонн. Колонны устанавливают на предварительно подготовленные фундаменты с осевыми рисками: *железобетонные* – на фундаменты – стаканы, *стальные* – на фундаменты с анкерными болтами (рис. 46).

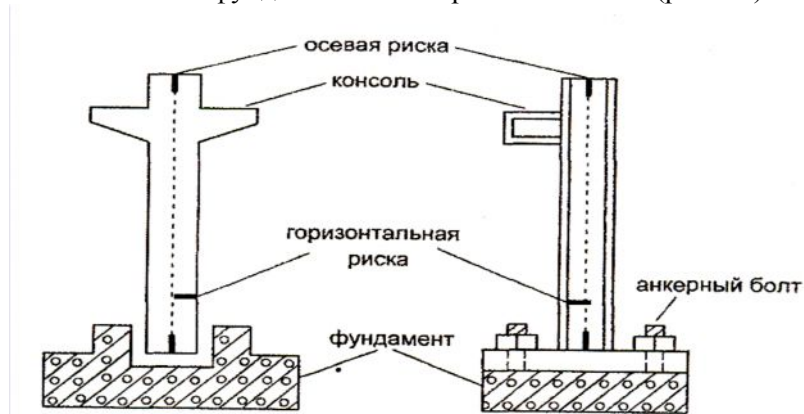


Рис. 46. Колонны на фундаментах:
а) железобетонная; б) металлическая

Опорную поверхность фундамента под *стальную колонну* доводят на проектную отметку, а дно стакана фундамента – под железобетонную колонну обычно не доводят до проектной отметки на 2–3 см.

Установке колонны предшествует ее тщательная *подготовка*:

- внешний осмотр (подбор пригодной колонны без повреждений, трещин, прогибов, перекосов и т. п.), очистка от пыли и грязи;

- разметка, которая заключается в нанесении яркой краской на гранях колонны тонких осевых рисков *внизу* (для установки колонны на разбивочной оси) и *вверху* (для установки колонны в вертикальное положение), а также *горизонтальной риски* на одном и том же расстоянии от основания колонны (обычно с таким

расчетом, чтобы горизонтальная риска находилась на уровне пола данного этажа, т.е. имела нулевую условную отметку);

– контроль геометрических параметров (определение фактических размеров), в процессе которого измеряют компа-

рированной рулеткой длину колонны l , расстояния h_1 от горизонтальной риски до консоли и h_2 от консоли до верха (оголовка) колонны, а также ширину всех граней в нижней и верхней частях колонны (элементы нижнего и верхнего поперечного сечений P_1 и P_2) (рис. 47, а). Результаты измерений заносят в специальный журнал. Эти размеры в дальнейшем позволяют вычислить высоты верхних частей колонны без подъема с инструментами на колонны, а также используются при исполнительной съемке колонн.

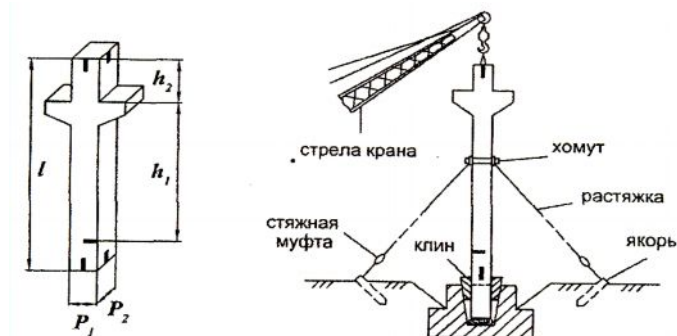


Рис. 47. Установка железобетонных колонн:
а) контроль геометрических параметров колонны;
б) временное закрепление колонны

Отклонения геометрических параметров от проектных не должны превышать установленных допусков, т. к. большие отклонения затрудняют или не позволяют выполнять строительномонтажные работы.

Установка колонны выполняется в такой последовательности: подъем; временное закрепление на фундаменте с помощью растяжек или специальных устройств (шаблонов, кондукторов,

индикаторов и т. п.) (рис. 47, б), *выверка*, т. е. определение величин перемещений в плане и по высоте для окончательной установки колонны в проектное положение; установка в проектное положение и окончательное закрепление; исполнительная съемка колонн.

В плановое положение колонну устанавливают с помощью крана, для чего колонну поднимают вертикально над фундаментом и совмещают ее нижние риски с соответствующими рисками на стакане фундамента, дно которого предварительно *доводится до проектной отметки* укладкой слоя бетона, песка или цемента соответствующей толщины.

На проектную высоту колонну устанавливают по горизонтальной риске с помощью нивелира, поднимая или опуская колонну краном.

После предварительной установки колонну *временно* закрепляют (например, с помощью растяжек, рис. 47, б), удерживая колонну краном.

В вертикальное положение колонны высотой до 5 м устанавливают с помощью двух тяжелых *отвесов*, нити которых укрепляют на верхних рисках взаимно перпендикулярных граней перед подъемом колонны. Для этой цели предварительно готовят приспособление для подвеса нитей (к оголовку приваривают штыри строго на осях граней, используют специальный кронштейн и т. п.). Наклоняя колонну вращением стяжных муфт (*тензоров*) на растяжках, совмещают острие каждого отвеса с нижней риской. В зазоры стакана вбивают деревянные клинья и с их помощью уточняют установку колонны на разбивочной оси (в плане) (рис. 47, б). Колонны *высотой более 5 м* устанавливают в отвесное положение с помощью *теодолита*. Для этого теодолит устанавливают на разбивочной оси на расстоянии, большем, чем высота колонны (чтобы зрительную трубу не наклонять более чем на 45°), наводят на нижнюю осевую риску колонны и проектируют ее на верх колонны вращением зрительной трубы (рис. 48).

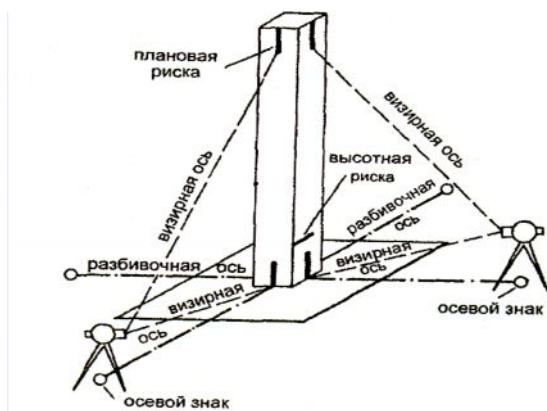


Рис. 48. Схема установки и выверки колонны с помощью теодолита

Растяжками, перпендикулярными визирной оси, наклоняют колонну до совмещения верхней риска с визирной осью. Переводят зрительную трубу через зенит и снова проектируют нижнюю риску на верх колонны при другом положении вертикального круга. Если верхняя риска не совпала с вертикальной нитью поднятой трубы, то колонну наклоняют на половину величины этого несовпадения, которую находят по среднему отсчету горизонтально круга на нижнюю и верхнюю риски колонны. Затем теодолит переносят на перпендикулярную разбивочную ось и поступают аналогично, наклоняя колонну другой парой растяжек. После установки колонны в вертикальное положение забивают деревянные клинья в зазоры стакана так, чтобы колонна при этом не сместилась с разбивочной оси.

Выверка перпендикулярности предварительно установленных и закрепленных колонн выполняется теперь уже проектированием верхних осевых рисков вниз на основание колонны с помощью отвесов (при высоте колонн до 5 м) или теодолита (при больших высотах колонн, рис. 48) и измерением расстояний от полученных проекций до нижних рисков сначала в одной плоскости, а потом в перпендикулярной к ней. Полученные отрезки характеризуют наклон колонны в линейной мере.

Если колонны расположены в ряд по оси, то их выверку целесообразно выполнять способом бокового нивелирования (рис. 49), который заключается в определении длины рейки, прикладываемой горизонтально к нижней и верхней рискам каждой колонны, до линии, параллельной разбивочной оси (бокового расстояния).

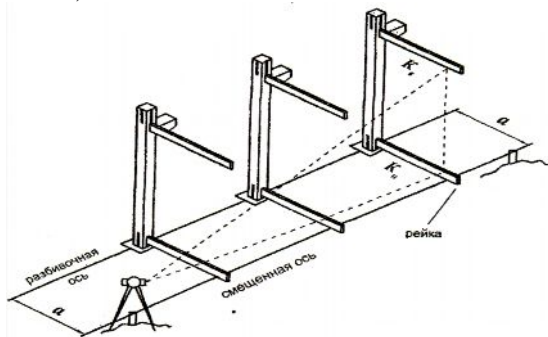


Рис. 49. Выверка ряда колонн способом бокового нивелирования

Для этого *перпендикулярно разбивочной оси* в конечных ее точках откладывают и закрепляют равные отрезки a , меньшие, чем длина используемой легкой рейки (обычно не более 1 м), надежно закрепляют знаками и обозначают на них насечкой или точкой отложенные от оси расстояния с точностью до 1 мм (строят смещенную ось). На одном из пунктов устанавливают теодолит с помощью оптического отвеса, визирную ось наводят на второй пункт этой линии и *закрепляют* алидаду горизонтального круга и зрительную трубу. К осевым рискам граней *внизу* и *вверху* колонны прикладывают основанием рейку с миллиметровой шкалой, наклоном трубы, не касаясь винта алидады горизонтального круга, наводят на рейку и вертикальной нитью выполняют отсчеты по ее шкале до 1 мм: *нижний* K_n и *верхний* K_v , после чего *проверяют* установку зрительной трубы на второй пункт линии ориентирования. Если не замечено смещения визирной оси (в противном случае отсчеты K_n и K_v выполняют заново), то зрительную трубу переводят через зенит, снова ориентируют визир-

ную ось вдоль построенной линии, выполняют два аналогичных отсчета для данной колонны при другом положении вертикального круга и вычисляют их *средние* значения: K_n^{cp} и K_v^{cp} .

Отличие среднего нижнего отсчета K_n^{cp} от отрезка a является величиной смещения оси данной колонны от разбивочной оси, т. е. является погрешностью *планового* положения колонны:

$$\Delta K_{пл} = K_n^{cp} - a. \quad (36)$$

Разность отсчетов верхнего K_n^{cp} и нижнего K_v^{cp} является отклонением колонны *по вертикали* в плоскости, перпендикулярной разбивочной оси

$$\Delta K_{верт} = K_v^{cp} - K_n^{cp}. \quad (37)$$

Аналогичные измерения выполняются и по перпендикулярной разбивочной оси.

Плановые смещения устраняют перемещением основания колонны в нужную сторону с помощью клиньев, *отклонения от вертикали* – наклоном колонны путем натяжения соответствующей растяжки (или другим способом в зависимости от применяемых средств).

Допустимые погрешности установки колонны: в плане 5 мм; по вертикали 1:1000 высоты колонны, но не более 35 мм для высоких колонн.

В процессе установки *определяют отметку нижней горизонтальной риски*, которая не должна отличаться от проектной более чем на 5 мм.

После устранения недопустимых отклонений колонны окончательно закрепляют и заливают стаканы фундаментов бетоном.

Установка колонн должна выполняться с помощью *выверенных* точных геодезических приборов: теодолитов типа Т2 и Т5, нивелиров типа Н-3.

Недостатками способа бокового нивелирования являются организационная сложность и опасность прикладывания рейки к верхним рискам колонн. Весьма эффективным является исполь-

зование специальных реечек на легких раздвижных шестах.

Металлическую колонну *поднимают краном* и устанавливают на подготовленный фундамент, поверхность которого *доведена до проектной отметки*. При этом *анкерные болты* должны войти в соответствующие отверстия башмака колонны, а осевые *риски колонны* – совпасть с соответствующими рисками на геодезических знаках фундамента. Колонну *временно* закрепляют на анкерных болтах гайками, удерживая ее краном.

В вертикальное положение колонну устанавливают с помощью отвесов или теодолита так же, как железобетонную колонну. Наклон колонны в нужную сторону выполняется с помощью гаек на анкерных болтах, при необходимости зачищая бетонную поверхность фундамента в нужных местах. При тщательной подготовке фундамента зачистки его поверхности обычно не требуется.

Выверка стальных колонн в плане, по вертикали и по высоте выполняется так же, как и железобетонных колонн. Допускаемые отклонения для стальных колонн те же, что и для железобетонных. Если опорной плоскостью фундамента является специально обработанная металлическая пластина (обычно фрезерованная), то в вертикальное положение колонна устанавливается сразу, и в этом случае ее выверки не требуется.

После устранения недопустимых отклонений колонны *окончательно* закрепляются на анкерных болтах сваркой и определяется геометрическим нивелированием *отметка горизонтальной риски*, которая не должна отличаться от проектной более чем на 5 мм.

В последнее время для установки колонн в вертикальное положение применяют специальные устройства (кондукторы, шаблоны, индикаторы и т. п.), позволяющие выполнять монтажные работы без геодезических наблюдений. Однако выверка этих устройств при их установке выполняется с помощью геодезических приборов.

Каркас многоэтажного здания состоит из *сборных* железобетонных колонн высотой обычно *в два этажа*. Колонны нижнего этажа опираются на фундаменты стаканного типа и имеют

стальной оголовки. Колонны каждого следующего этажа опираются также стальным основанием на оголовки нижнего яруса и скрепляются с ними сваркой.

Совмещение колонн на разных горизонтах в плане и установка их в вертикальное положение являются наиболее *ответственной* частью монтажа сборных многоэтажных зданий. Колонны стыкуют на уровне 0,6 м от уровня пола для удобства монтажных работ (рис. 50).

Установка многоярусных колонн выполняется в такой последовательности:

- построение опорной сети на исходном горизонте;
- проектирование исходных пунктов опорной сети на монтажный горизонт;
- построение плановой и высотной сетей на монтажном горизонте;
- детальная разбивка осей и их закрепление: на *фундаментах* колонн нижнего этажа; на *оголовках* колонн монтажного горизонта;
- подъем колонн;
- временное закрепление колонн;
- установка колонн в проектное положение и их окончательное закрепление (рис. 50);
- исполнительная съемка колонн.

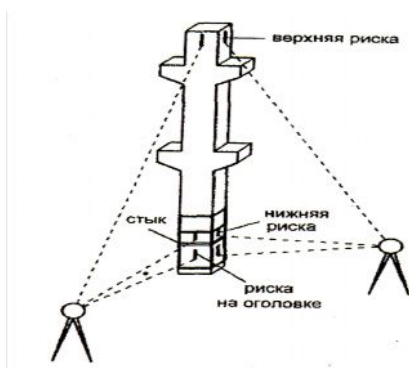


Рис. 50. Установка сборной колонны

Монтаж колонн на каждом монтажном горизонте выполняется так же, как было указано ранее. Аналогичные циклы повторяются на каждом монтажном горизонте до полного завершения строительства зданий.

4.1. Исполнительная съемка колонн

Исполнительная съемка колонн выполняется после завершения монтажа, окончательного закрепления и снятия монтажного оборудования.

Исполнительная съемка колонн заключается в определении отклонений: центров нижнего Δ_n и верхнего Δ_v , сечений каждой колонны от разбивочной оси (*плановая исполнительная съемка*); Δ_h – отметок опорных плоскостей (оголовка и консолей) от проектных (*высотная съемка*).

При *плановой исполнительной съемке* отклонение оси колонны от разбивочной оси в нижнем сечении определяют промерами от разбивочных осей *до ребер* снимаемой колонны. Аналогичные отклонения *верхнего сечения* колонны определяют после проектирования верхних осевых рисок вниз. Съемку *верха сборной колонны* выполняют после переноса и закрепления разбивочных осей на оголовках ее составных частей. Результаты измерений заносят в журнал и вычисляют отклонения для каждой грани нижнего и верхнего сечения колонны.

Плановая съемка колонн выполняется также способом *бокового нивелирования*, по результатам которого можно сразу вычислить отклонения центра каждой колонны от разбивочной оси по формулам, вытекающим из рис. 51, а.

Если рейка прикладывалась к *нижним и верхним рискам граней*, параллельных разбивочной оси (каждая колонна имеет одну такую грань), то отклонения центров нижнего Δ_n и верхнего Δ_v , сечений колонны от разбивочной оси вычисляют по формулам

$$\left. \begin{aligned} \Delta_n &= a - K_n - 0,5d; \\ \Delta_v &= a - K_v - 0,5d; \end{aligned} \right\}, \quad (36)$$

где a – расстояние от разбивочной оси до параллельной линии (смещенной оси); K_n – средний из *нижних* отсчетов по рейке, выполненных при двух положениях вертикального круга; K_v – средний из двух аналогичных *верхних* отсчетов по рейке; d – толщина колонны, вычисляемая как среднее ширины противоположных граней.

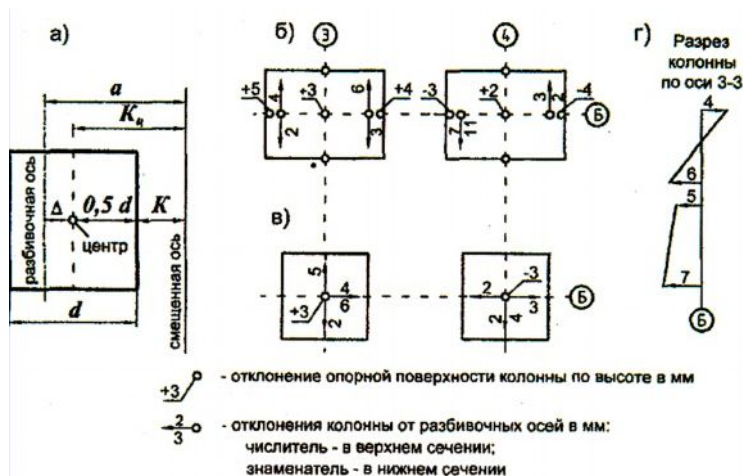


Рис. 51. Исполнительная съёмка колонн:

- a – вычисление отклонений центра колонны от разбивочной оси;
 b – схема отклонений граней; $в$ – схема отклонений центров колонн;
 $г$ – схема отклонений по вертикали сборных колонн

Если рейка прикладывалась к осевым рискам граней, параллельных разбивочной оси (каждая колонна имеет две такие грани), то отклонения центров колонны от разбивочной оси вычисляются по формулам

$$\left. \begin{aligned} \Delta_n &= a - K_n^u; \\ \Delta_v &= a - K_v^u; \end{aligned} \right\} \quad (37)$$

где K_n^u – средний из *нижних* отсчетов, выполненных при двух положениях вертикального круга на каждой из двух граней; K_v^u – средний из аналогичных *верхних* отсчетов.

При высотной съемке геометрическим нивелированием определяют отметки опорных поверхностей колонн и вычисляют отклонения от проектных отметок. Нивелир устанавливают на перекрытии монтажного горизонта, заднюю рейку с миллиметровыми делениями – на строительный репер, а к определяемой поверхности подвешивают нулевым делением рейку или рулетку с миллиметровой шкалой и берут отсчеты (рис. 52): $З$ – по задней рейке и K – по подвешенной на колонне рейке (рулетке).

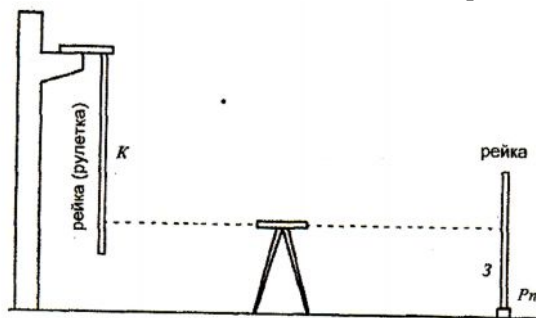


Рис. 52. Схема высотной исполнительной съёмки колонн

Фактическую отметку H_{ϕ} поверхности вычисляют через горизонт инструмента $ГИ = H_{рп} + З$ по формуле

$$H_{\phi} = ГИ + K.$$

С одной установки нивелира выполняют съёмку нескольких колонн. Для контроля в конце наблюдений на каждой станции выполняют отсчет по рейке на другом репере. Отклонения фактических высот H_{ϕ} от проектных $H_{пр}$ вычисляют по формуле

$$\Delta = H_{\phi} - H_{пр}.$$

Результаты исполнительных плановой и высотной съёмок оформляют в виде схем, которые обычно совмещают. На схемах показывают отклонения от разбивочной оси всех граней в ниж-

нем и верхнем сечении колонны (рис. 51, б) или отклонение от разбивочной оси центра колонны (рис. 51, в), вычисленные по вышеуказанным формулам.

Отклонения центров нижнего и верхнего сечения колонны можно вычислить как среднее арифметическое отклонение противоположных граней соответствующих сечений с учетом направления этих отклонений (при одинаковых направлениях отклонения складываются, при противоположных – вычисляются).

При исполнительной съемке сборных колонн составляют разрез, на котором показывают отклонения от вертикали каждого звена сборной колонны (рис. 51, г).

4.2. Высотная установка и выверка конструкций и оборудования. Средства геодезического инструментального контроля качества строительно-монтажных работ

В строительно-монтажном производстве и при наблюдениях за деформацией сооружений и оборудования выверка вертикальности конструкций является наиболее распространенным процессом. Ее выполняют следующими основными методами: механической вертикали (струнный отвес, монтажная линейка с накладным уровнем или оптическим квадрантом, рейка-уровень, рейка-отвес), оптической вертикали (прибор вертикального визирования, теодолит, оптический центрир), вертикальной референтной плоскости (коллимационной плоскости теодолита, лазерного планосканера и др.).

При выверке вертикальности конструкций струну отвеса укрепляют при помощи кронштейна в ее верхней части, а внизу к струне прикрепляют груз, погружаемый в демпфирующую жидкость (трансформаторное или автомобильное масло).

Измерения отклонений конструкций от вертикали осуществляют, как правило, при помощи нутромера. Для исключения погрешности контактирования со струной в нутромере применяют электроконтактную микрометрическую головку. Основание нутромера для большего контакта с выверяемой конструкцией и удобства выполнения измерений выполнено с магнит-

ным прихватом. Система электрического контакта нутромера, состоящая из миллиамперметра, наушников телефонного типа, регулировочных сопротивлений и источника питания (батарей), обеспечивает нулевое измерительное усилие контактирования нутромера со струной. Одну клемму батареи присоединяют к нутрометру, а вторую – к подвешенной струне, изолированной специальной втулкой на кронштейне от выверяемой конструкции. Точность способа зависит главным образом от шероховатости конструкции и точности измерений микрометрической головкой нутромера.

При большой высоте конструкций или повышенных требованиях к установке используют метод оптической или лазерной вертикали. Методика работ этими методами показана ниже на примере установки колонн и ионизационных каналов АЭС.

Контроль вертикальности колонн при помощи навесных приборов

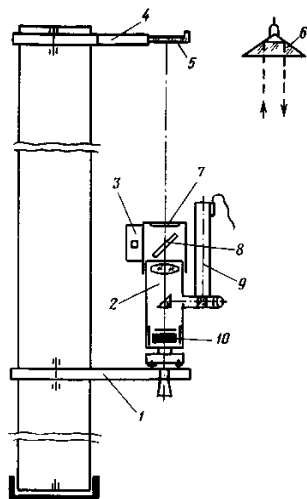


Рис. 53. Схема выверки вертикальности колонны навесными приборами

В практике монтажа каркасов котлов, стеллажей и этажерок вертикальность колонн можно контролировать приборами, навешенными непосредственно на устанавливаемые конструкции. Навесной прибор (рис. 53) содержит датчик вертикали 10, зрительную трубу 2 и приемное устройство 5, размещенные на одинаковых кронштейнах 1, 4, обеспечивающих параллельность линии визирования и оси конструкции. Датчик вертикали обычно включают в оптическую схему зрительной трубы. Например, жидкостный стабилизатор вертикали, расположенный на половине фокусного расстояния

объектива, выполняет одновременно роль фокусирующей системы трубы. Визирную марку с координатной палеткой устанавливают на кронштейне до подъема конструкции краном, а прибор вертикального визирования после приведения и временного закрепления колонны – примерно в отвесном положении. После закрепления прибора на кронштейне приводят его по широкопредельному круглому уровню в рабочее положение, когда вступает в действие датчик вертикали. Визируя зрительной трубой на марку, определяют двухкоординатные элементы крена и координируют положение колонны. После этого вторично измеряют элементы крена и при необходимости доводят ось колонны в отвесное положение. В лазерном исполнении тот же прибор вертикального визирования оборудуется насадкой, включающей источник лазерного излучения 9, отражатель (трипельпризма) 5, полупрозрачное зеркало 8, защитное стекло 7, фотодетектор 3. При необходимости фотодетектор снабжают усилителем и мультивибратором, подающим звуковой сигнал об отвесном положении конструкции.

Луч лазера сначала подается на светоделительную кубпризму – сетки нитей трубы, направляется на отклоняющую призму, жидкостный компенсатор, объектив трубы, полупрозрачное зеркало, защитную пластинку и отражатель. Затем он проходит защитную пластинку, падает на полупрозрачное зеркало и, отражаясь от него, входит в фотодетектор.

Работа с лазерным прибором осуществляется по аналогичной методике, но вместо координатной палетки на кронштейне устанавливают отражатель, причем его можно закреплять там постоянно или подавать наверх при помощи троса, вставленного в отверстие и блок консоли на земле перед подъемом колонны краном. После установки колонны примерно в отвесное положение, когда лазерный луч попадает в зону действия отражателя, обратный световой сигнал принимается фотодетектором, где также измеряются двухкоординатные элементы крена колонны.

Достоинством такого прибора является возможность двухсторонней стабилизации вертикали и работы в двух режимах (визуальном и лазерном).

Близка к описанной предложенная О.Л. Тыщуком методика выверки вертикальности оси ротора циркуляционного насоса при помощи нивелира N1007 (ГДР) с насаженной на прибор пентапризмой и установленной перед ней плоскопараллельной пластинкой оптического микрометра. Прибор устанавливают над верхним вкладышем подшипника, а в центре нижнего отверстия вкладыша размещают в суппорте визирную марку, соединенную с часовым индикатором. Погрешность измерения в этом случае оказалась равной 0,08 мм при допускаемой 0,1–0,15 мм (длина ротора 5 м).

Выверка вертикальности ионизационных каналов. Ионизационные каналы (ИК) АЭС предназначены для проверки радиоактивности вокруг реактора при помощи опускаемых в них ионизационных приборов.

Составные трубы ИК должны быть расположены вертикально с погрешностью не более 1–2 мм на всю высоту (до 14 м).

В процессе монтажа вертикальность труб ИК контролируют обычными средствами: теодолитом или отвесом. Основная трудность состоит в исполнительной съемке труб до и после укладки бетона, т. к. в процессе бетонирования возможны нарушения в их положении. Так как съемку производят по отдельным сечениям, расположенным по вертикали через 1 м, то наиболее эффективным является редуционный способ. В основу этого способа положено использование самоцентрирующейся визирной марки (центроискателя) 4 (рис. 54) и прибора вертикального визирования типа PZL 7, установленного на редуционной подставке 9. Центроискатель состоит из цилиндрического корпуса, в нижней и верхней частях которого установлено по три подпружиненных шарика 5, обеспечивающих совмещение и фиксацию оси корпуса центроискателя с осью ИК. В нижней части корпуса закреплена визирная цель 3, подсвечиваемая электролампочкой 8 от батареи 7. В ионизационном канале 2 центроискатель подвешивают на заданной высоте при помощи рулетки 6, которая одновременно используется для фиксации отметки измеряемого сечения. Прибор типа PZL устанавливают на редуционную подставку 9, которая позволяет перемещать

его в двух взаимно перпендикулярных направлениях, отсчитывая величины перемещений $a = x - x_0$ и $b = y - y_0$ на координатных шкалах подставки, где x_0 , x и y_0 , y – отсчеты на шкалах подставки, соответствующие исходному положению прибора (основанию трубы ИК) и положению прибора при съемке текущей точки сечения.

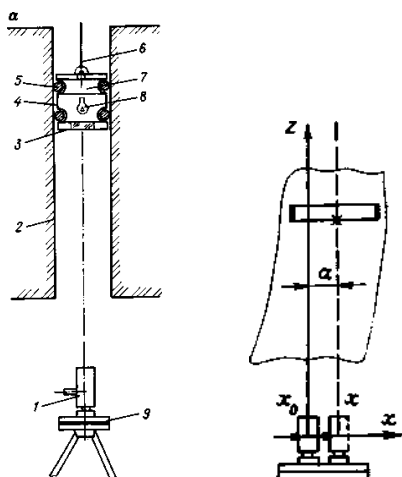


Рис. 54. Схема выверки вертикальности ионизационного канала:
а – схема наблюдений; б – составляющие крена

По измеренным смещениям a и b можно вычислить общее смещение c центра сечения ИК в текущей точке относительно основания ИК и его условный азимут e :

$$c = \sqrt{a^2 + b^2}, e = \arctg(b/a). \quad (40)$$

Измерение крена способом прямой угловой засечки. В основу способа положен метод построения вертикальной референтной плоскости при помощи теодолита.

Для определения крена требуются наблюдения в двух плоскостях, составляющих между собой, в общем случае, двугранный угол γ . Для контроля измерений наблюдения обычно выполняют в трех и более плоскостях. Каждая коллимационная

Наблюдения проводят при двух положениях круга несколькими приемами (обычно не менее двух). По разности одноименных направлений находят разностные углы:

$$\Delta\beta_1 = \beta_1 - \beta_1^o; \Delta\beta_2 = \beta_2 - \beta_2^o, \quad (41)$$

которые при вертикальном положении конструкции равны нулю.

Знак и величина угла $\Delta\beta$ характеризуют направление и степень отклонения конструкции от вертикали: при положительном значении угла верх отклонен вправо от низа, а при отрицательном – влево.

Для определения отклонения в линейной мере (крена) необходимо измерить расстояния S_1 и S_2 от теодолитов до центра конструкции. Тогда крены будут следующими:

$$q_1 = s_1 \frac{\Delta\beta_1}{\rho}; \quad q_2 = s_2 \frac{\Delta\beta_2}{\rho}. \quad (42)$$

Если линии визирования теодолитов взаимно перпендикулярны, то общий крен r и его азимут α_r определяют по формулам $r = q_1^2 + q_2^2$; $\alpha_r = \alpha_1 + \arctg(q_1 / q_2)$, а если они составляют угол $\gamma = \alpha_2 - \alpha_1$, то находят проекции общего крена на оси координат, общий крен и его ориентировку (азимут по формулам):

$$r_x = \frac{q_2 \cos \alpha_1 - q_1 \cos \alpha_2}{\sin \gamma}; \quad r_y = \frac{q_2 \sin \alpha_1 - q_1 \sin \alpha_2}{\sin \gamma}; \quad (43)$$

$$r = r_x^2 + r_y^2; \quad \alpha_r = \arctg(r_y / r_x),$$

где α_1, α_2 – азимуты направлений визирования (засечки).

Последний способ чаще применяют при эксплуатации сооружений и оборудования. Для контроля измерений наблюдения крена проводят с 3–4 станций.

Наклон конструкции и элементов оборудования проверяют различными способами: нивелированием, при помощи теодоли-

та, при помощи оптического квадранта.

При выверке наклонности методом нивелирования (геометрического или гидростатического) определяют превышение точек и расстояние между ними. Тогда искомый уклон и угол наклона находят по формуле

$$I = h / L; v = \arctg(h / L), \quad (44)$$

где h, L – превышение и расстояние между нивелируемыми точками; I – уклон; v – угол наклона.

Погрешности определяемых величин определяют по формулам:

$$m_v = \frac{\rho}{L^2 + h^2} \sqrt{(Lm_h)^2 + (hm_L)^2}; \quad (45)$$

$$m_I = \frac{I}{L} \sqrt{m_h^2 + (Im_L)^2}, \quad (46)$$

где m_h, m_L – погрешности измерения превышения и расстояния (горизонтального приложения) между выверяемыми точками.

Для выверки наклона конструкции теодолитом используют вертикальный круг и измеряют углы наклона v_1 и v_2 при визировании на визирные марки, установленные в выверяемых точках (рис. 56, а).

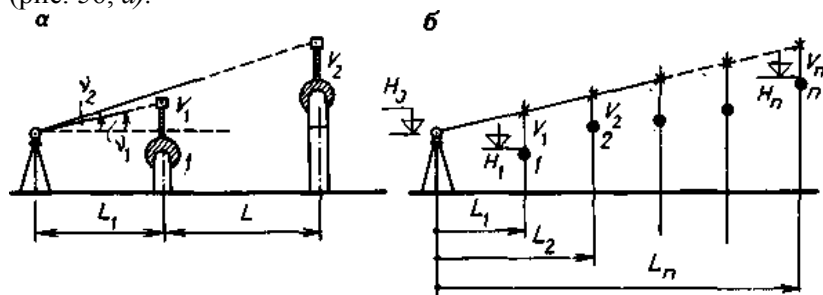


Рис. 56. Способы нивелирования наклонных конструкций:
а – тригонометрический; б – наклонным створом

Тогда отметки H_1 и H_2 искомых точек, превышение между ними и уклон будут следующими:

$$\begin{aligned} H_1 &= H_I + L_1 \operatorname{tg} v_1 - \vartheta_1; H_2 = H_1 + (L_1 + L) \operatorname{tg} v_2 - \vartheta_2; \\ h &= (L_1 + L) \operatorname{tg} v_2 - L_1 \operatorname{tg} v_1 - (V_2 - V_1); \\ I &= \left(\frac{L_1}{L} + I \right) \operatorname{tg} v_2 - \frac{L_1}{L} \operatorname{tg} v_1 - \frac{V_2 - V_1}{L}. \end{aligned} \quad (47)$$

При выверке наклонности рольгангов и других подобных элементов оборудования сначала задают плановое положение точек, а затем проверяют положение этих точек по высоте. В практике многих работ высоты марок одинаковы и поэтому разность $v_2 - v_1$ равна нулю. Более того, при фиксированном плановом положении точек оборудования коэффициенты $\operatorname{tg} v$ будут постоянными.

Первую (исходную) точку оборудования обычно задают отметкой и выводят ее на заданный уровень при помощи нивелира. Поэтому, измерив на эту точку угол наклона v_1 , проектное значение угла наклона v_2 на вторую точку оборудования, найдем по формуле

$$v_2 = \operatorname{arctg} \frac{L}{L_1 + L} \left[\left(I + \frac{L_1}{L} + \operatorname{tg} v_1 \right) + \frac{V_2 - V_1}{L} \right], \quad (48)$$

где I – проектный уклон. Сопоставив вычисленный угол v_2 с его измеренным значением v_2' , т. е., зная разность $(v_2 - v_1')$, можно вывести зрительную трубу теодолита на заданный наклон, установив на круге угол $v_2 = v_2' + (v_2 - v_2')$. При этом наклоне закрепляют трубу и конструкцию поднимают или опускают до тех пор, пока визирная марка высотой v_2 не окажется в точке пересечения сетки нитей.

При затруднениях в контроле перемещения конструкции по результатам измерений углов наклона монтажникам выдают величину смещения (рихтовки) по высоте, определяемую по формуле

$$\Delta H = \frac{(L_1 + L)(v_2 - v_2')}{p \cos^2 v_2}. \quad (49)$$

Этот метод чаще всего можно использовать при исполнительной съемке оборудования, например криволинейных конвейеров УНРС, наклонных транспортеров и т. п.

При выверке наклона протяженных линий, когда погрешности измерения углов наклона теодолитом могут оказать доминирующее влияние на точность способа тригонометрического нивелирования, применяют способ наклонного створа. Для этого геометрическим нивелированием определяют отметки H_1 и H_n начальной и конечной точек створа (оборудования). Затем на некотором неизвестном расстоянии от начальной точки оборудования устанавливают теодолит, ориентируют зрительную трубу по оси оборудования и под углом наклона, близким к проектному наклону технологической линии, и так, чтобы с одной стоянки прибора были видны все точки створа (рис. 56, б). В этом случае, при постоянном наклоне визирной оси трубы к горизонту, производят отсчеты $v_1, v_2, \dots, v_i, \dots, v_n$ по рейке (или марке с микрометрической головкой), последовательно устанавливаемой на начальной, всех промежуточных и конечной точках наклонного створа. Измерив затем горизонтальные проложения L_i или соответствующие им наклонные расстояния S_i между точками оборудования, определяют угол наклона линии визирования к горизонту по формулам

$$\operatorname{tg} v = h / L_n; \sin v = h / s_n; h = H_n - H_1 + V_n - V_1 \quad (50)$$

и отметки всех промежуточных точек наклонного створа

$$H_i = H_l + \frac{h}{L_n} L_i = H_l + \frac{h}{s_n} S_i, \quad (51)$$

где H_l — горизонт теодолита.

Погрешность определения отметки какой-либо точки выражается зависимостями

$$m_H = \frac{s}{s_n} h \sqrt{2\left(\frac{m_s}{s}\right)^2 + \left(\frac{m_h}{h}\right)^2}; \quad (52)$$

$$m_h = \sqrt{2(m_H^2 + m_V^2)}. \quad (53)$$

По малости величины m_v в погрешность превышения m_h практически входит погрешность нивелирной связи двух точек оборудования, зависящая от точности нивелирования (класса). Если начальная и конечная точки наклонного створа находятся на разных уровнях, то для определения разности их отметок проводят передачу высоты при помощи рулетки и двух нивелиров.

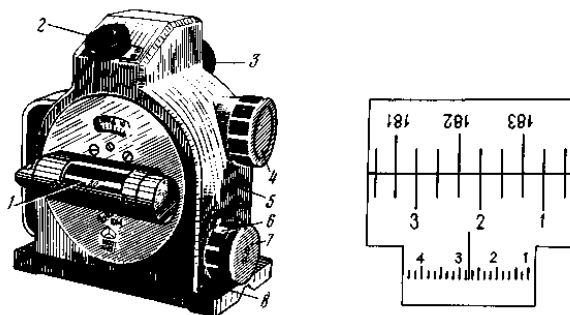


Рис. 57. Оптический квадрант КО–10 м Рис.41.

Поле зрения отсчетного микроскопа оптического квадранта КО–10 м

Для измерения углов наклона плоских и цилиндрических конструкций оборудования, а также установки их под заданным

углом к горизонту применяют оптический квадрант КО–1М, КО–10М и др. Основными частями квадранта, например КО–ЮМ (рис. 57), являются: магнитное основание 8, корпус 5 с неподвижно закрепленным в нем стеклянным лимбом, поворотный круг – алидада с отсчетным микроскопом 2, цилиндрическим уровнем 1. На корпусе имеются закрепительный и наводящий (коаксиальные) винты 6 и 7 поворотного круга, связанного с уровнями, винт оптического микрометра 4 и зеркало подсветки круга 3.

В процессе измерений прибор устанавливают на плоскость (поверхность) конструкции, ослабляют зажимной винт и вращают рукой алидаду с уровнем до тех пор, пока пузырек продольного уровня не окажется в середине ампулы (цена деления уровня 10'). Затем при закрепленном зажимном винте вращением наводящего винта пузырек продольного уровня приводят точно в нуль-пункт и после совмещения микрометром изображений диаметрально противоположных частей лимба проводят отсчет угла по шкале микроскопа (цена деления шкалы 10"). На рис. 57 этот отсчет равен $2^{\circ}12'44''$. Аналогичное измерение проводят при перестановке прибора на 180° .

При установке прибора на выверяемой поверхности необходимо исключить его поперечный наклон, наблюдая за положением пузырька поперечного уровня.

Для установки конструкции под заданным уклоном необходимый угол наклона устанавливают на лимбе, помещают прибор на поверхность этой конструкции и наклоняют ее до тех пор, пока пузырек продольного уровня не окажется в нуль-пункте. Магнитное основание обеспечивает надежный контакт прибора с поверхностью конструкции. Если требуется проверить наклон двух смежных роликов (или секции рольганга), на них устанавливают сначала контрольную линейку, а на линейку – прибор.

При измерении углов наклона необходимо учитывать место нуля, которое определяют путем установки прибора на одной и той же поверхности при перестановке его на 180° . Место нуля определяют по формуле

$$MO = (V_1 + V_2 - 360^\circ) / 2, \quad (54)$$

где V_1, V_2 – отсчеты по кругу при двух положениях прибора.

Юстировку МО проводят исправительными винтами уровня при установке на приборе значения угла наклона рабочей поверхности

$$v = V_1 - MO = MO - V_2. \quad (55)$$

Точность измерений оптическим квадрантом зависит главным образом от чистоты рабочей поверхности выверяемых конструкций. Опыт работы с прибором показывает, что при использовании контрольной линейки погрешность задания наклонной поверхности составляет 0,3–0,5 мм/1 м.

Оптический квадрант можно использовать для выверки как наклонности, так и горизонтальности и вертикальности конструкций (корпусов и плит оборудования, каркасов котлов, направляющих подъемников и т. п.), особенно при их первоначальной установке (до выверки геодезическими приборами).

При последовательной передаче уклона с секции на секцию погрешность измеренного смещения (превышения или отклонения от вертикали) рассчитывают по формуле

$$m_h = m_l \sqrt{L / K}, \quad (56)$$

где m_l – погрешность превышения при одной установке прибора; K, L – длины контрольной линейки и выверяемой конструкции.

При $m_l = 0,4 \text{ мм} / 1 \text{ м}, K = 1,5 \text{ м}, L = 12 \text{ м}$ $m_h = 1,1 \text{ мм}$, что свидетельствует о достаточно высокой точности работ (чистота поверхности конструкции не учитывается).

Параллельность конструкций оборудования (направляющих, базовых плоскостей и т. п.) имеет большое значение для повышения долговечности оборудования.

При проверке параллельности используют способы, осно-

ванные на измерении расстояния между точками конструкции, расположенными в одном поперечном сечении.

Обычно выверка параллельности является задачей, сопутствующей выверке прямолинейности. Поэтому сначала одним из известных способов проводят выверку прямолинейности одной (базовой) направляющей, а затем относительно нее выставляют параллельно вторую.

Наибольшее распространение в практике получили способы: с применением нутромера с микрометрической головкой (часовым индикатором); применением рулетки; съемки каждой направляющих относительно двух Суворов.

Нутромер с микрометрической головкой или индикатором часового типа используют главным образом для выверки параллельности близко расположенных друг от друга направляющих (обычно 1–3 м).

Измерение расстояний между выверяемыми точками конструкции при помощи рулетки является наиболее распространенным способом при выверке металлоконструкций направляющих подъемно-транспортного оборудования. Измерение проводят на весу или по предварительно подготовленной (выровненной) поверхности. При этом создают постоянное натяжение рулетки и учитывают поправки за компарирование, температуру, наклон и иногда провес (если осуществляется на весу, а компарирование – на выровненной поверхности).

Вместо рулетки для измерения изменений ширины колеи подкранового пути, например, при измерениях деформаций, а по существу – расстояний между рельсами пути в каждом пролете, можно использовать способ провеса струны, предложенный Д.Н. Ковунцом и Н.А. Володиным. Струну длиной l протягивают между двумя симметрирующими устройствами, определяющими положение осей рельсов при известном расстоянии L_l между ними (рис. 58). При подвешенном грузе струна будет иметь некоторую стрелу изгиба F_l , так что

$$L_l = 2\sqrt{(l/2)^2 - F_l^2} \approx l - 2F_l^2 / l. \quad (57)$$

Если систему переместить в другой пролет, где ширина пути равна $L_2 > L_1$, что стрела изгиба струны F_2 будет меньше F_1 . При неизменной длине струны запишем

$$L_2 = 2\sqrt{(l/2)^2 - F_2^2} \approx l - 2F_2^2 / l. \quad (58)$$

Приняв $F_2 = F_1 - f$, где f – изменение стрелы изгиба струны, приращение ширины в пролете получим

$$\Delta L = L_2 - L_1 \approx \frac{4F_1}{l} (F_1 - F_2). \quad (59)$$

Таким образом, измерив, изменение стрелки изгиба струны в текущем пролете относительно стрелы в начальном пролете, можно легко определить изменение ширины колеи. Погрешность составит

$$m_{\Delta L} = \frac{4F_1 \sqrt{2}}{l} m_F, \quad (60)$$

где m_F – погрешность измерения изменения стрелы прогиба.

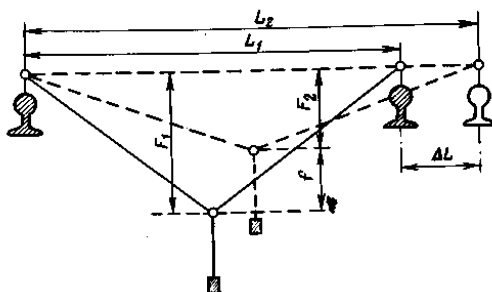


Рис. 58. Схема измерений ширины колеи подвесной струной

Из этой формулы следует, что для высокой точности измерений стрелу F_l следует делать небольшой. Следует подчеркнуть, что стрелу можно измерять с крана, присоединив к грузу струну с индексом и фиксируя его смещение относительно неподвижной шкалы, закрепленной на мосту крана в кабине крановщика.

Если при перемещении крана изменяется и высотное положение рельсов, то из измерений разности стрел изгиба F необходимо вычесть половину превышения h между головками рельсов в пролете $h = H_2 - H_1$, т. е. в расчете использовать приведенную к горизонту разность стрел $F = F - h/2$.

Расчеты показывают, что струнная система может быть весьма эффективной при выполнении измерений с крана, особенно при автоматизации нивелирования с применением гидростатической системы.

В протяженных направляющих со сложным креплением (подкрановые пути) с большими пролетами выверку параллельности проводят от двух параллельных (в общем случае непараллельных) створов аналогично выверке прямолинейности направляющей. В ряде случаев при выверке параллельности используют коллимационную плоскость теодолита, ориентированную параллельно базовой плоскости оборудования. При этом теодолит устанавливают в точке T на удалении a_0 от базовых точек A и B , которые задают линию, параллельную оси оборудования (рис. 59, а), и визуально ориентируют его. Приложив в указанных точках линейки со шкалами и взяв по ним отсчеты a_1 и a_2 , находим разность $\Delta a = a_2 - a_1$. Если она не равна нулю то теодолит необходимо повернуть на угол $\Delta a = \rho(a_2 - a_1)/(s_2 - s_1)$, где s_1 s_2 – удаления базовых точек от теодолита. Для контроля отложения угла Δa целесообразно вычислить отсчет a_T по линейкам, соответствующий параллельности визирной оси теодолита заданной базовой линии

$$a_0 = a_1 - \frac{a_2 - a_1}{s_2 - s_1} s_1 = a_2 - \frac{a_2 - a_1}{s_2 - s_1} s_2. \quad (61)$$

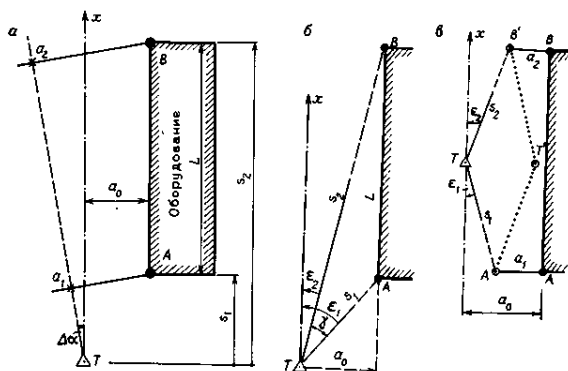


Рис. 59. Схема ориентирования теодолита по направлению, параллельному оси конструкции

Если контролируемый объект лежит слева от коллимационной плоскости теодолита, то величинам a_1 и a_2 , присваивают знак минус. Тогда положительное значение поправки $\Delta\alpha$ будет указывать на необходимость поворота теодолита по ходу, а отрицательное – против хода часовой стрелки.

Погрешности искомых величин будут

$$m_{\Delta\alpha} = \frac{m_a \sqrt{2}}{L} \rho; m_{a_0} = m_a \sqrt{1 + 2 \frac{s_1}{L} \left(1 + \frac{s_1}{L}\right)}, \quad (62)$$

где L – длина базовой линии.

Если точки A и B оборудования маркированы, но недоступны для установки реек (линеек), то задача построения параллельной плоскости решается, следующим образом. Выбрав пункт T , из которого видны точки 1 и 2 объекта, устанавливают в нем теодолит и измеряют угол γ (рис. 59, б). При известных расстояниях до базовых точек (при полной недоступности их получают косвенным способом или определяют конструктивно) удаление a_0 параллельной плоскости от базовой линии (плоскости) определяют по формуле

$$a_o = \frac{s_1 \cdot s_2}{L} \sin \gamma . \quad (63)$$

Заметим, что эта формула справедлива для случая, когда пункт T выбран в промежутке между базовыми точками, как это показано на рис. 59, в.

В случае, если точки визирования A' и B' отнесены от точек A и B базовой плоскости соответственно на расстояния a_1 и a_2 , например, если видны края строительных конструкций, то искомое расстояние определяют из решения квадратного уравнения, а именно

$$a_o = b \pm \frac{s_1 \cdot s_2}{L} \sin \gamma \sqrt{1 + \frac{b^2 - c}{\left(\frac{s_1 \cdot s_2}{L} \sin \gamma\right)^2}} ;$$

$$b = \frac{s_1^2 a_2 + s_2^2 a_1 - s_1 s_2 (a_1 + a_2) \cos \gamma}{L^2} ;$$

$$c = \frac{s_1^2 a_2^2 + s_2^2 a_1^2 - 2 s_1 s_2 a_1 a_2 \cos \gamma}{L^2} ;$$

$$L^2 = s_1^2 + s_2^2 - 2 s_1 s_2 \cos \gamma . \quad (64)$$

Расстояния a_1 и a_2 измеряют заблаговременно или задают конструктивно. При $a_1 = a_2 = a$ величина $b = a$, а $c = a^2$. Поэтому выражение (64) имеет вид

$$a_o = a \pm \frac{s_1 s_2}{L} \sin \gamma . \quad (65)$$

Знак "минус" в формулах (64) и (65) относится к зеркальному изображению точки P относительно искомой параллельной оси. В практических расчетах второй член формул берут со знаком "плюс". Очевидно также, что в случае $a = 0$ формула (64) преобразуется к выражению (63). Таким образом, в зависимости от конкретной задачи удаление параллельной оси от базовой

определяют по одной из формул (63), (64) или (65).

Направление параллельной оси в точке P задают теодолитом путем построения углов ε_1 и ε_2 , вычисляемых по формулам

$$\sin \varepsilon_1 = \frac{a_0 - a_1}{s_1}; \sin \varepsilon_2 = \frac{a_0 - a_1}{s_2} \quad (66)$$

или с учетом (65) при $a_1 = a_2 = a$

$$\sin \varepsilon_1 = \frac{s_2}{L} \sin \gamma; \sin \varepsilon_2 = \frac{s_1}{L} \sin \gamma. \quad (67)$$

Построенная параллельная ось может использоваться при контроле установки конструкций и входном контроле параметров оборудования. Заметим, что этот способ можно также применять для косвенного измерения угла ω между плоскостями или осями установленного оборудования. Точность решения всех задач зависит от точности измерения расстояний и углов. Погрешность определения ординат составляет

$$m_{a_0} = \sqrt{m_a^2 + a_0^2 \left[\left(\frac{m_{s_1}}{s_1} \right)^2 + \left(\frac{m_{s_2}}{s_2} \right)^2 + \left(\frac{m_L}{L} \right)^2 + \left(\operatorname{ctg} \gamma \frac{m_\gamma}{p} \right)^2 \right]}, \quad (68)$$

где $m_{s_1}, m_{s_2}, m_L, m_a$ – погрешности измерения соответствующих расстояний; m_γ – погрешность измерения угла γ .

При заданной величине погрешности m_{a_0} допустимые погрешности линейных и угловых измерений будут

$$\frac{m_s}{s} \leq \frac{m_{a_0}}{a_0 \sqrt{3(1+v^2)}} \quad m_\gamma \leq \frac{vm_{a_0}p}{a_0 \operatorname{ctg} \gamma \sqrt{1+v^2}}, \quad (69)$$

где v – коэффициент запаса точности (обычно $v=1,5; 2; 2,5$ и 3). Например, при $m_{a_0}=5$ мм, $s_1=100$, $s_2=50$ и $L=173,65$ м, $\gamma=10^\circ$, $v=2$, $a_0=5$ м получим $m_s/s < 1/3900$ и $m_\gamma = 18''$. При углах γ

близких к 0 или 180°, формула для расчета погрешности m_{a_0} упрощается

$$m_{a_0} = \sqrt{(a_0 \sqrt{3} \frac{m_s}{s})^2 + (\frac{s_1 \cdot s_2}{L \rho} m_\gamma)^2}. \quad (70)$$

При малых или тупых углах линейные измерения можно осуществлять с небольшой, а угловые с высокой точностью.

При достаточном приближении точки T к створу базовой линии погрешность m_ϵ можно определить по формуле

$$m_\epsilon = \sqrt{(\sqrt{2} \frac{a_0}{s} \cdot \frac{m_s}{s} \rho)^2 + (\frac{s}{L} m_\gamma)^2}, \quad (71)$$

где s – длина линии, противостоящей определяемому углу ϵ .

На основании изложенного можно сделать следующие практические выводы:

1) определение отстояния параллельной оси от базовой осуществляется по одному алгоритму независимо от положения рабочей точки относительно базовых пунктов;

2) точность определения ординаты оси зависит как от точности измерения расстояний и углов, так и от геометрии рабочей фигуры;

3) для измерения расстояний с меньшей точностью рабочую точку следует максимально приближать к створу базовой линии или к одной из базовых точек.

В случае, когда базовые точки не видны с одной станции, применяют более сложные построения, выполняя измерения с параллельной монтажной оси, смещенной относительно оси оборудования на некоторую величину h . В первом случае, когда лишь видны конечные пункты оси оборудования A и B (рис.60, a), положение пунктов монтажной оси A_1 и B_1 можно определять решением засечки Ганзена, измеряя углы $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ и β_4 . Принимая ось AB условно за ось абсцисс, а точку A – за начало координат, можно определить дирекционный угол a_0 линии

$A_I B_I$ по формуле

$$\operatorname{tga}_0 = \frac{c_y}{c_x} = \frac{A(y_B - y_A) - B(x_B - x_A)}{A(x_B - x_A) + B(y_B - y_A)}, \quad (72)$$

где

$$A = e_2 \cos \beta_1 - e_1 \cos \beta_3; e_1 = \sin(\beta_2 - \beta_1) \cdot \sin \beta_4;$$

$$B = e_2 \sin \beta_1 - e_1 \sin \beta_3; e_2 = \sin(\beta_4 - \beta_3) \cdot \sin \beta_2.$$

При $a_o > 0^\circ$ ордината точки B_I больше ординаты точки A_I .

По значению a_o вычисляют дирекционные углы $a_i (i=1, 2, \dots, 4)$ направлений прямой угловой засечки

$$\begin{aligned} a_1 &= a_o + \beta_1 \pm 180^\circ; a_3 = a_o + \beta_3; \\ a_2 &= a_o + \beta_2 \pm 180^\circ; a_4 = a_o + \beta_4, \end{aligned} \quad (73)$$

а по известным формулам Гаусса – координаты станций A_I и B_I .

Точность получения координат рабочих пунктов функционально связана с длиной опорной стороны, что необходимо учитывать при проектировании технологии геодезических работ.

Контроль определения положения пунктов A_I и B_I удобно проводить либо путем измерения расстояния $A_I B_I$, либо путем определения координат пунктов-дублеров A_2 и B_2 , смещенных относительно пунктов A_I и B_I на известное малое расстояние (практически 5–10 мм). Реализацию таких смещений удобно выполнять на геодезической редуccionной подставке (ГРП).

Во втором случае, когда пункты A и B доступны для измерения к ним расстояний l_1 и l_2 от определяемых пунктов A_I и B_I (рис. 60, б), в последних измеряют углы β_1 и β_2 .

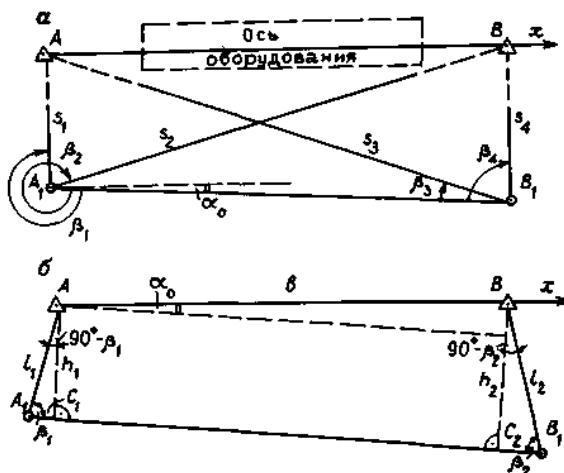


Рис. 60. Схема построения линии, параллельной оси оборудования способами:

а – обратной засечки пары пунктов; б – обратного редуцирования

В результате вычисляют величины

$$\begin{aligned} h_1 &= l_1 \sin \beta_1; h_2 = l_2 \sin \beta_2; \\ a_o &= \arctg(\sin \frac{h_2 - h_1}{b}), \end{aligned} \quad (74)$$

где h_j , c_j – длины перпендикуляров из пунктов A и B на сторону A_1B_1 и оснований прямоугольного треугольника ($j=1,2$). Координаты пунктов A_1 и A_2 вычисляют по формулам

$$\begin{aligned} X_{A_1} &= -l_1 \cos(\alpha_0 - \beta_1); X_{B_1} = b + l_2 \cos(\alpha_0 + \beta_2); \\ Y_{A_1} &= -l_1 \sin(\alpha_0 - \beta_1); Y_{B_1} = l_2 \sin(\alpha_0 + \beta_2). \end{aligned} \quad (75)$$

Погрешности искомых величин с достаточной для практики точностью определяются из выражений:

$$\begin{aligned}
 m_{\alpha_0} &= m_l \rho \sqrt{2} / b; \\
 m_{x_1} &= \sqrt{(m_l \cos \beta)^2 + (h \frac{\sqrt{m_{\alpha_0}^2 + m_{\beta}^2}}{\rho})^2}; \\
 m_{x_2} &= \sqrt{m_b^2 + m_{x_1}^2}; \\
 m_{y_{1,2}} &= \sqrt{(m_l \sin \beta)^2 + (c \frac{\sqrt{m_{\alpha_0}^2 + m_{\beta}^2}}{\rho})^2}; \\
 c &= l \cos \beta,
 \end{aligned} \tag{76}$$

где m_l и m_{β} – погрешности измерения расстояний и углов, m_b – погрешность исходной стороны.

Если непосредственное измерение расстояний к конечным пунктам оси затруднено, то их получают косвенным путем.

Перпендикулярность конструкций выверяется при сборке плоских, цилиндрических, конических и других деталей технологических линий.

Наиболее простой случай выверки перпендикулярности имеет место при сопряжении двух осей или плоских конструкций, например, панелей, которые должны быть расположены друг к другу под прямым углом (рис. 61, а). Теодолит, установленный в точке T , расположенной на возможно близком расстоянии от плоскости конструкции, ориентируют по оси x . В этом положении прибора методом бокового нивелирования по реечке с миллиметровыми делениями или при помощи специальной марки с микрометрической головкой и магнитной опорной пятой измеряют расстояния a_1 и a_2 – отклонения точек 1 и 2 конструкции от коллимационной плоскости теодолита. Далее, повернув теодолит на 90° , измеряют аналогичные отклонения b_1 и b_2 для точек 1 и 3 от оси y . Наблюдения проводят при двух положениях вертикального круга, ориентируя каждый раз теодолит по одной и той же фиксированной на оси точке, и из результатов двух наблюдений находят средние отклонения. Искомый угол ω между конструкциями определяют по формуле

$$\omega = 90^\circ - \left(\operatorname{arctg} \frac{a_2 - a_1}{s_a} + \operatorname{arctg} \frac{b_2 - b_1}{s_b} \right).$$

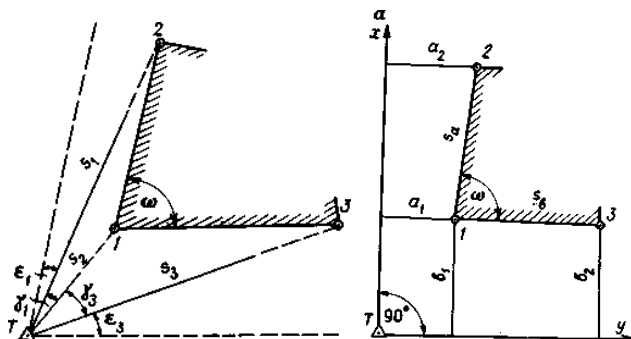


Рис. 61. Схема контроля перпендикулярности конструкций способами:
а – бокового нивелирования; б – измерения угла непараллельности

Погрешность m_ω измеренной величины угла будет

$$m_\omega = \rho \sqrt{2 \left[\left(\frac{m_a}{s_a} \right)^2 + \left(\frac{m_b}{s_b} \right)^2 \right]}, \quad (77)$$

где s_a, s_b – длины сторон искомого угла.

При $s_a = s_b = 10$ м, $m_a = m_b = 0,2$ мм получим $m_\omega = 4''$.

Подобная задача выверки перпендикулярности может также решаться как в вертикальной, так и наклонных плоскостях. В первом случае проверку положения точек в горизонтальной плоскости проводят нивелиром, а в отвесной – струнным отвесом или теодолитом, т. е. используют комбинированное построение, сочетающее в себе нивелирование и контроль вертикальности.

Если боковое нивелирование панелей затруднено, а точки конструкций маркированы, то можно использовать способ раз-

мещения коллимационной плоскости параллельно базовой плоскости, описанной в предыдущем параграфе. При этом визируют на три базовые точки объекта, измеряют до них расстояния, углы γ_1 , γ_3 и вычисляют по формуле (78) углы ϵ_1 , и ϵ_3 . Искомый угол ω между базовыми линиями вычисляют по формуле

$$\omega = \gamma_1 + \gamma_3 + \epsilon_1 + \epsilon_3. \quad (78)$$

Погрешность полученного угла можно вычислить по приближенной формуле

$$m_\omega \approx \sqrt{2(m_\gamma^2 + m_\epsilon^2)}. \quad (79)$$

Косвенный способ построения перпендикуляра к базисной линии. Пусть необходимо построить перпендикуляр к базисной линии AB , конечные пункты которой недоступны для установки теодолита. Для этого можно применить прямой и косвенный способы. В прямом способе теодолит устанавливают в точке T (рис. 62, б) и измеряют угол γ при визировании на конечные пункты базисной линии (створа). При известном удалении теодолита от конечных пунктов створа определяют высоту

$$h = \frac{s_1 s_2 (180^\circ - \gamma)}{(s_1 + s_2) \rho}, \quad (80)$$

которую откладывают по перпендикуляру к линии AB , и фиксируют створную точку C . Установив в ней теодолит (для перемещения теодолита из точки T в C можно использовать геодезическую редуccionную подставку), наводят на одну из конечных точек створа, откладывают прямой угол и фиксируют точку перпендикуляра A_1 , а переводя трубу теодолита через зенит – точку B_1 . Аналогичные действия выполняют при другом положении круга. Для контроля разбивки все измерения повторяют, желательно с точки-дублера, близкой к Γ .

Угловая погрешность перпендикулярности может быть рассчитана по формуле

$$m_{\Pi} = \sqrt{\left(\frac{S_1 m_{\gamma}}{S_1 + S_2} \right)^2 + m_{90^\circ}^2}, \quad (79)$$

где m_{90° – погрешность построения прямого угла, в которую входят погрешность центрирования теодолита в точке C и погрешности угловых построений.

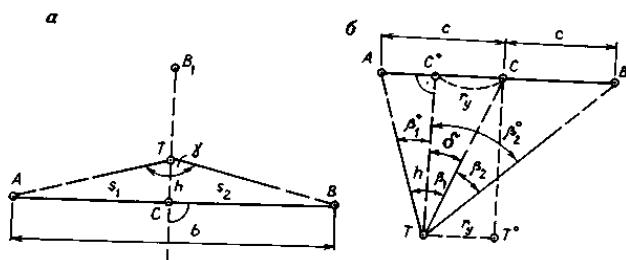


Рис. 62. Способы построения перпендикуляра к базовой линии

Если точку T нельзя выбрать в непосредственной близости к базисной линии, применяют косвенный способ. Теодолит устанавливают в точке B_1 (рис. 62, а) и измеряют угол γ при визировании на конечные пункты A и B , расстояние b между которыми должно быть известно с погрешностью 1–3 мм. Кроме того, измеряют расстояние s_1 (для контроля также и s_2). Решая треугольник AB_1B , находим

$$\sin B = \frac{s_1}{b} \sin \gamma; \sin A = \frac{s_2}{b} \sin \gamma; \quad (80)$$

$$\beta = 90^\circ - B; \alpha = 90^\circ - A,$$

контроль $\alpha + \beta = \gamma$. Откладывая угол β от исходной стороны, разбивают точку A_1 . Для контроля разбивки аналогичные построения по углу α проводят от линии B_1A . Для разбивки створной точки C находят длину перпендикуляра $h = s_1 \cdot \cos \alpha = s_2 \cdot \cos \beta$. Точность его построения зависит от качества измеренных величин.

При выверке перпендикулярности вала к оси технологической линии (ОТЛ) применяют способ вращения вала с навесным измерительным блоком – нутромером (рис. 63, а).

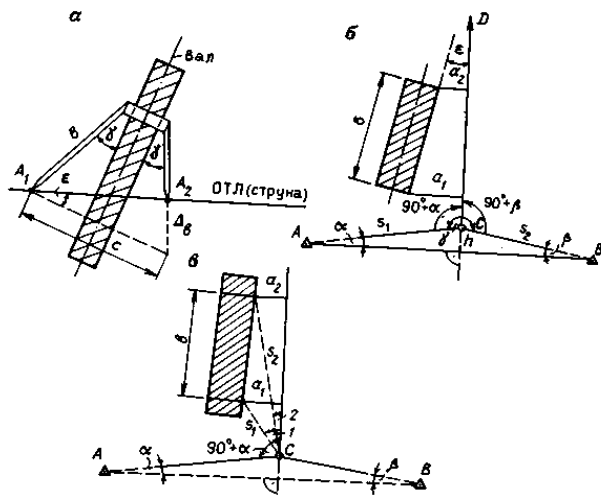


Рис. 63. Схема контроля перпендикулярности оси вала к оси оборудования способами:

а – струнным; б – бокового нивелирования; в – измерением малых углов

Измерительный блок содержит обойму, консольный нутромер с индикатором часового типа. Длину нутромера b подбирают таким образом, чтобы индикатор касался струны в точках A_1 и A_2 , задающей направление оси технологической линии. При контактировании индикатора со струной на его шкале делается отсчет a_1 , а затем, после поворота вала на 180° , т. е. при положении индикатора в точке A_2 – отсчет a_2 . Если эти отсчеты одинаковы, то ось вала перпендикулярна ОТЛ. В противном случае по разности $\Delta b = a_2 - a_1$ определяют угол ϵ неперпендикулярности

$$\operatorname{tg} \epsilon = \frac{\Delta b}{c} \cos \gamma = \frac{\Delta b}{2b} \operatorname{ctg} \gamma, \quad (81)$$

где c – расстояние между концами нутромера в двух положениях; γ – угол между валом и консольным нутромером, который рекомендуется принимать не более 45° . Тогда погрешность будет

$$m_{\varepsilon} = \frac{m_{\Delta b}}{2b} \rho, \quad (82)$$

что при $b=1$ м и $m_{\Delta b} = 0,1$ мм составит $10''$. Следует, однако, подчеркнуть, что точность измерения смещения Δb может быть повышена, если вместо струны направление ОТЛ задавать теодолитом, установленным на постоянных концевых пунктах с устройством для принудительного центрирования и снабженным оптическим микрометром. Это позволяет увеличить протяженность наблюдений, а погрешность измеренного угла перпендикулярности не превысит $5-10''$. В ряде случаев, например, когда расположение валов не позволяет подвесить струну, можно использовать другой способ (рис. 63, б). Установив теодолит в точке C , примерно в створе ОТЛ, закрепленной марками в точках A и B , измерив угол γ и вычислив по нему расстояния s_1 и s_2 , нерастворность h , найдем углы α и β .

$$\begin{aligned} \alpha &= \arcsin(h / s_1); \beta = \arcsin(h / s_2); \\ h &= \frac{s_1 s_2 (\gamma - 180^\circ)}{(s_1 + s_2) \rho}, \end{aligned} \quad (83)$$

а по ним углы $90^\circ + \alpha$ и $90^\circ + \beta$, при которых линия визирования теодолита устанавливается по линии CD , перпендикулярной к ОТЛ. Прикладывая линейку к образующей вала, измеряют боковым нивелированием отклонения a_1 и a_2 , а затем определяют угол

$$\varepsilon = \arcsin \frac{a_2 - a_1}{b}, \quad (84)$$

где b – длина вала. Вследствие малости этого угла можно записать

$$m_{\varepsilon} = \frac{m_a \sqrt{2}}{b} \rho, \quad (85)$$

а с учетом погрешности построения линии CD

$$m_{\varepsilon} = \sqrt{\left(\frac{s_2 m_{\gamma}}{s_1 + s_2} \right)^2 + \left(\frac{\sqrt{2} m_a}{b} \rho \right)^2}. \quad (86)$$

При длине вала $b = 3$ м; $s_1 = s_2 = 50$ м; $m_{\gamma} = 10''$ и $m_a = 0,1$ мм получим

$$m_{\varepsilon} = \sqrt{\left(\frac{50 \cdot 10}{100} \right)^2 + \left(\frac{\sqrt{2} \cdot 0,1}{3000} 206265 \right)^2} = 10,7'', \quad (87)$$

т. е. точность определения неперпендикулярности вала зависит в основном от его длины и погрешностей измерений отклонений a_i ($i = 1, 2$). Последние можно уменьшить, если разность $(a_2 - a_1)$ измерять оптическим микрометром, особенно из повторных измерений. Опыт показывает, что величина m_{ε} может быть доведена до $5''$.

В случае затруднений с непосредственным измерением отклонений их получают косвенным путем из створных измерений относительно поперечной оси (рис. 63, в) по измеренным углам ϵ_1, ϵ_2 и расстояниям s_1 и s_2 до точек визирования. При контроле барабанов бумагоделательных машин указанные точки можно маркировать белой леской с грузами, подвешенными ниже контролируемой образующей цилиндра. Расстояния до отвесов измеряют рулеткой.

Валы небольших диаметров, в частности, рольгангов и прокатных станов можно контролировать автоколлимационным теодолитом, ориентированным вдоль оси прокатки, и автоколлимационным зеркалом 2 на призматической опоре 4 (рис. 64). Такая опора, снабженная Т-образным уровнем 1, хорошо фиксирует плоскость зеркала относительно оси вала 5. Зеркало ук-

реплено в оправе, имеющей вращение вокруг горизонтальной оси 3, параллельной призмной грани опоры. Это позволяет наклонять зеркало в плоскости, нормальной к оси вала, и обеспечивает получение в теодолите автоколлимационного изображения сетки. Для простоты выполнения проверок и контрольных операций в процессе измерений зеркало должно быть двусторонним. Сначала поверяются уровни (перестановкой опоры на 180°), затем условие, чтобы плоскость зеркала была параллельна оси его вращения (юстировку выполняют перемещением оправы на половину дуги отклонения), и, наконец условие, чтобы ось вращения зеркала и ребро призматической опоры находились в одной плоскости (юстировку выполняют путем перемещения оси). В последних двух поверках используют теодолит с зеркалом, причем в первой поверке зеркало вращается на 180° , а во второй – изменяется на 180° положение опоры.

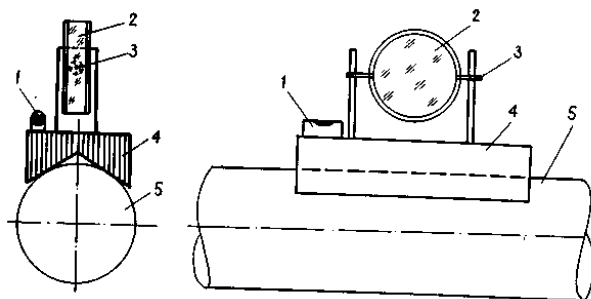


Рис. 64. Схема контроля перпендикулярности вала к оси прокатки автоколлимационным способом

В начале работ автоколлимационный теодолит ориентируют по продольной оси оборудования и закрепляют в таком положении. Затем на выверяемый вал устанавливают призмную подставку с зеркалом в месте нуля. При совпадении отраженного от зеркала изображения вертикального штриха сетки нитей с его действительным изображением ось вала перпендикулярна к главной оси оборудования. Если изображения нитей сетки не

совпадают, то вал подлежит развороту на некоторый угол φ . Здесь обычно рассматривают два случая геодезического обеспечения монтажных работ. Первый случай – выверка состоит в развороте вала на угол φ , т. е. до тех пор, пока изображения нитей сетки не совпадут. Второй случай – исполнительная съемка – состоит в определении угла φ и сравнении его с допускаемым значением неперпендикулярности.

Обычно измерение угла φ проводят поворотом алидады теодолита микрометрическим винтом до совпадения изображений нитей сетки. Если зеркало жестко посажено на призме и, следовательно, не имеет горизонтального круга для поворота по азимуту (такая конструкция встречается реже), то изменение угла φ проводят только теодолитом. При развороте теодолита угол неперпендикулярности φ определяют по формуле $\varphi = M - M_0$, где M – отсчет по горизонтальному кругу при совпадении изображений нитей сетки автоколлимационного теодолита; M_0 – место нуля горизонтального круга теодолита, соответствующее положению коллимационной плоскости параллельно оси прокатки.

При выверке перпендикулярности торцевой плоскости вала или цилиндрической обечайки к ее оси можно использовать автоколлимационный способ при установке теодолита на продольной оси конструкции и автоколлимационного зеркала на торце. Если размещение зеркала на торце затруднено, например, при большом диаметре обечайки (более 3 м) выверку целесообразно делать косвенным способом, устанавливая теодолит в наклонном положении вне объекта таким образом, чтобы коллимационная плоскость трубы была перпендикулярна оси обечайки.

Этот метод может применяться для контроля секций вращающихся печей и сушилок, телевизионных антенн, мачт и др.

В практике монтажных работ довольно распространенной операцией является *контроль перпендикулярности* закрепленных на фундаменте (опорной плите) осей оборудования. Если в точке пересечения этих осей можно установить теодолит, то такая задача решается измерением прямых углов и анализом результатов. Если же указанная точка недоступна для установки прибора, то целесообразно применять либо способ продолжен-

ных створов, измерив угол между ними, либо способ трилатерации, например, если выверяемая деталь расположена в наклонной плоскости. При этом рулеткой измеряют хорды c_1, c_2, c_3, c_4 и расстояния s_i между точками осей ($i=1, \dots, 4$) в цельной конструкции или диагонали d_i ($i=1, 2$) в пустотелой. Теперь по измеренным сторонам можно вычислить необходимые углы: в первой схеме

$$Q_{12} = \arccos \frac{s_1^2 + s_2^2 - c_1^2}{2s_1s_2}; \quad (88)$$

во второй схеме

$$Q_{12} = \arccos \frac{c_3^2 + d_1^2 - c_4^2}{2c_3d_1} + \arccos \frac{c_3^2 + d_2^2 - c_2^2}{2c_3d_2}. \quad (89)$$

Но так как сеть трилатерации содержит по одному избыточному измерению, то целесообразно выполнить упрощенное уравнивание линий. Для этого в первой схеме вычисляем центральные углы $\gamma_{i,i+1}$, сумма которых теоретически должна быть равна 360° . Невязка $w = \gamma_{12} + \gamma_{23} + \gamma_{34} + \gamma_{41} - 360^\circ$ используется для вычисления поправок в измеренные стороны

$$(c_i) = -\frac{c_i w}{16\rho}; (s_i) = -\frac{(c_i)}{\sqrt{2}}, \quad (90)$$

которые прибавляются алгебраически к значениям измеренных длин.

В схеме, не содержащей центрального пункта, по сторонам треугольников находят углы γ'_3, γ''_3 и γ_3 – образующие невязку $w = \gamma'_3 + \gamma''_3 - \gamma_3$ и определяют поправки в измеренные стороны

$$(c_i) = -\frac{c_i w}{12\rho}; (d_i) = -2\sqrt{2}(c_i).$$

По исправленным длинам вычисляют окончательные значения центральных углов. Контролем правильности вычислений являются нулевые невязки в фигурах.

Операция определения плоскостности конструкции является первичной, а все другие характеристики положения плоскости (горизонтальность, параллельность и т. п.) – производными от нее.

Для определения плоскостности малых деталей обычно используют специальные калибры – эталонные плиты (проверка под краску), контрольные линейки (проверка на просвет), карусельный плоскомер и т. п.

При контроле плоскостности крупногабаритных деталей прибегают к площадной съемке (нивелирование) поверхности. Для этого на исследуемой поверхности чаще всего строят сетку квадратов или прямоугольников, и положение точек поверхности определяют пространственными координатами. Следует, однако, различать три случая примерного положения конструкции при съемке поверхности: горизонтальное, вертикальное и наклонное. В первом случае наибольшая точность измерений предъясняется к нивелированию вершин сетки квадратов, во втором – к измерению отклонений вершин сетки от вертикали, в третьем – к измерению всех трехмерных координат с учетом величины наклона плоскости конструкции к горизонту. Третий случай является общим и наиболее сложным, но редко встречающимся в производстве, а первый и второй – частными, но наиболее простыми в реализации и, следовательно, наиболее распространенными. Если плоский элемент расположен в горизонтальной плоскости, то выполняют геометрическое или гидростатическое нивелирование, а если в отвесной, то боковое нивелирование коллимационной плоскостью теодолита. В нивелируемых точках устанавливают вертикально (горизонтально) нивелирную рейку по перпендикуляру к референтной плоскости прибора.

При затруднениях в установке рейки на точке конструкции (камера, бассейн) для измерения вертикальности можно эффективно использовать рейку-копир на трехколесной тележке с подвесной отсчетной шкалой (рис. 65). На раме 3 тележки смонтировано заднее рабочее колесо 7 и симметричные относительно него два передних опорных колеса 4. На оси вращения ко-

леса 7 укреплен на шарнире 7 отсчетная линейка 2, снабженная на конце маркировочным индексом. С линейкой 2 жестко соединен стержень, несущий на конце датчик вертикали (маятник) 8 с демпфером. Для обеспечения работы устройства при выверке вертикальности и горизонтальности выверяемой конструкции 6 датчик вертикали снабжен переключателем, обеспечивающим установку стрелы вдоль или перпендикулярно оси линейки. В процессе измерений заднее колесо тележки устанавливают по индексу линейки в начальной точке трассы нивелирования и, протягивая тележку по характерным точкам профиля, что фиксируется по мерному тросику 5, нивелируют поверхность в заданных точках, доступ к которым затруднен или ограничен. При выверке плоскостности высокоточного оборудования применяют оптико-механические методы, в частности, автоколлиматор и оптический плоскомер. В последние годы апробированы и интерференционные методы.

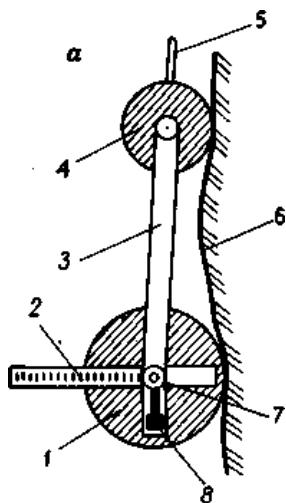


Рис. 65. Нивелирная рейка на тележке

По результатам нивелирования определяют условные отметки точек поверхности объекта. Если референтная плоскость параллельна базовым точкам плоского элемента (обычно принимают 3–4 точки, расположенные по углам детали и не находящиеся на одной прямой), то разность $h_i = H_i - H_{\text{усл}}$ определяет неплоскостность текущей точки поверхности. Такая характеристика неплоскостности условная, но она широко распространена в практике, особенно при контроле положения плоских элементов оборудования относительно осей технологических линий.

При изготовлении или сборке из готовых блоков ответственных плоских элементов оборудования (машиностроительных

столов, станов, для формовки материалов – стекла, листовой стали, проката и др.) с целью разработки наиболее рациональной технологии обработки деталей необходимо использовать метод оптимальной плоскости, максимально приближающейся к семейству представительных точек объекта.

Криволинейные элементы оборудования занимают особое место в монтажном производстве и подвергаются тщательному контролю при изготовлении и монтаже. Для характеристики кривизны окружности обычно пользуются радиусом. Если же контур конструкции описывается более сложной кривой (эллипсом, параболой или радиоидальной спиралью), то кривизна задается точками в прямоугольной или полярной системе координат.

Для непосредственного измерения внутренних диаметров (лучше радиусов) малогабаритных деталей используют рулетку, нутромер с микрометрической головкой или с индикатором часового типа. В крупногабаритных деталях радиус (диаметр) измеряют либо непосредственно с помощью рулетки, либо получают косвенно из специальных измерений, используя способ "наездника" с помощью Струны и линейки. Струну известной длины хорошо натягивают, прижимают концами к внутренним стенкам цилиндра и при помощи линейки с миллиметровыми делениями измеряют стрелу прогиба – расстояние от стенки до струны в ее середине по перпендикуляру к ней (рис. 66, а). Искомый внутренний радиус R_l , рассчитывают по формуле

$$R = \frac{l^2}{8f} + \frac{f}{2}, \quad (91)$$

где l – длина рабочей части струны. Погрешность радиуса получается по формуле

$$m_R = R \sqrt{\left(2 \frac{m_l}{l}\right)^2 + \left(\frac{m_f}{f}\right)^2} \approx \frac{m_f}{f} R, \quad (92)$$

где m_l и m_f – погрешности измеряемых величин. При $R=6$ м, $l=8,5$ м, $f=1,76$ м, $m_l=2$ мм, $m_f=1$ мм погрешность $m_R=4,4$ мм, причем доминирующее влияние на нее оказывает погрешность

измерения стрелы изгиба. Если ее измерять нутромером с микрометром, то погрешность определения радиуса можно уменьшить до 2 мм. Практически обеспечивается точность радиуса в пределах 0,05–0,1 % и выше. Способ используют, в частности, для контроля кривизны ложементов парогенератора. При этом на ложементе выбирают три пары равноудаленных точек: P_1, P_3, P_5 и P_2, P_4, P_6 . Измерив стрелы прогиба f_1 и f_2 в точках P_1 и P_2 , вычисляют по формуле (91) два значения радиуса R_1 и R_2 , из которых находят среднее. Если дополнительно включить в нивелирование точки основания ложементов, то можно определить расстояние от оснований до нижней точки ложементов, по которому контролируют высотную размерную цепь оборудования.

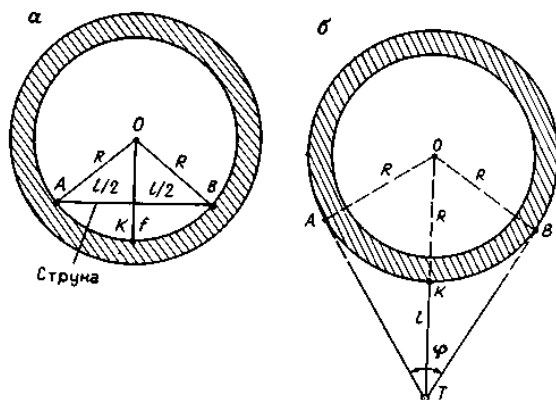


Рис. 66. Способы определения радиуса кривизны оболочки:
а – внутреннего; б – наружного

Внешний радиус (диаметр) цилиндрической оболочки (рис. 66, б) можно получить из измерений теодолитом угла φ и расстояния l от теодолита по направлению биссектрисы до точки K оболочки. Внешний радиус составит

$$R = l \frac{\sin(\varphi / 2)}{1 - \sin(\varphi / 2)}. \quad (93)$$

Контроль измерений проводят повторными наблюдениями с других точек, расположенных на взаимно перпендикулярных осях. Погрешность вычисляют по формуле

$$m_R = \frac{\sqrt{[m_l \sin(\varphi / 2)]^2 + [l \cos(\varphi / 2) \frac{m_\varphi}{\rho}]^2}}{1 - \sin(\varphi / 2)}, \quad (94)$$

где m_l и m_φ – погрешности измеряемых величин.

Измерение внешнего диаметра осуществляется и способом обкатывания цилиндрической конструкции мерным роликом, например, в процессе работы вращающейся печи, что отвечает рабочему состоянию деталей. Мерный ролик вводится в контакт с поверхностью детали (корпуса печи, опорного ролика) и вращается вместе с ней. При отсутствии скольжения мерного ролика по поверхности обмеряемой детали искомый диаметр вычисляют по формуле $D = (n_2/n_1) \cdot d$, где d – диаметр мерного ролика; n_2, n_1 – число оборотов детали и мерного ролика за время измерения.

4.3. Геодезический контроль прямолинейности и соосности в строительстве и способы плановой установки и выверки конструкций и оборудования

Для контроля прямолинейности применяют в зависимости от условий производства различные методы построения створа. В практике выверки прямолинейности наибольшее распространение получили способы: струнный, струнно-оптический, оптический, коллиматорный, автоколлиматорный, авторефлексионный и интерференционный, включая лазерные. Рабочий створ может быть соосным с выверяемой конструкцией или смещенным относительно нее. В обоих случаях измеряются отклонения $-a$ от створа, которым присваивается определенный знак "плюс" – при смещении точки конструкции вправо от направления створа и "минус" – при смещении точки влево. При выверке прямолинейности направляющих оборудования (монорельсов,

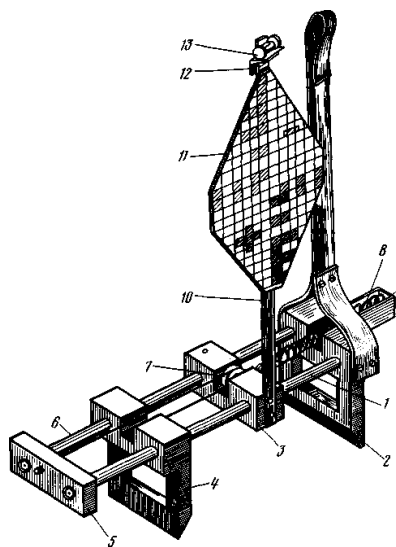


Рис. 67. Однокоординатная симметрирующая визирная марка

Второй конец пружины крепится к кожуху 9. На оси каретки укреплена стойка 10 с кронштейном 12 и уровнем 13, по которой перемещается измерительная марка – мишень 11.

В процессе выверки прямолинейности марка, устанавливаемая на головке рельса, упорами охватывает головку рельса, а каретка автоматически устанавливается на его оси. Расстояние от головки рельса до центра марки фиксировано, поэтому при установке нивелира или лазерного визира по их горизонтальной линии визирования или лучу можно определять и высотное положение рельсов. По экспериментальным данным погрешность фиксации положения оси рельса и его высоты составляет 0,1–0,3 мм.

Для измерения расстояний между осями рельсов при помощи рулетки, например, при выверке параллельности рельсов, внизу стойки 10 на оси марки прикрепляется шкала с отсчетным индексом.

подкрановых путей машин и кранов) используют специальные осевые марки, устанавливаемые на оси головки рельса. Одна из таких марок – однокоординатный симметрирующий прибор (рис. 67).

Марка состоит из направляющих 1, 6, скрепленных с одной стороны планкой 5, а с другой * – неподвижным упором 2. По направляющим перемещается подвижный упор 4 и каретка 3. На каретке установлен блок 7 с переброшенной через него струной, прикрепленной одним концом к планке 5, а вторым – к подвижному упору. Каретка притягивается пружиной 8 к не-

Определение прямолинейности может проводиться как в процессе монтажа, так и в процессе эксплуатации оборудования. В первом случае контроль осуществляется непосредственно во время монтажа и, следовательно, обеспечивается заданная точность юстировки или во время наладки после предварительного монтажа без надлежащего геодезического контроля. В последнем случае и в процессе эксплуатации оборудования прибегают к контрольной (исполнительной) или инвентаризационной съемке оборудования, по результатам которой определяют характеристики (смещения) для выравнивания конструкции и приведения ее в проектное положение. Для определения выровненного положения направляющих обработку измерений проводят методом наименьших квадратов или математического программирования.

Процесс выверки соосности довольно распространен при изготовлении, сборке и монтаже многих промышленных установок (компрессоров, насосов, реакторов, турбин, технологических трубопроводов и др.).

Выверку обычно проводят струнным и оптическим способами. Первый способ используется в основном на расстоянии 5–10 м, а оптический – на расстояниях до 50 м и более.

Схема применения струнного способа показана на рис. 68.

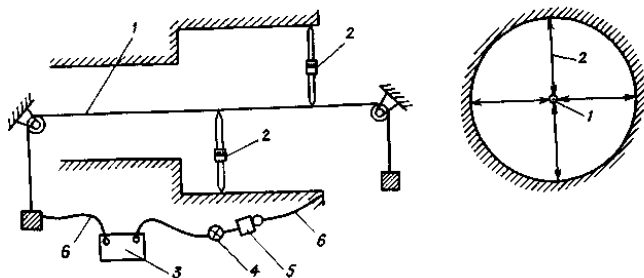


Рис. 68. Схема выверки соосности струнным методом

В выверяемое отверстие вставляют струну, перебрасывают ее через два блока и натягивают грузами. Регулируя положение

блоков в плане и по высоте, добиваются соосного размещения струны относительно базового отверстия. Для обеспечения эквидистантности струны от конструкции базового отверстия применяют нутромер 2, представляющий собой сборную металлическую штангу с коническими, сферическими или уголковыми упорами (наконечниками). Расстояние между упорами изменяется при помощи винтового микрометра. Точность отсчета по микрометру – 0,01 мм. Для повышения точности измерения расстояния контакт между упором и струной фиксируют не визуально, а электрически (по звуковому сигналу звонка или генератора). Схема подключения генератора включает: батарею 3, сигнальную лампочку 4, звуковой генератор 5 и провода 6. Иногда звуковой генератор дополняют наушниками. В практике погрешность струнного метода равна 0,03–0,05 мм. Для изменения расстояния между упорами одна штанга делается телескопической (снабжается стандартными приставками). Обычно нутромер контролируют расстояние от 0,5 до 1,5 м.

При оптическом методе выверки соосности используют зрительную трубу теодолита, прибора проверки соосности (ППС–11, автоколлиматора) и центрированную визирную марку (центроискатель), размещаемую сначала в базовых, а затем в контролируемых отверстиях (расточках). Наиболее прогрессивным методом оптической выверки соосности являются методы оптической алиниометрии и авторефлексии, применяемые в приборе проверки соосности ППС–11, точном оптическом алиниометре FF 01 (ГДР) и др.

В микротелескоп ППС–11 входят следующие блоки: зрительная труба, прецизионный уровень, нивелирная подставка и рама для крепления зрительной трубы в отверстиях оборудования.

На защитном стекле (рис. 69) нанесена прозрачная подсвечивающаяся шкаловая марка — авторефлектор. За ней размещены плоскопараллельная пластинка 2 оптического микрометра, вращающаяся вокруг горизонтальной и вертикальной осей, объектив 3, фокусирующая линза 4 и сетка нитей 5, которая рассматривается через микроскоп 6. При смене окуляров микроскопа труба может иметь увеличение 30 или 45^х.

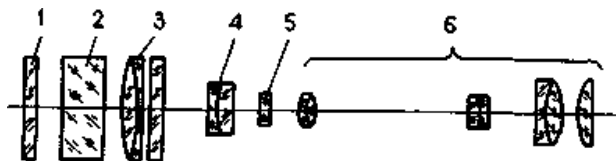


Рис. 69. Оптическая схема трубы микротелескопа

Кроме измерения отклонений от створа с применением микрометра трубой ППС–11 можно проводить измерения несоосности (нестворностей) по принципу авторефлексии. При этом на объекте (расточке подшипника) устанавливается зеркальная марка, располагаемая своей плоскостью нормально к оси расточки. Если авторефлексионную марку зрительной трубы подсветить, например автоколлимационным окуляром, то ее изображение, отраженное зеркальной маркой в расточке, получится на сетке нитей, либо совмещенное с нитями сетки (когда зеркало расположено нормально к линии визирования), либо смещенное относительно линий сетки (когда зеркало развернуто на некоторый угол φ). Измерив по шкале рефлексии марки смещение Δ ее центра с нити сетки (горизонтальной или вертикальной), можно вычислить угол φ искривления оси расточки относительно заданного прибором двухстороннего створа

$$\varphi = \arctg \frac{\Delta}{2L}, \quad (95)$$

где L – расстояние от прибора до зеркальной марки.

В практике выверки соосности валов теплоэнергетического оборудования преимущественно используют оптический микрометр.

Конструктивно зрительная труба ППС содержит окуляр 1, три барабана 2, 3 и 7, корпус 4 (рис.70), которые обеспечивают фокусирование изображения наблюдаемого объекта, смещение линии визирования плоскопараллельной пластинкой микрометра по горизонтали и вертикали. Когда плоскопараллельная пла-

стинка микрометра установлена нормально к линии визирования, визирный луч не изменяет своего положения. Наклоном пластинки в горизонтальной и вертикальной плоскостях обеспечивают совмещение линий 6 сетки трубы с делениями (прорезями) визирной марки 5, установленной в центре отверстия оборудования, и измерение смещений осевой визирной марки с линией визирования прибором. Величину смещения марки отсчитывают по шкалам барабанов 3 и 7 при помощи отсчетного индекса 8. Шкалы обоих микрометров окрашены в два цвета: половина красная, а половина черная, что соответствует положительному и отрицательному значениям смещений (положительное смещение направлено вправо и вверх, а отрицательное – влево и вниз). Отклонение, измеряемое микрометром, равно ± 1 мм, погрешность отсчета – 0,002 мм.

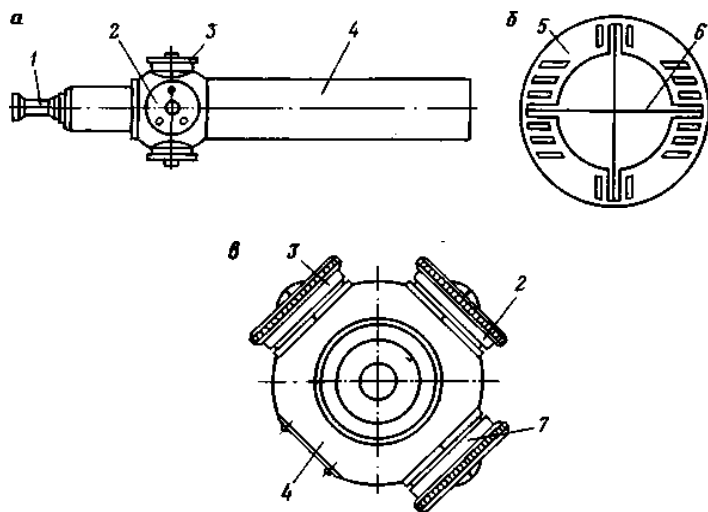


Рис. 70. Конструкция трубы микротелескопа:
а – зрительная труба; б – поле зрения; в – положение барабанов

Прецизионный накладной уровень содержит корпус, ампулу цилиндрического уровня, лимб и микрометрический винт со

шкалами. На шкалу лимба нанесено 20 делений, а на шкале микрометрического винта 100 делений. Число оборотов лимба отсчитывает счетчик. При шаге винта 1 мм цена деления шкалы уровня составляет 0,01 мм/1 м.

Нивелирная подставка снабжена лагерами для установки зрительной трубы, зажимным, наводящим и тремя подъемными винтами (рис. 71). При помощи подставки прибор можно устанавливать на фундаменте или на специальном кронштейне. В отдельных случаях, например, при выверке соосности расточек турбины, используется рама на кронштейне 4 (рис. 72), закрепляемая на разъеме цилиндра турбины. Рама 2 снабжена регулировочными винтами 5 зрительной трубы 1, при помощи которых ее можно выводить в горизонтальное положение или устанавливать в створ базовой линии. Фиксация трубы осуществляется винтовыми пружинными упорами 6 и опорными пластинками 3.

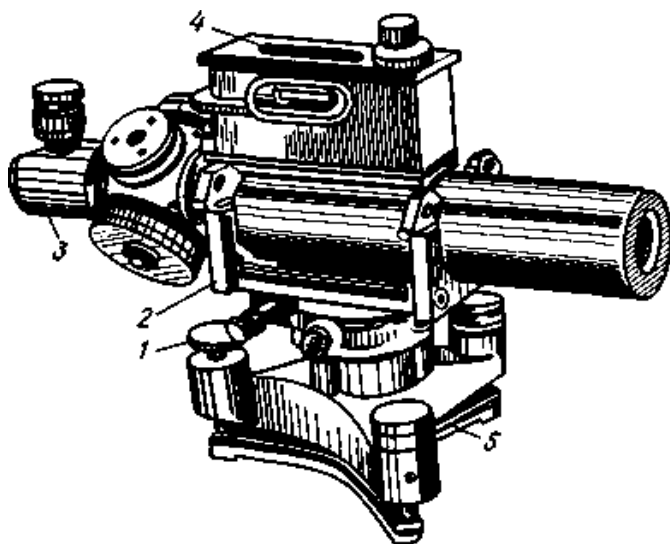


Рис. 71. Нивелирная подставка микротелескопа:

*1 – регулировочный винт; 2 – рама для установки зрительной трубы;
3 – зрительная труба; 4 – прецизионный уровень; 5 – основание*

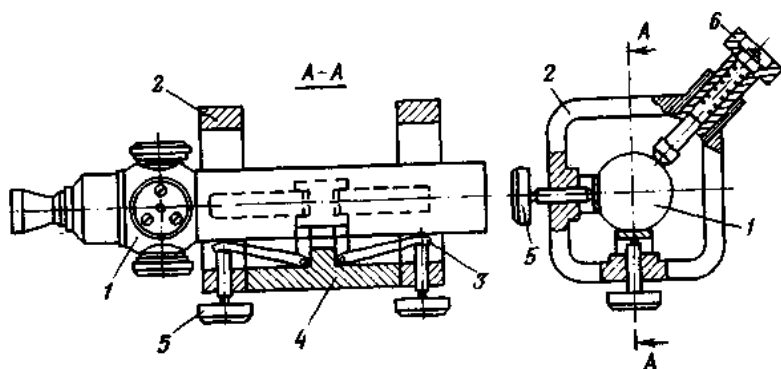


Рис. 72. Рама крепления зрительной трубы микротелескопа:
Погрешность m_p измерения отклонения прибором типа ППС равна
(в мм) $m_p = 0,01 + 0,005s$, где s – длина визирования, м

Центрировочные визирные марки делают цилиндрическими с подпружиненными шаровыми упорами, контактирующими со стенками отверстия, и коническими. Их устанавливают на торцах отверстия как заглушки. В центре торцевой части таких марок делается насечка (отверстие) или круговая линейка, используемые для наведения прибора и измерения несоосности. Такие приспособления получили распространение в работах малой и средней точности.

При монтаже апертур технологического оборудования машиностроительного комплекса (компрессоров, насосов, генераторов) используют визирную марку 13 (рис. 73). Корпус 6 марки посредством четырех цилиндрических опор 5 с регулировочным винтом 4 опирается на внутренние стенки отверстия 3. В центральной части корпуса укреплен поворотный кронштейн 1, в котором размещен подвижный в радиальном направлении подпружиненный шток 2. Он содержит в центре марки измерительную шкалу. При вращении оправы кронштейна в отверстии изделия подвижный шток при помощи пружины 7 все время прижимается к стенкам. Величина отклонения марки от центра измеряется штоком по разности его двух противоположных положений. Для ускорения процесса центрирования марки ее

снабжают дополнительным штоком, установленным под углом 90° к первому.

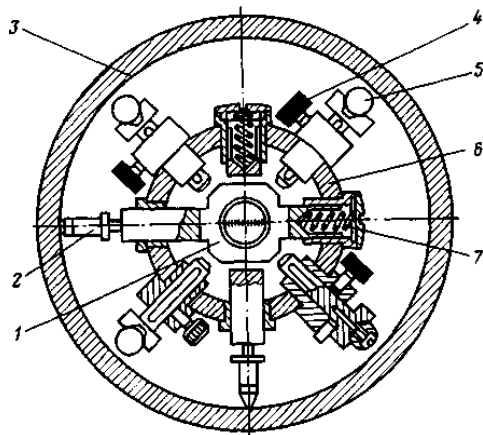


Рис. 73. Визирная марка для измерения соосности
Отверстий

Центроискатель расточный (ЦИР) предназначен для автоматического определения центра расточек цилиндров, корпусов подшипников и диафрагм, а также обозначения их визирной маркой. Действие ЦИР основано на том, что центром расточки / является центр окружности (рис. 74), проведенной через концы трех его ножек 2. Ножки прижимаются специальными пружинами к конусу, расположенному в корпусе 3 центроискателя с маркой 4. Перемещением конуса вдоль оси расточки можно выдвигать ножки на одинаковую величину до 25 мм. Для использования в расточках разного диаметра на ножки прибора навертывают удлинители 5 стандартного микроутромера. В некоторых ЦИР для измерения радиуса расточки используют четвертую ножку, вращающуюся вокруг конуса и оборудованную на конце индикатором часового типа, контактирующем с поверхностью расточки.

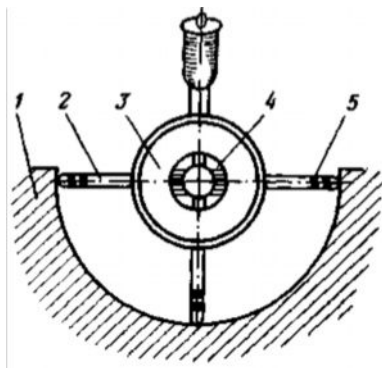


Рис. 74. Центроискатель
расточный

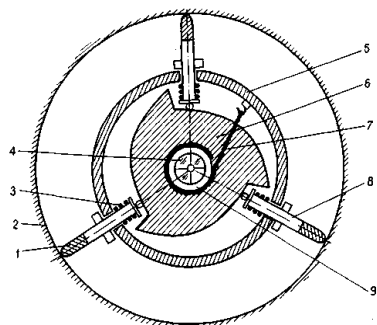


Рис. 75. Центроискатель

Для выполнения проверочных работ при входном контроле ответственного тепломеханического оборудования (корпус реактора, парогенератор, циркуляционный насос, трубопроводы главного циркуляционного контура) можно использовать центроискатель, автоматически материализирующий ось патрубка или трубопровода.

Центроискатель, состоит из трех основных частей: цилиндрического корпуса 5, поворотного диска 6 и подвижных наконечников 8 (рис. 75). Цилиндрический корпус во внутренней части снабжен полый цилиндрической осью 9, а с внешней стороны – кожухом и упорной крышкой. Поворотный диск содержит полу цилиндрическую втулку, насаженную на цилиндрическую ось корпуса и вращающуюся на этой оси, марку круглого сечения с центральным отверстием. Рабочая часть поворотного диска разделена на три сектора с переменным профилем на торце, а внешняя сторона цилиндрической втулки является барабаном для пружины растяжения 7, соединяющей поворотный диск с кожухом корпуса. С внешней стороны кожуха в корпус входят три подвижных наконечника, расположенные друг относительно друга под углом 120° и снабженные контактными упорами на обоих концах, причем один из этих концов находится в

постоянном контакте с торцом поворотного диска, а второй оборудован сменными (телескопическими) штангами 1 с концевыми, упорами, контактирующими с выверяемой конструкцией 2. Каждый подвижный наконечник, входящий в корпус, снабжен пружиной сжатия 3. В полый цилиндрической оси корпуса размещено визирное устройство (оптическая или лазерная труба) или целевая марка 4. С внешней стороны к корпусу прикреплена ручка-держатель.

Работа с центроискателем ведется следующим образом. Подобрав сменные (телескопические) штанги 7 необходимого размера (в зависимости от внутреннего диаметра конструкции) и закрепив их в центроискателе, вставляют его в отверстие конструкции 2. При этом одной рукой придерживают корпус 5 за ручку, а второй поворачивают поворотный диск 6 при помощи рукоятки по ходу часовой стрелки до упора. Благодаря постепенному увеличению вырезов поворотного диска 6, подвижные наконечники 8 со сменными (телескопическими) штангами 1 посредством пружин 3 втягиваются внутрь корпуса 5, и устройство свободно вставляется в отверстие конструкции 2 так, чтобы поворотные наконечники располагались в плоскости, перпендикулярной оси конструкции. Затем отпускают рукоятку, а растянутая пружина 7 поворачивает поворотный диск против хода часовой стрелки, выталкивая сменные (телескопические) штанги 1 до получения их контакта со стенками конструкции 2, чем и останавливается дальнейший разворот поворотного диска. Усилия пружины 7 устройство надежно закрепляется в сечении конструкции 2. Симметричность подвижных наконечников 8 и переменного профиля поворотного диска 6 относительно оси корпуса 5 обеспечивает автоматическое размещение измерительного устройства или целевой марки 4 на оси конструкции 2 цилиндрического или конического сечения.

В настоящее время все большее применение находят такие прогрессивные методы оптической выверки, как метод автоколлимации, рефлексии и интерферометрии.

Одним из методов выверки соосности является косвенный способ определения перекоса валов. Как известно, валы круп-

ных машин соединяются между собой при помощи муфт. Выверка соосности валов разделяется на два этапа (выверка наклона и выверка прямолинейности).

Для выверки наклона на смежных валах выбирают по две точки, например, A_1, B_1 и A_2, B_2 , измеряют между ними расстояния l_1 и l_2 и нивелируют, определяя превышения h_1 и h_2 . По этим величинам находят углы наклона валов v_1 и v_2 и общий угол v перекоса муфт

$$v_1 = \arcsin(h_1 / l_1); v_2 = \arcsin(h_2 / l_2); v = v_2 - v_1. \quad (96)$$

Погрешность угла наклона вала определяется по формуле

$$m_{v_i} = \frac{m_{h_i}}{l_i} \rho, \quad (97)$$

где m_{v_i} – погрешность измерения превышения; l_i – расстояние между точками $\{i=1,2\}$.

Погрешность угла перекоса валов составляет

$$m_v = \sqrt{m_{v_1}^2 + m_{v_2}^2}. \quad (98)$$

По аналогичной методике определяют перекося валов в горизонтальной плоскости "путем измерения их непрямолинейности способом бокового нивелирования.

При выверке горизонтальности конструкций (опорных плит, валов и т. п.) определяют отметки характерных точек оборудования. Такими точками обычно являются верх плиты, образующей цилиндра вала, шейки подшипника и др.

В настоящее время в практике монтажных работ для выверки горизонтальности (вертикальности и прямолинейности) используют контрольную (поверочную) линейку длиной от 1 до 6 м и накладной уровень с ценой деления 0,05–0,1 мм/1 м. Линейку устанавливают только на обработанную поверхность.

Форма основания уровня зависит от формы выверяемой конструкции. Так, например, для выверки горизонтальности валов, роликовых транспортеров удобен уровень с призмным основанием (рис. 76).

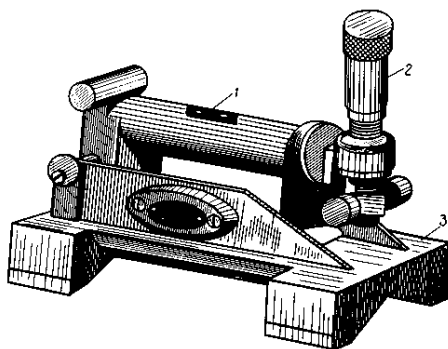


Рис. 76. Уровень с призмным основанием
1 – цилиндрический уровень; 2 – винт микрометра; 3 – основание

Уровень с плоским, особенно с рамным основанием (рис. 77), содержащий два взаимно перпендикулярных уровня с микрометрической головкой, можно использовать не только для выверки горизонтальности и вертикальности, но и для контроля параллельности и перпендикулярности плоскостей (граней) конструкции.

Горизонтальность конструкций с размерами более 3 м эффективно контролировать при помощи нивелирования (геометрического и гидростатического).

Для нивелирования недоступных маркированных точек оборудования, особенно в процессе эксплуатации, удобно использовать широкопредельный оптический микрометр с зенит-прибором. Микрометр состоит из пентагонального зеркала, закрепленного на вертикальной направляющей – зубчатой рейке, с которой в постоянном зацеплении находится барабан со шкалой. Один оборот барабана соответствует цене деления нивелирной рейки (5 или 10 мм). Число оборотов барабана фиксирует счетчик оборотов. В результате создается возможность измерения величины смещения визирной линии нивелира по высоте в диапазоне до 50–70 мм с точностью 0,01 мм.

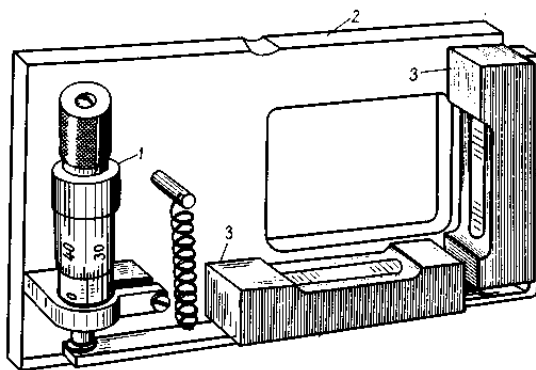


Рис. 77. Уровень с рамным основанием:

1 – винт микрометра; 2 – основание; 3 – цилиндрический уровень

Все это подтверждает наш вывод о том, что современному строительно-монтажному производству необходим комплекс приборов, пригодных для выполнения разнообразных контрольных геодезических процессов: зенит-приборы с пентагональной насадкой, теодолит-нивелиры, навесные лазерные приставки.

Нивелируемые точки оборудования выбирают, как правило, в узлах сопряжения конструкций, на опорных частях, в местах ожидаемого наибольшего прогиба (между опорами), в характерных сечениях и т. п. Расстояние между нивелируемыми точками колеблется от 1–2 м на опорных плитах оборудования (реактор, насос) до 5–10 м на направляющих и подкрановых путях. На опорных кольцах нивелируемые точки выбирают симметрично на диаметрах (по 4, 8, 12 или 16 точек) на ближней и дальней кромке, на направляющих – симметрично в одном сечении, ярусе и т. п. Отметки точек определяют, как правило, с одной станции (от одного горизонта) при несоблюдении равенства расстояний до задней, передней и промежуточных точек. Это обстоятельство обуславливает жесткие требования к юстировке нивелира (допускается погрешность непараллельности линии визирования и оси уровня 5–10"), к производству измерений на малой высоте прибора с короткими рейками, шлифовке мест уста-

новки реек, оборудованию реек шлифованными опорными пятками, использованию широкопредельного микрометра для наведения зрительной трубы на один и тот же штрих рейки и др.

Основными погрешностями нивелирования являются: m_{yp} – приведения линии визирования в горизонтальное положение, $m_{нав}$ – наведения углового биссектора на штрих рейки, $m_{\Delta s}$ – неравенства расстояний до реек (разность плеч), m_o – отсчета по микрометру, m_p – установки рейки.

Влияние первых трех погрешностей можно рассчитать по формулам:

$$m_{yp} = \frac{15\tau s}{\rho v_y}; \quad m_{нав} = \frac{10'' s}{\rho v_n}; \quad m_{\Delta s} = \frac{I(s_2 - s_1)}{\rho}, \quad (99)$$

где τ – цена деления уровня; s – расстояние до рейки; $(s_2 - s_1)$ – разность расстояний до задней и передней реек; v_y, v_n – увеличение оптической системы контактного уровня и зрительной трубы нивелира; I – угол непараллельности визирной оси и оси уровня.

Погрешности m_o и m_p принимаются равными 0,05 и 0,1 мм.

Общую погрешность взгляда и превышения рассчитывают по формулам

$$m_{взгл} = \sqrt{m_{yz}^2 + m_{нав}^2 + m_{\Delta s}^2 + m_o^2 + m_p^2}. \quad (100)$$

Последняя формула учитывает погрешности взглядов на две рейки и измерение превышений дважды (по основной и дополнительной шкалам).

Следует подчеркнуть, что точность прецизионного нивелирования в большой мере зависит от условий выполнения измерений. Для монтажной площадки характерно большое скопление металлических конструкций, подвергающихся летом сильному солнечному нагреву, а зимой большому охлаждению (температура металла, как правило, на 4–6 °С выше летом и ниже зимой, чем температура воздуха) и являющихся источником рефракционных искажений. Разработанный метод механическо-

го учета рефракции в турбулентной атмосфере путем наведения углового биссектора сетки на нижнее изображение колеблющегося штриха, а не на ось симметрии колебания этого штриха (середина между нижним и верхним изображением), как это принято в настоящее время. Способ позволяет не только повысить точность нивелирования в турбулентной атмосфере, но, главное, проводить работы в течение всего дня.

При монтажных работах для выведения контролируемых точек на заданный проектный уровень используют подкладки, винтовые домкраты, гидравлические подъемники. Контроль высоты подъема проводят нивелиром по рейке или при помощи индикаторной подставки, включающей опорную плиту, стойку, консоль и индикатор часового типа. Для укрепления на конструкции оборудования опорная плита подставки снабжена магнитным основанием. Для нивелирования направляющих машин, особенно в процессе эксплуатации, применяют различные конструкции гидростатических профилографов. В Японии для нивелирования конструкций небольшой протяженности применяют профилограф, схема действия которого состоит в следующем. Параллельно с исследуемой поверхностью устанавливается лоток с жидкостью, создающей искусственный горизонт – поверхность относимости. По направляющей перемещается каретка, снабженная шпинделем с измерительным наконечником, контактируемым с исследуемой поверхностью. Вертикальные перемещения измерительного наконечника передаются через изоляционные пластины и колонки на диск, являющийся одной из обкладок конденсатора. Другой обкладкой конденсатора служит поверхность жидкости. Разность уровней определяется по разности измеренных емкостей. Высокая чувствительность емкостных преобразователей обеспечивает высокую точность измерения малых превышений.

ГЛАВА 5. СТРОИТЕЛЬСТВО КРУПНЫХ СООРУЖЕНИЙ

5.1. Геодезические работы и контроль при монтаже подкрановых балок, путей и ферм

Промышленные здания оснащаются подъемно-транспортным оборудованием для перемещения и транспортировки сырья, готовой продукции и других грузов. Чаще всего для этих целей применяются *мостовые краны* с грузоподъемностью до нескольких сотен тонн (рис. 78).

Мостовой кран представляет собой мост на колесах, перемещающийся по подкрановым путям в виде железнодорожных или специальных *рельсов*. Рельсы укладываются на *подкрановые балки*, которые опираются на консоли колонн и жестко скрепляются с ними сваркой металлических пластин, специально закладываемых в процессе изготовления на концах балок и консолях колонн.

Рельсы крепятся к верхним анкерным болтам подкрановой балки с помощью *специальных крюков* с винтами, что дает возможность смещать рельсы в поперечном направлении в пределах 20 мм при рихтовке пути.

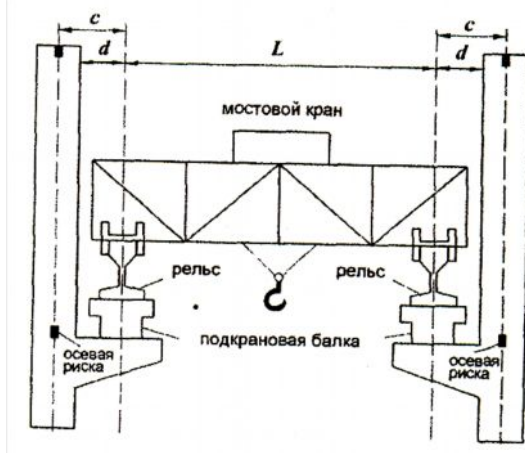


Рис. 78. Подкрановый путь мостового крана

Нивелирование консолей колонн. Геодезические работы начинают с нивелирования горизонтальных рисков каждой колонны. Отметки консолей вычисляют по измеренным в процессе контроля геометрических параметров колонн расстояниям от риски до поверхности консоли.

Возможно также нивелирование консолей *по верху*. Для этого нивелир устанавливают с соблюдением правил безопасности на средней консоли противоположного ряда или на специальной площадке, отметку одной из консолей определяют с помощью подвесной рейки, а отметки остальных консолей – по реечным отсчетам на каждой из них.

Наивысшую из отметок принимают за монтажный горизонт, на который будут устанавливаться подкрановые балки при помощи стальных подкладок, и вычисляют толщину подкладок для каждой консоли как *разность наивысшей отметки и отметки данной консоли*.

На колонны выносят и закрепляют *удобную отметку* (кратную 0,5 м или 1 м) выше проектной отметки головки рельса.

Разбивка на консолях осей рельсового пути. Разбивка осей рельсов выполняется от продольных осей колонн, для чего внутрь пролета откладывается отрезок c (рис. 78), заданный в проекте и равный расстоянию между осями колонн и рельсов.

В зависимости от условий оси рельсового пути могут быть построены сразу на консолях колонн или сначала на полу цеха, а потом перенесены на консоли.

В первом случае осевую риску каждой колонны переносят с помощью теодолита на уровень консоли и от полученной черты откладывают проектный отрезок c , отмечая на консоли ось рельса рисккой.

Во втором случае от крайних колонн на полу цеха строят оси обоих рельсов подкранового пути и с помощью теодолита наклонным проектированием переносят сначала одну, а потом вторую оси рельсов вверх, закрепляя полученные проекции рисками на всех консолях каждого ряда колонн. Геодезические работы при монтаже и эксплуатации подкрановых путей содержат следующие технологические операции: нивелирование консолей

колонн и закрепление на колоннах монтажного горизонта рельсового пути; разбивка на консолях осей рельсового пути; укладка, выверка и исполнительная съемка подкрановых балок.

Таблица 3

Допустимые отклонения параметров подкрановых путей

Параметры подкранового пути	Допустимые отклонения параметров ($\pm$)	
	при укладке	при эксплуатации
Разность отметок головок рельсов в одном поперечном сечении, мм:		
На опорах	15	20
В пролетах	20	25
Разность отметок головок рельсов на соседних колоннах, мм:		
до 10 м	10	15
более 10 м	1:1000L	20
максимальном	15	—
Отклонения расстояния между осями рельсов, мм	10	15
Взаимное смещение торцов стыкуемых рельсов в плане и по высоте, мм	2	3
Отклонение рельса от прямой линии, мм	15	20
Зазор в стыках рельсов при температуре 0°C и длине рельса 12,5 м (при изменении температуры на 10°C зазор изменяется на 1,5 мм), мм	4	4
Смещение рельса относительно оси подкрановой балки	15	15

Высота путей над уровнем пола составляет 10–30 м, расстояние L между осями рельсов находится в пределах 17–33 м. Значения допустимых отклонений параметров подкрановых путей приводятся в табл. 4.

Оси рельсов, кроме того, обозначают насечками на специальных кронштейнах (скобах), закрепляемых на крайних колоннах каждого ряда или монтажного горизонта. Через насечки натягивают *тонкую струну* и на ней подвешивают над каждой консолью отвесы, по остриям которых совмещают оси балок и рельсов при их укладке.

Если монтаж подкранового пути ведется на значительной высоте или использование теодолита невозможно, то конечные осевые точки рельсового пути проектируют вверх с помощью зенита-прибора.

Между осями рельсов на консолях каждого пролета измеряют расстояние, которое не должно отличаться от проектного более чем на 5 мм.

Целесообразно также измерить и записать на каждой колонне *расстояние d* от внутренней грани колонны до оси рельса на консоли и использовать его в дальнейшем при укладке подкрановых балок и рельсов. На каждой консоли также обозначают риской её поперечную среднюю линию.

Укладка, выверка и исполнительная съемка подкрановых балок. Перед укладкой выполняют контроль геометрических параметров каждой балки, наносят краской на торцы ее продольную ось.

Укладка балки выполняется с помощью крана так, чтобы ее торцы оказались на поперечных осях соседних колонн ряда (на средних поперечных линиях консолей).

В проектное плановое положение балка укладывается совмещением ее продольной оси (крайних рисок) с осью рельса, обозначенной рисками на консолях.

В проектное положение по высоте балки устанавливают с помощью заранее подготовленных и приваренных к консолям стальных подкладок соответствующей толщины, после чего балки временно закрепляются.

Выверка балок выполняется после их временного закрепления, для чего на верхнюю плоскость каждой балки переносят и закрепляют рисками оси рельсов по натянутой струне с помощью отвесов.

При необходимости балку перемещают в нужную сторону (рихтуют) и окончательно закрепляют сваркой закладных металлических пластин на балке и на консолях.

Исполнительная съемка подкрановых балок выполняется по окончании монтажа. Для этого вновь натягивают струну и определяют *смещение осей балок* относительно струны. Геометрическим нивелированием определяют *фактические отметки верха бачок на каждой консоли* от рисок или реперов, закрепляющих монтажный горизонт. По результатам исполнительной планово-высотной съемки составляют *исполнительную схему планового положения балок* с величинами отклонений от оси рельсов и *два профиля* вдоль рельсовых осей. На *профилях* показывают фактические отметки верхней плоскости балок на каждой колонне, проектный горизонт рельсов и вычисляют рабочие отметки (разность проектной и фактической высот опорной плоскости балок), которые являются *толщиной подкладок под рельсы* для установки их на проектный уровень.

Укладка, выверка и исполнительная съемка рельсового пути. Перед укладкой рельсы осматривают, измеряют их высоту и наносят краской на торцы и головку их *продольные оси*. На концах балок приваривают под рельсы стальные подкладки нужной толщины.

Укладка рельса на подкрановую балку выполняется так, чтобы совместились соответствующие их риски. Укладку рельсов обеих ниток *контролируют* по расстояниям d от внутренней грани колонны и по натянутой струне. Укладку второй нитки контролируют, кроме того, *по расстоянию L* между рельсами промерами от первой нитки компарированной рулеткой, после чего рельсы временно закрепляют.

Так как рулетка провисает под действием своей тяжести, то ее компарирование следует выполнять *на весу*, чтобы не вводить поправку, обусловленную ее провесом. Для этого откладывают на местности отрезок, равный ширине L рельсового пути, и закрепляют его концы, а также середину кольями высотой 0,5–1 м. Торцы кольев с помощью нивелира устанавливают *на одном уровне*, натягивают рулетку поверху кольев и отмечают на тор-

цах крайних кольев отрезок, равный ширине рельсового пути, с учетом поправок за компарирование и температуру. При этом необходимо следить, чтобы при натяжении рулетки усилие не передавалось на колья. При прогибах рулетки между средним и крайними кольями устанавливают дополнительные колья. Потом убирают средний кол и измеряют построенный отрезок на весу при том же натяжении рулетки. Полученный отсчет от нулевого деления рулетки будет соответствовать проектной ширине рельсового пути.

Выверка рельсового пути выполняется на прямолинейность и горизонтальность для каждой нитки отдельно после временно-го закрепления рельсов.

Прямолинейность первой нитки рельсов выверяют теодолитом, установленным у крайней колонны на оси рельса выше уровня монтажного горизонта. Теодолит ориентируют по противоположной насечке, закрепляющей ось рельсов, и проектируют ее на головку рельсов на каждой консоли. Если ширина балки не позволяет надежно и безопасно установить теодолит на оси, то его укрепляют сбоку оси на кронштейне, который приваривают к закладной пластине колонны, а для наблюдателя устраивают специальную площадку. Прямолинейность рельсов в этом случае выверяется *боковым нивелированием* от параллельной линии по легкой реечке с миллиметровыми делениями, прикладываемой основанием к оси рельса на каждой консоли. По результатам выверки выполняют *рихтовку* рельса на балке с помощью специальных крюков на винтах.

Прямолинейность второй нитки рельсов выверяется аналогично. Кроме того, измеряют компарированной рулеткой расстояние между рельсами *на каждой поперечной оси*. Ширину колеи L вычисляют вводя поправку за провес мерного прибора по формуле

$$\Delta l = -\frac{8}{3} \cdot \frac{f^2}{L}, \quad (101)$$

где f – стрелка провеса рулетки, определяемая на отрезке длиной L от торца среднего кола, установленного на одинаковом уровне

с крайними кольями, между которыми натягивается рулетка на весу.

Если ширина рельсового пути *больше* мерного прибора, то оси рельсов с каждого пролета проектируют *вниз* с помощью тяжелых отвесов, опущенных в сосуды с жидкостью (с водой и опилками, машинным маслом т. п.), которые устанавливают в углубления ниже уровня пола (или настила), и на полу (настиле) выполняют контрольные измерения.

Отклонения фактической ширины колеи от проектной не должны превышать 10 мм.

Горизонтальность рельсов выверяется после их окончательной укладки. Для этого на каждом пролете определяют отметки головок рельсов геометрическим нивелированием из середины рельсового пути. Превышение головок рельсов в пределах пролета должны быть в пределах 10 мм. При необходимости недопустимые отклонения рельсов в плане и по высоте устраняют *повторной рихтовкой* рельсов.

Исполнительная плано-высотная съемка рельсового пути выполняется по окончании монтажа рельсов и после *пробной многократной прогонки* мостового крана под нагрузкой. По результатам исполнительной съемки составляют *исполнительную схему*, на которой показывают отклонения фактических параметров пути от проектных. К исполнительной схеме прикладывают *профили обеих рельсовых ниток*, составленных после обкатки. Если полученные отклонения превышают допустимые, то их *устраняют дополнительной рихтовкой*.

Погрешности *контрольных* измерений при исполнительной съемке не должны превышать 0,2 допускаемого отклонения параметра от проектного. Это требование достигается применением точных теодолитов и нивелиров (типа Т5 и Н-3 соответственно) и компарированных рулеток с миллиметровыми делениями.

Наблюдения за положением рельсового пути в процессе эксплуатации. В период эксплуатации мостового крана геометрические параметры подкрановых путей изменяются вследствие различных факторов: износа рельсов, неравномерных осадок

колонн, температурных колебаний и т. п. Чтобы своевременно предотвратить появление недопустимых отклонений за плановым и высотным положением подкрановых путей, *ведутся постоянные геодезические наблюдения*, в состав которых входит: измерение ширины колеи; определение непрямолинейности рельсов; нивелирование рельсов.

В действующих цехах часто невозможны непосредственные контрольные измерения параметров рельсового пути от продольных осей колонн. В таких случаях *контроль* точности монтажа подкрановых путей целесообразно выполнять способом косвенных измерений от двух произвольных створов, которых *строят* на полу цеха под крановым путем в том месте, где это возможно (рис. 79).

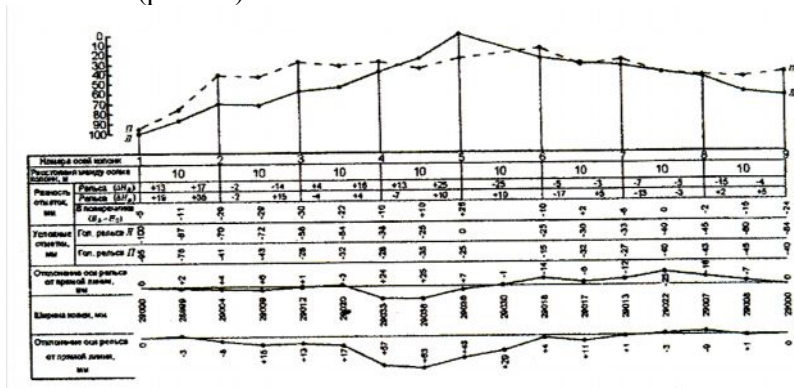


Рис. 79. Исполнительная схема планово-высотного положения подкрановых путей

Вдоль *поперечных осей* измеряют расстояния $l_1, l_2, \dots, l_i, \dots, l_n$ между линиями построенных створов. От каждого створа *боковым нивелированием* определяют расстояния до осей рельсов по поперечным осям (на консолях колонн): $a_1, a_2, \dots, a_i, \dots, a_n$ и $B_1, B_2, \dots, B_i, \dots, B_n$ по которым составляют схему рельсового пути (на рис. 79 показан ломаными линиями). Конечные точки *одной нитки* соединяют прямой линией и принимают ее за продольную ось (например, линию вдоль оси А).

Поправки для прямолинейной укладки рельсов этой нитки вычисляют по формуле

$$\delta a_i = a_i - a_1 - \frac{\Delta a_n}{n-1} \cdot (i-1), \quad (101)$$

где $a_n = a_n - a_i$.

Вторую нитку рельсов укладывают после рихтовки первой на проектном расстоянии L от нее. Проектное расстояние L откладывают по всем поперечным осям рулеткой, компарированной на весу, с учетом поправок за температуру и компарирование.

Вторую нитку можно уложить прямолинейно и на проектном расстоянии L от первой также по поправкам δB от второго створа, которые вычисляют по формулам, вытекающим из рис. 80.

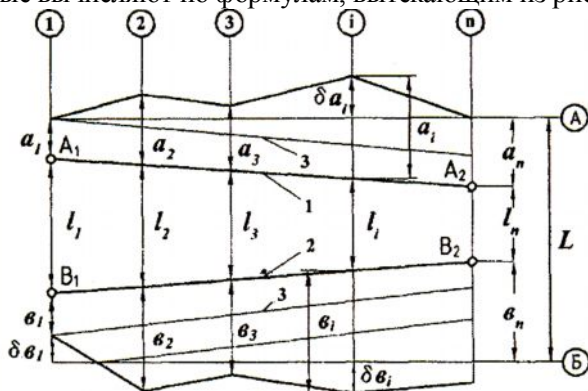


Рис. 80. Контроль точности монтажа подкрановых путей способом произвольных створов:

1 – первый створ; 2 – второй створ; 3 – смещённые створы;
A, B – продольные оси; 1, 2, 3, ..., i, ..., n – поперечные оси

Поправка на первой колонне

$$\delta B_1 = a_1 + l_1 + B_1 - L. \quad (102)$$

Поправка на последней колонне

$$\delta B_n = a_n + l_n + B_n - L.$$

Поправка на *любой* из промежуточных колонн

$$\delta B_i = B_i - (B_1 - \delta B_1) - \frac{\Delta B_i}{n-1} \cdot (i-1), \quad (104)$$

где $\Delta B_n = a_n + l_n = B_1 + \delta B_1 - L$.

Направление перемещения рельса относительно створа показывают знаки поправок δa и δb .

Для наглядности и удобства составляют схему рихтовки путей (аналогичную рис. 81), на которой в масштабе 1:1 или 1:2 показывают величины Δa Δa δa δb .

После рихтовки подкранового пути измеряют фактическое расстояние между осями рельсов по каждой поперечной оси, которое не должно отличаться от проектного более чем на 15 мм.

Фактическое расстояние между осями рельсов можно также вычислить по результатам исполнительного бокового нивелирования от каждого из створов (рис. 81) по формуле

$$S_i = a_i + B_i + l_n - \frac{l_1 - l_n}{n-1} \cdot (n-1) \quad (104)$$

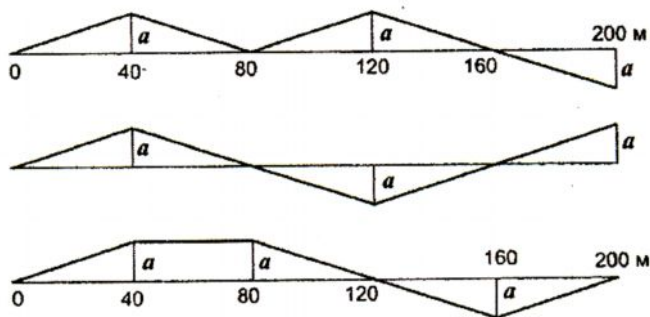


Рис. 81. Схемы рихтовки одиночных рельсов с допустимыми отклонениями от прямой $a=20$ мм

Высотную выверку подкранового пути выполняют геометрическим нивелированием (обычно с моста крана), а горизонтальность рельсов обеспечивают с помощью подкладок, толщину которых рассчитывают по результатам высотной выверки. При этом следует выбирать минимально допустимую отметку рельса, относительно которой рассчитывается толщина подкладок под рельсы в остальных фиксированных точках.

Рихтовочные данные могут быть получены оперативно и с достаточной точностью *графически* по исполнительной плано-высотной схеме подкранового пути, составленной в масштабе 1:1. Для этого на *плане* и *продольном профиле* проводят *прямые выравнивающие линии*, относительно которых определяют данные для рихтовки отдельных рельсов (длиной 40 м). В *плане* значения рихтовочных величин не должно превышать их возможной величины *a* (обычно 20 мм в обе стороны от оси балки) (рис. 81).

Выравнивающие линии могут быть также *криволинейными* в тех случаях, когда рихтовочные данные от прямых линий превышают их возможную величину или когда при рихтовке нарушается минимально допустимое расстояние от крана до колонны (рис. 82).

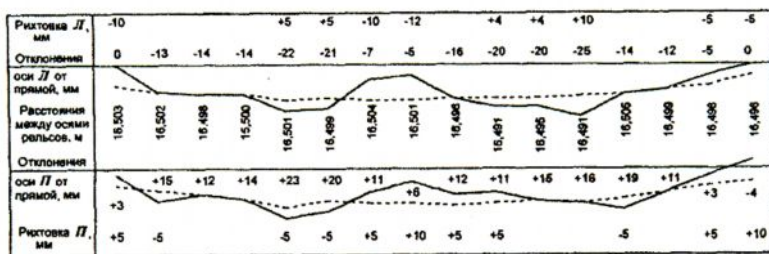


Рис. 82. План подкранового пути с рихтовочными данными от кривых выравнивающих линий

Криволинейные выравнивающие линии в *профиле* проектируют в случае больших перепадов отклонений от прямой линии между смежными колоннами.

Криволинейные выравнивающие линии целесообразны также при рихтовке с минимальным объемом работ.

Промышленное здание сверху имеет перекрытие, которое одновременно является и крышей. Такое устройство называется *покрытием*.

Покрытие состоит из *основных несущих конструкций* (балок или ферм), называемых *стропильными*, и *ограждения* в виде железобетонных плит (панелей), укладываемых по несущим конструкциям.

Основные несущие конструкции устанавливают вдоль поперечных осей, и они опираются на стены здания или колонны.

Верхняя поверхность балки или фермы, на которую укладываются панели покрытия, называется *верхним поясом*, а нижняя, концы которой являются опорными, – *нижним поясом*.

Длина несущей конструкции называется *пролетом*, а расстояние между ними – ее *шагом*.

По верхнему поясу основных конструкций размещены *закладные металлические пластины* для крепления плит покрытия, а на концах с нижней стороны – *стальные пластины с вырезом* для крепления к колоннам.

Балки и фермы чаще всего изготавливают из железобетона.

Стропильные балки бывают односкатными с параллельными поясами, двухскатными (с уклоном $i=1:12$), сплошными или решетчатыми (рис. 83). Их устанавливают в зданиях с шагом колонн 6 и 12 м с пролетами 12 и 18 м.

Стропильные фермы представляют собой геометрически жесткую решетчатую конструкцию, образованную *вертикальными* стойками и *наклонными связями* (*раскосами*) между верхним и нижним поясами. Место соединения стойки или раскоса с поясом называется *узлом* фермы. Решетка фермы располагается между поясами таким образом, чтобы панели покрытия (их ширина 1,5 или 3 м, а длина равна шагу ферм) опирались на фермы в узлах стоек и раскосов. *По очертаниям поясов* фермы бывают сегментные, арочные и с параллельными поясами.

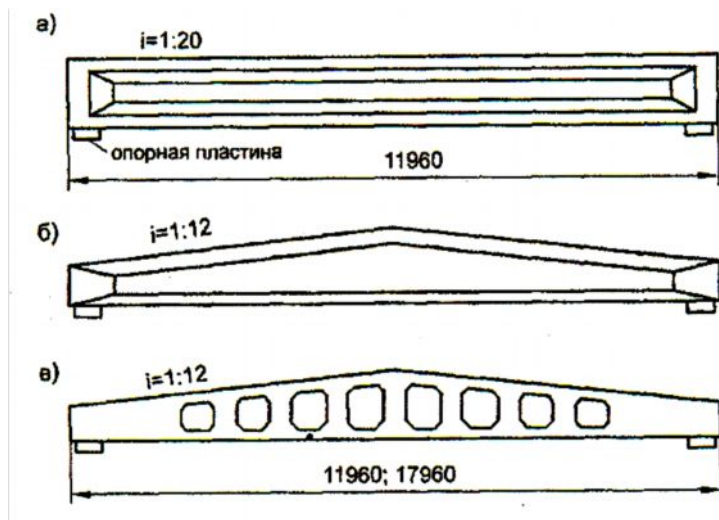


Рис. 83. Железобетонные стропильные балки:

- а) односкатная с горизонтальными поясами; б) двускатная сплошная;
в) двускатная решетчатая

Если шаг колонн больше шага ферм или балок, и некоторые из них не попадают на колонны, то для опирания стропильных конструкций укладывают на колонны продольных рядов *подстропильные балки или фермы* длиной обычно 12 м (рис. 84).

Их устанавливают вдоль здания по верху колонн и скрепляют сваркой закладных деталей. Для опирания строительных балок и ферм по концам и в середине подстропильных конструкций имеются закладные детали с анкерными болтами. Стропильные конструкции соединяются с подстропильными анкерными болтами и сваркой.

Для монтажа балок и ферм на оголовки колонн наносят продольные и поперечные оси с помощью теодолита и закрепляют их рисками. На торцах устанавливаемых балок и ферм наносят краской риски их продольных геометрических осей.

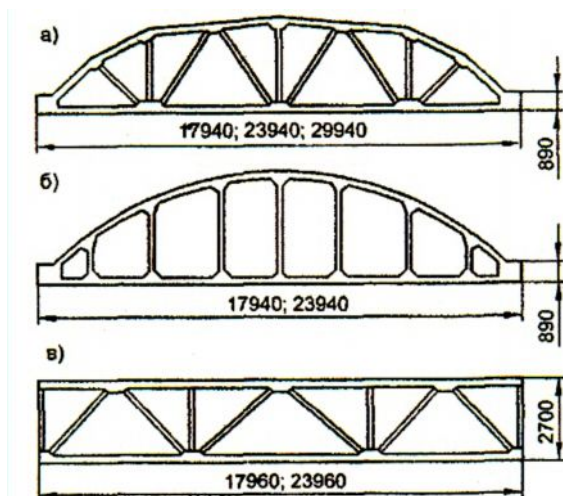


Рис. 84. Железобетонные стропильные фермы:

а) сегментные;

б) арочные; в) с параллельными поясами

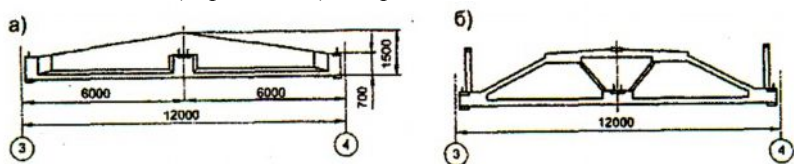


Рис. 85. Подстропильные железобетонные конструкции:

а) балка; б) ферма

В плановое положение балку или ферму устанавливают совмещением ее осевых рисок с рисками поперечных осей колонн (рис. 85). В вертикальное положение балки и фермы устанавливают при помощи отвесов или теодолита (рис. 86) подкладкой на оголовки колонн стальных пластин необходимой толщины. По окончании монтажа выполняют выверку каждой фермы. Выверка заключается в определении горизонтальности и прямолинейности нижнего пояса фермы, а также вертикальности ее плоскости. Горизонтальность выверяется нивелированием узловых точек нижнего пояса. Стрелка прогиба нижнего пояса,

равная разности среднего отсчета по рейке на концах нижнего пояса и отсчета по рейке в его середине, не должна быть более $1:1500$ длины фермы, но не более 10 мм.

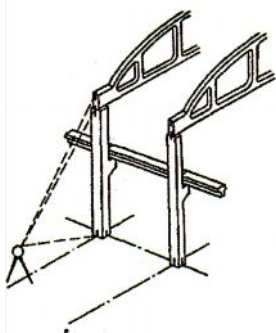


Рис. 86. Схема установки и выверки ферм

Прямолинейность выверяется по натянутому между концами балки шнуру (струне).

Вертикальность плоскости фермы определяется по отклонению нижнего узла фермы в середине пролета от нити отвеса, укрепленного в той же плоскости на верхнем узле, которое измеряется миллиметровой линейкой и не должно быть более $1:250$ высоты фермы.

В процессе выверки измеряют также *расстояния* между осями соседних ферм (балок) по верхнему поясу, на которые опираются панели покрытия.

Отклонения измеренных расстояний от проектных допускаются не более 5 мм.

Если до монтажа ферм разбивочные оси не были вынесены на оголовки колонн и плановое положение ферм оказалось произвольным, то продольные и поперечные оси выносят на нижний пояс ферм с некоторым смещением (на 3–5 м). От этих осей устанавливают в проектное положение ригели, прогоны и другие конструкции.

5.2. Разбивка подкрановых путей для башенных кранов

Строительство крупных сооружений ведется с помощью башенных кранов, которые предназначены для подъема и перемещения различных грузов. Для башенного крана предварительно укладывается *рельсовый подкрановый путь*, по которому он перемещается вдоль сооружения. *Рельсы* (англ. *reils* от лат. *regula* – прямая палка) – стальные балки специального сечения, которые крепятся к *шпалам* (гол. *spalk* – подпорка).

К положению рельсового пути в плане и по высоте предъявляются высокие требования, несоблюдение которых может привести к тяжелым последствиям: авариям, разрушениям, несчастным случаям и т. п. Технические нормы по устройству и эксплуатации башенных кранов даются в официальных документах.

Для этого сначала *выносят* на местности *ось подкранового пути*, отложив от основной оси здания расстояние, установленное для данного вида крана, которое обязательно указывается в рабочем чертеже. От оси пути в обе стороны по перпендикуляру откладывают половину ширины колеи и закрепляют конечные точки обоих рельсов.

Шпалы и рельсы укладывают на горизонтальное земляное полотно, возводимое *по проекту вертикальной планировки* путевой площадки, в котором рассчитывают проектную высоту полотна, а также объемы земляных работ.

Для разработки проекта вертикальной планировки составляют: продольный профиль по оси пути; поперечные профили путевой площадки через каждые 5–10 м и на перегибах местности; план пути с фактическими отметками точек на его оси и поперечниках.

Поперечники разбивают с помощью теодолита и рулетки. Точки на поперечниках закрепляют кольями вровень с землей и их высоты определяют геометрическим нивелированием.

При выносе проекта вертикальной планировки в точках поперечников устанавливают кольца на проектную высоту и *контролируют* возведение земляного полотна нивелиром.

После уплотнения земляного полотна сверху насыпают слой гравия (балласт), на который укладываются шпалы.

Укладка шпал и крепление рельсов к ним (*рихтовка*) ведется относительно проволоки, натянутой по оси пути. Рихтовка контролируется по высоте нивелиром, а ширина колеи (расстояние между внутренними гранями рельсов) – рулеткой или шаблоном.

По окончании работ выполняют исполнительную съемку рельсового пути определением через 10 м положения каждого рельса в плане и в условной системе высоты, нулем которой

является *минимальная отметка* головки рельса. Требования к точности укладки подкранового пути для башенных кранов приводятся ниже.

Таблица 4

Точность укладки подкранового пути башенных кранов

Наименование отклонений	Допуски мм
Разность отметок головки одного рельса на расстоянии 10 мм	± 20
Разность отметок головок рельсов пути в одном поперечном сечении	± 5
Отклонения ширины колеи в любом месте пути от проектной	± 3
Отклонения расстояния между осями рельсов от проектного	± 10

Указанная точность геодезических работ обеспечивается применением теодолита и нивелира технической точности, а также компарированной рулетки.

Обнаруженные в процессе исполнительной съемки недопустимые отклонения устраняют дополнительной рихтовкой.

Если полотно возводится на грунтах, слабо пропускающих влагу (глинах, суглинках и т. п.), то уклоны полотна в сторону водоотвода допускаются не более; продольный 0,005, поперечный 0,01.

В случае *криволинейного пути* разбивают по оси кривую данного радиуса и поперечники к ней, нивелируют точки на поперечниках, составляют проект вертикальной планировки пути, выносят проект на местность и возводят земляное полотно. На готовом полотне выполняют *детальную разбивку кривой для каждого рельса отдельно*. В остальном порядок работ аналогичен.

В период эксплуатации башенного крана систематически проверяют состояние подкранового пути, а также после сильных осадков, замерзания и оттаивания грунта.

5.3. Особенности геодезических работ при монтаже технологических трубопроводов и их контроль.

Организация геодезических работ при строительстве магистральных трубопроводов

Промышленные и гражданские сооружения обеспечивают водой, теплом, газом, электроэнергией, связью. Кроме того, от них отводятся атмосферные осадки и непригодные продукты деятельности (отходы, грязная вода и т. п.). Для этой цели здания и сооружения связывают *коммуникациями* различного назначения, которые часто прокладывают под землей (лат. *communitio* – связываю, делаю общим). Подземные коммуникации можно разделить на три основные группы: *трубопроводы*, *кабельные сети*, *коллекторы*.

К *трубопроводам* относятся коммуникации в виде труб (металлических, пластмассовых) различного диаметра: водопровод, газопровод, теплоснабжение, водостоки (*канализация*). Жидкость в трубах может перемещаться под действием силы тяжести, тогда трубопровод укладывается с понижением в сторону перемещения (*самотечные трубопроводы*), или под давлением (*напорные трубопроводы*). Самотечной бывает только канализация. Водопровод, теплосети, частично канализация, а также газопровод являются напорными.

К *кабельным* относятся электросети (для передачи электроэнергии) и сети связи (для передачи информации: телефон, телеграф, радио, телевидение).

Коллектор (лат. *collector* – собиратель) представляет собой совокупность коммуникаций различного или одного и того же назначения.

Трубопроводы и кабельные сети укладывают в *траншеи* (франц. *tranchee* ~ ров, вытянутое искусственное углубление в земной поверхности), которые потом засыпаются землей. *Коллекторы* прокладывают в *тоннелях* небольших размеров (англ. *tunnel* ~ подземное сооружение для прокладки сетей).

Для обслуживания подземных коммуникаций (ремонт, наладка, осмотр и т. п.) через определенные расстояния (от 10 до

200 м) сооружают вертикальные подходы к ним – *смотровые колодцы* (люки), закрываемые металлической крышкой.

Геодезические работы при строительстве подземных коммуникаций *начинаются* с подготовки проекта к выносу в соответствии с рабочим чертежом, на котором указываются: ось коммуникации (трасса); координаты центров смотровых колодцев и точек поворота, расстояния между ними; схемы привязки к геодезическим пунктам и существующей застройке; проектные отметки и уклоны дна траншеи или тоннеля; другие необходимые данные.

Вынос оси коммуникаций выполняется с точностью: в плане порядка 1:2000, а по высоте – с различной точностью в зависимости от вида, важности и т. д. коммуникации.

Обычно геодезических пунктов для выноса всей коммуникации недостаточно. Поэтому вдоль трассы коммуникации прокладывают *теодолитный ход* точности не менее 1:2000 и *ход геометрического нивелирования* необходимой точности (от II класса до технической) с установкой реперов через 100–200 м.

От геодезических пунктов или существующей застройки выносят и закрепляют кольями *повороты* коммуникации, *центры смотровых колодцев*, а также прямолинейные участки *через 5–10 м*. Потом закрепляют внешний и внутренний контуры траншеи, для чего откладывают *половину* ее ширины в обе стороны от осевых кольев. Разбивают также *котлованы* для смотровых колодцев от их центров.

Повороты коммуникации, колодцы и прямые участки через каждые 50 м и на перегибах местности *закрепляют* обносками, т. к. осевые кольца при рытье траншеи будут уничтожены. *Обноска* представляет собой два столба по разные стороны от оси траншеи, соединенные горизонтальной доской на высоте около 1 м (рис. 87). Столбы прочно вкапывают в землю на расстоянии 1,5–2 м от внешнего контура траншеи. *Ось траншеи* переносят теодолитом на доску обноски и закрепляют снизу гвоздем. Проволока, натянутая через гвозди соседних обносок, является осью коммуникации.

Рытье траншеи выполняется землеройной машиной. За выемкой грунта ведется постоянное наблюдение. Грунт не добирается на 15–20 см до проектной отметки. Окончательную подготовку дна траншеи для укладки труб выполняют более точно вручную при помощи трех визирок: двух постоянных и одной ходовой, имеющих одинаковую высоту (обычно не более 4 м).

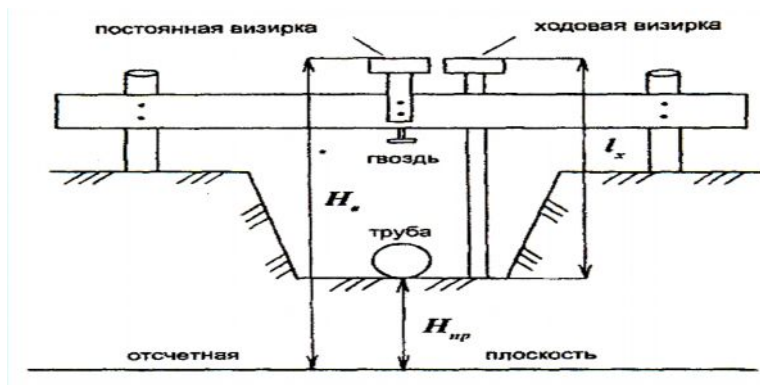


Рис. 87. Обноска на траншее

Постоянная визирка представляет собой горизонтальную планку, прибиваемую гвоздями к верху доски обноски по оси траншеи. *Первую планку* устанавливают произвольно на высоте, удобной для визирования невооруженным глазом. На смежной обноске планку укрепляют с некоторым превышением h относительно первой планки, которое определяется величиной и знаком проектного уклона $i_{пр}$ трубопровода и расстоянием d между обносками:

$$h = i_{пр} \cdot d . \quad (105)$$

Постоянные визирки нивелируют и вычисляют их высоты H .

Ходовая визирка представляет собой вертикальную рейку в виде буквы Т. Ее длину l_x вычисляют как разность отметки H_b постоянной визирки и проектной отметки $H_{пр}$ дна траншеи под

постоянной визиркой (см. рис. 87):

$$l_x = H_b - H_{np} . \quad (106)$$

Зачистка дна выполняется до уровня, при котором верх ходовой визирки, установленной в любом месте траншеи, будет находиться на линии, соединяющей верх постоянных визирок. Эта линия определяется чаще всего невооруженным глазом или задается натянутой проволокой. Если траншея *глубокая*, то постоянные визирки необходимой длины закрепляются *вниз* от горизонтальной доски обноски.

Укладка труб на дно по оси выполняется с помощью отвеса от проволоки, проходящей через гвозди соседних обносок.

Укладка труб по высоте выполняется разными способами в зависимости от требуемой точности.

Все напорные трубопроводы и кабельные сети с достаточной точностью укладываются по ходовым визиркам. *Безнапорные* (самотечные) трубопроводы (различные виды канализации), имеющие, как правило, небольшие уклоны, укладываются с помощью нивелира, а каждая в отдельности труба – с помощью маяков. *Маяк* – это винт или шуруп, ввинченный в деревянный кол. Колья предварительно забивают по оси траншеи на расстояниях, равных длине отдельной трубы. Каждый шуруп устанавливают с помощью нивелира на проектную отметку. По головкам шурупов бетонируют дно траншеи или выравнивают грунт для укладки труб.

В крупных городах для коммуникаций устраивают *коллекторы*. Строительство коллекторов чаще всего выполняется открытым способом и в отдельных случаях – как тоннели. Вынос точек тоннеля выполняется с более высокой точностью.

Наиболее ответственной частью геодезических работ является *ориентирование тоннеля* по проектному дирекционному углу и, особенно в тех случаях, когда строительство тоннеля ведется с двух сторон навстречу.

Недопустимые погрешности ориентирования приводят к значительным расхождениям встречных направлений. *Передачу*

дирекционного угла с поверхности земли в тоннель выполняют проектированием конечных точек исходной линии с помощью отвесов или более точно с помощью приборов вертикального проектирования. Ориентирование подземных направлений может быть выполнено автономно с помощью *гидротеодолита*.

Отметки на дно тоннеля передаются от реперов на поверхности земли при помощи двух нивелиров и стальной рулетки. Нивелирование дна коллекторов, предназначенных для стока жидкостей, выполняется более точно, чем коллекторов других назначений.

Перед закрытием траншей и коллекторов выполняется исполнительная съемка, в процессе которой определяется фактическое положение коммуникаций в плане и по высоте. Засыпка траншей и коллекторов проводится только после устранения всех недопустимых отклонений.

После подвода подземных коммуникаций и возведения подземной части здания приступают к возведению *надземной* его части. Наиболее *ответственной* частью надземного цикла является возведение *несущих* кирпичных стен здания и монтаж вертикальных элементов его каркаса – *колонн*.

5.4. Монтаж пролетного строения моста и его контроль

Мостовые переходы через большие водотоки или суходолы представляют собой сложное сооружение, состоящее из моста (эстакады), включающего опоры и пролетные строения, подходов к мосту – земляных дамб и системы сооружений для плавного и безопасного пропуска водного потока. Геодезические работы на мостовых переходах выполняют в процессе изысканий, строительства и эксплуатации.

При изысканиях проводят:

- трассирование по всем вариантам трассы для выбора оптимального места мостового перехода;
- съемку участка мостового перехода для составления генерального плана;

– определение длины мостового перехода, привязку опор к пикетажу трассы.

Для обеспечения строительства необходимо:

– создать геодезическую разбивочную планово-высотную основу;

– выполнить разбивку опор моста;

– обеспечить монтаж пролетных строений в геометрическом соотношении;

– выполнить контроль качества строительства и исполнительные съемки;

– вести натурные наблюдения за деформациями элементов мостового перехода в период строительства.

В процессе изысканий определяют длину мостового перехода между двумя точками, расположенными на противоположных берегах в незатопляемых местах. Этот параметр является исходным для проектирования моста. Длина мостового перехода измеряется светодальномером. Точность определения длины зависит от конструкции моста, ошибка не должна превышать 2–5 см.

Требования к точности геодезических работ. До начала строительно-монтажных работ на основании проекта определяют окончательное положение продольной оси моста, которое на местности закрепляют геодезическими знаками – по два на каждом берегу вне зоны строительных работ.

Разбивочная основа должна закреплять на местности:

– для мостов длиной до 100 м – продольную ось моста;

– в случае пойменного перекрытия – продольную ось и вспомогательную, параллельную главной оси моста; оси трасс подходов к мосту;

– для мостов длиной более 300 м – пункты специальной плановой геодезической сети;

– высотные реперы.

Предельные ошибки положения пунктов относительно принятых за исходные, мм:

Пункты плановой геодезической сети 6

Отметки постоянных реперов 3

Отметки временных реперов..... 5

Относительно пунктов разбивочной основы в натуру выносят центры опор и отметки временных и постоянных реперов на опорах.

В процессе строительства вплоть до возведения опор необходимо обеспечивать проектное положение элементов моста в единой системе координат. Наиболее жесткие требования предъявляют к определению положения осей опор на уровне фундамента: $\Delta=10$ мм как по направлению вдоль, так и поперек главной оси моста. Для отметок верха подферменных площадок $\Delta=15$ мм. Удовлетворение этих требований – конечная цель разбивки мостовых опор.

Плановая геодезическая основа. Геодезическую сеть моста создают в виде триангуляции, линейно-угловых построений или полигонометрии.

Специфической особенностью мостовых разбивочных сетей является то, что оцениваемой стороной всегда считают сторону, совпадающую с осью мостового перехода.

Мостовая триангуляция. Типовой фигурой мостовой триангуляции является сдвоенный геодезический четырехугольник (рис. 88). Наиболее удобным является четырехугольник с продвигом (отношение длины стороны, направленной перпендикулярно к потоку, к стороне вдоль берега), равным $1/2$.

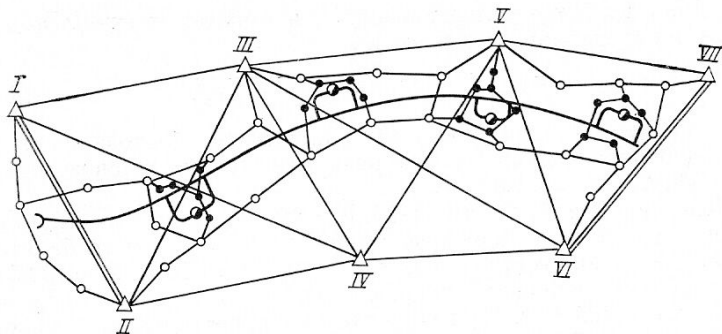


Рис. 88. Мостовая триангуляция

Линейно-угловая сеть. Типовой фигурой является сдвоенный геодезический четырехугольник.

Полигонометрические сети. При строительстве моста на сравнительно сухой пойме или суходоле разбивочная сеть может быть создана построением полигонов.

Все пункты такой сети являются узлами. В полигонах, в которых две стороны, проходящие над водной поверхностью, пересекаются, измеряют либо левые, либо правые углы.

Вынос в натуру положения осей опор моста. В процессе геодезического обеспечения строительства моста операции по выносу в натуру положения осей опор приходится выполнять многократно.

Разбивка по створу главной оси моста. Это наиболее рациональная схема выполнения геодезических измерений. При реализации ее положение опоры по оси X определяется промером расстояния по створу, при этом $m_{x_i} = m_{S_i}$. Положение опоры по оси Y определяется методом створных измерений.

Разбивка способом прямой угловой засечки. Метод прямой угловой засечки практичен при разбивке мостовых переходов на глубоких и широких реках.

На берегах на пунктах разбивочной основы устанавливают три теодолита, один из которых – на оси мостового перехода. Путем построения разбивочных углов теодолиты ориентируют по направлению на центр опоры. По командам наблюдателей монтажники с плавсредства поворачивают основание опоры по азимуту и совмещают его ось с осью моста.

Метод приведения. В этом методе используют постоянство геометрических связей при выносе одной и той же точки от одних и тех же пунктов обоснования.

При монтаже пролетного строения в зависимости от его конструкции и схемы монтажа (непосредственно в пролете, сборка на берегу и т. п.) геодезические работы обеспечивают детальную разбивку мест установки пролета, периодическую выверку сборки пролета, его плановую и высотную установки, нивелирование профиля пролета (определение строительного

подъема). По окончании монтажа проводят исполнительную съемку, в результате которой составляют план и профиль пролетного строения, продольный профиль пути.

Монтаж пролетного строения можно осуществлять как непосредственно в пролете, так и на берегу с доставкой собранного пролетного строения на место. При монтаже пролетного строения на берегу на месте сборки разбивают с закреплением ось пролетного строения, от нее разбивают оси ферм и на них положение нижних узлов ферм. В расположении узлов находят высоты точек и на их основе устанавливают высоты клеток под каждый удел фермы с учетом значений пролетного строительного подъема относительно концов фермы и их планового положения относительно разбитой оси ферм. В процессе монтажа контролируют теодолитом и рейкой положение отдельных частей собираемой фермы относительно ее оси как в плане, так и по высоте. При таких проверках в плане устанавливают рейку горизонтально, упирая ее нулевой конец в фермы нижнего и верхнего поясов в каждом узле, и берут отсчеты по рейке, сравнивая их с проектным отстоянием поясов фермы в плане. По таким примерам судят о прямолинейности сборки поясов фермы, а сравнением положения верхнего и нижнего узлов фермы в соответствующих точках поясов – о вертикальности ферм. Контроль плана монтажа фермы можно выполнить и при помощи коллимационной плоскости теодолита путем отметки ее положения в каждом узле монтажа, на каждой поперечной балке рисккой, краской или керном. Сравнение ведут относительно известной длины поперечных балок или определением разностей между указанными отметками и их проектным положением. Можно тот же контрольный процесс проводить и сравнением положения проволоки, натянутой вдоль оси фермы с положением монтируемых ее частей. Нивелированием верхнего или нижнего пояса фермы (в зависимости от того, какой из них основной) проверяют при сборке положение строительного подъема и строят график строительного подъема, по которому выявляют соответствие его запроектированному строительному подъему.

Собираемое пролетное строение проверяют во всех основных этапах его монтажа, при окончании сборки нижней части строения, крановой сборке, после клепки или сварки, перед снятием и после снятия пролетного строения с клеток, перед установкой строения на опорные части и после его установки. Такая же проверка ведется и во время испытания моста, во время пробной нагрузки и после ее снятия.

Перед монтажом и установкой пролетного строения на опоры проводят разбивку его опорных частей путем измерения расстояний между центрами опор и опорными частями пролетных строений. Размеры опорных частей пролетных строений и действительные расстояния между опорами, должны различаться от проектных на величины, не превышающие допустимые значения. Приклепку или сварку опорных частей к фермам следует делать после установки пролетного строения на место.

При монтаже пролетного строения в пролете разбивку временных опор и вынос на них оси пролетного строения проводят периодически с контролем правильности построения кружал и подмостей и наблюдением за деформациями временных опор. В процессе сборки выполняют проверку плана монтажных ферм и их строительного подъема. В период навесной сборки пролетного строения проверяют теодолитом установку положения каждого элемента как и плане, так и по высоте. Прибор устанавливается на опоре. Высоту положения каждого навесного элемента проще получать нивелиром или установкой визирной оси теодолита на место нуля вертикального круга.

На каждом этапе строительства опоры моста – при возведении шпунтового ограждения, свайного основания, ростверка, тела опоры, ригеля, подферменных площадок – выполняют разбивочные работы по выносу в натуру осей и основных точек данного элемента.

Разбивочные работы начинают с восстановления трассы на участке мостового перехода. При этом контролируют пикетаж, с помощью теодолита проверяют правильность расположения исходных точек моста на оси трассы и расстояние между исходными точками. Для контроля геодезической сети измеряют углы

между сторонами сети и сравнивают их с полученными ранее. Высотную сеть проверяют, измеряя геометрическим нивелированием превышения между реперами. Вынос точек в проектное положение выполняют с помощью засечек или откладывая проектные расстояния по оси моста.

Основные задачи геодезических работ в ходе строительства моста – это разбивка мостовых опор и пролетных строений, контроль размеров поступающих с завода монтажных элементов, контроль за возведением всех частей сооружения, разбивка вспомогательных сооружений (зданий, дорог, причалов и пр.), исполнительная съемка построенного сооружения, наблюдения за деформациями моста.

При строительстве больших мостов выполненные геодезические работы должны контролироваться и приниматься комиссией с участием главного инженера, геодезиста и производителя работ перед началом строительства, после разбивки осей опор, возведения фундаментов опор, возведения опор и разбивки осей подферменных площадок, установки пролетного строения на опорные части.

Ось моста закрепляют дополнительными знаками, вынесенными за пределы земляных работ так, чтобы измерениями от этих знаков положение исходных пунктов мостового перехода в случае их повреждения могло быть восстановлено.

Ось мостового перехода при длине моста до 50 м закрепляют на местности двумя деревянными столбами диаметром не менее 15 см – по одному на каждом берегу. Верхний конец столба затесывают на конус, а на нижнем конце устраивают якорь. Столб вкапывают на глубину, превышающую глубину промерзания грунта на 0,5 м. Знак окапывают канавой в виде квадрата со сторонами 1,5 м, глубиной 0,3 м, а в середине – вокруг столба насыпают курган высотой 0,1 м. Коническую часть столба окрашивают белой или красной краской. Центр отмечают крестообразной насечкой на шляпке гвоздя, забиваемого в вершину столба. При длине моста 50–100 м ось моста закрепляют четырьмя столбами – по два на каждом берегу.

При длине моста свыше 100 м на обоих берегах закладывают по два железобетонных знака. Основание знака должно

оказаться на 0,5 м глубже, чем глубина промерзания грунта, а верх – на уровне земли. Размер знака наверху 20–25 см, внизу – 35–40 см. Центр отмечают вцементированным в тело знака и выступающим из него рельсом или штырем с крестообразной насечкой либо высверленным отверстием. Вместо бетонного монолита знак может иметь вид металлической трубы диаметром не менее 6 см. Нижний конец ее вцементирован в бетонный якорь, который закапывают на глубину 0,5 м, превышающую наибольшую глубину промерзания грунта. Трубу заливают цементным раствором

Для разбивки опор моста прежде всего выносят в натуру положение их центров. Разбивку центров опор мостов ведут в условной системе координат, где в качестве оси абсцисс принимают ось моста, а в качестве оси ординат – нормаль к оси абсцисс в точке начала координат, принимаемой в пункте по оси с меньшим пикетажным значением. Проектные расстояния откладывают с помощью шкаловых лент или рулеток. Натяжение при этом задают динамометром и учитывают поправки за температуру и компарирование мерного прибора. При использовании светодальномера вначале разбивку выполняют приближенно.

В процессе строительства центры опор восстанавливают несколько раз: для возведения фундаментов, установки опалубки при бетонировании опор, перед установкой конструкций пролетных строений. Поэтому для опор, расположенных в воде, направление засечек с пунктов разбивочной сети закрепляют на противоположном берегу специальными визирными знаками.

Детальную разбивку мостовой опоры проводят от закрепленного в натуре центра. При этом из центра опоры теодолитом выносят ось мостового перехода и перпендикулярную ей ось опоры. От этих осей разбивают положение отдельных элементов опоры. Для обеспечения строительства опоры в высотном отношении на нее от ближайших рабочих реперов передают отметку, фиксируя ее в удобном для пользования месте. По окончании строительства опоры проводят исполнительную съемку.

В зависимости от типа разбивочной сети, наличия тех или иных приборов и т. д. различают следующие способы разбивки

центров опор мостов и путепроводов: способ прямой угловой засечки; способ полярных координат; способ прямого промера по оси; способ прямоугольных координат.

Для простоты рассмотрим случай, когда разбивочные базы (дублирные оси) строго параллельны оси моста. Очевидно, что координаты пунктов разбивочной сети нам известны. Координаты центров опор берут из проекта. Для обеспечения выноса центров опор мостов и путепроводов нужно провести некоторые расчеты.

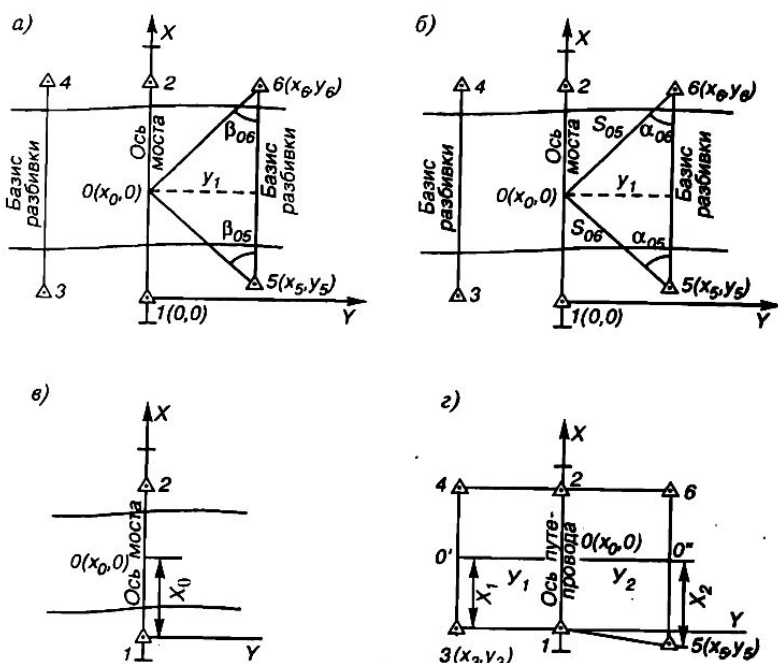


Рис . 89. Способы разбивки центров опор:

а – прямой угловой засечки; б – полярных координат;
в – прямого промера по оси; г – прямоугольных координат

Способ прямой угловой засечки. Выполним расчеты для разбивочного базиса 5–6 (рис. 89, а). При условии параллельно-

сти осей $Y_1 = Y_5 = Y_6$, тогда

$$\begin{aligned}\beta_{05} &= \arctg \frac{Y_1}{X_0 - X_5}; \\ \beta_{06} &= \arctg \frac{Y_1}{X_6 - X_0}.\end{aligned}\tag{107}$$

Аналогичные расчеты выполняют и для расчетного базиса 3–4, осуществляя таким образом контроль правильности разбивки центров опор. Разбивку центров опор ведут высокоточными и точными теодолитами.

Способ полярных координат. При условии параллельности разбивочных базисов оси моста выполняют следующие расчеты (рис. 89, б):

$$\begin{aligned}\alpha_{05} &= \arctg \frac{Y_1}{X_0 - X_5}; & \alpha_{06} &= \arctg \frac{Y_1}{X_6 - X_0}; \\ S_{05} &= \sqrt{(X_0 - X_5)^2 - Y_1^2} \quad . \quad S_{06} = \sqrt{(X_6 - X_0)^2 - Y_1^2} \quad .\end{aligned}\tag{108}$$

Разбивку способом полярных координат ведут с использованием высокоточного или точного оптического теодолита и светодальномера или электронного тахеометра.

Способ прямого промера по оси. Вычисляют расстояния от пункта 1 до центра опоры (рис. 89, в). Измерения ведут светодальномером или электронным тахеометром при обеспеченной видимости по оси моста.

$$X = X_0.\tag{109}$$

Способ прямоугольных координат. Вычисляют расстояния X_1 и X_2 (рис. 89, г). Промеры ведут компарированной рулеткой с натяжением динамометром, светодальномером или электронным тахеометром при необеспеченной видимости по оси моста.

$$\begin{aligned} X_1 &= (X_0 - X_3); Y_1 \\ X_2 &= (X_0 - X_5); Y_2. \end{aligned} \quad (110)$$

На мостовых переходах через большие судоходные реки разбивку центров мостовых опор, как правило, проводят способом прямой или обратной угловых засечек с пунктов разбивочной сети.

Например, для прямой угловой засечки центр опоры определяют не менее чем с трех пунктов, причем одно из направлений должно совпадать с осью моста. Перед разбивкой опор составляют разбивочный чертеж (рис. 90). На этом чертеже показана схема разбивки положения центра М02 мостовой опоры прямой угловой засечкой с пунктов С и D. Разбивочные углы β_1 и β_2 вычислены как разности дирекционных углов соответствующих направлений. Дирекционные углы, в свою очередь, определены по фактическим координатам пунктов сети и проектным координатам центра опоры путем решения обратных геодезических задач.

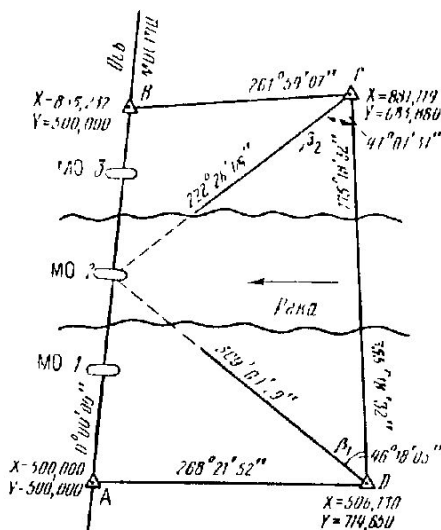


Рис. 90. Схема разбивки центров мостовых опор прямой угловой засечкой

Для разбивки на пунктах С и D устанавливают точные оптические теодолиты. На определяемой точке закрепляют визирную марку с оптическим центриром. По указанию наблюдателей ее перемещают, добиваясь совмещения оси марки с коллимационной плоскостью теодолита, задающего разбивочный угол. Положение мишени визирной марки, находящейся на пересечении визирных лучей двух теодолитов, проектируют с помощью оптического отвеса на землю и закрепляют. Аналогично определяют точку при втором положении круга теодолита. Из двух точек находят среднюю.

Для контроля и повышения точности по теодолиту, установленному на пункте А и ориентированному по створу АВ, проверяют положение найденного центра опоры относительно продольной оси моста. Если центр опоры смещен от оси не более чем на 20 мм, то его смешают по перпендикуляру на ось перехода.

При применении обратной угловой засечки теодолит устанавливают над приближенно найденным центром опоры и измеряют углы не менее чем на три пункта разбивочной сети. По измеренным углам и координатам пунктов сети вычисляют фактические координаты точки стояния теодолита и сравнивают их с проектными координатами центра мостовой опоры. При несовпадении координат находят элементы редукции и редуцируют центр опоры в проектное положение.

При монтаже пролетного строения в зависимости от его конструкции и схемы монтажа (непосредственно в пролете, сборка на берегу и т. п.) геодезические работы обеспечивают детальную разбивку мест установки пролета, периодическую выверку сборки пролета, его плановую и высотную установку, нивелирование профиля пролета (определение строительного подъема). По окончании монтажа проводят исполнительную съемку, в результате которой составляют план и профиль пролетного строения, продольный профиль пути.

Контроль за монтажом пролетного строения в плане заключается в проверке прямолинейности главных балок или коробчатых элементов пролета. Прямолинейность элементов про-

лета контролируют методом бокового нивелирования. Теодолит T_1 (рис. 91) ориентируют параллельно оси пролета.

К контролируемым узлам последовательно прикладывают пятку горизонтальной рейки P (или линейки) и берут отсчеты $a_1, a_2, \dots, a_4$; $b_1, b_2, \dots, b_4$. Результаты измерений сравнивают с проектными величинами и определяют отклонения от допусков.

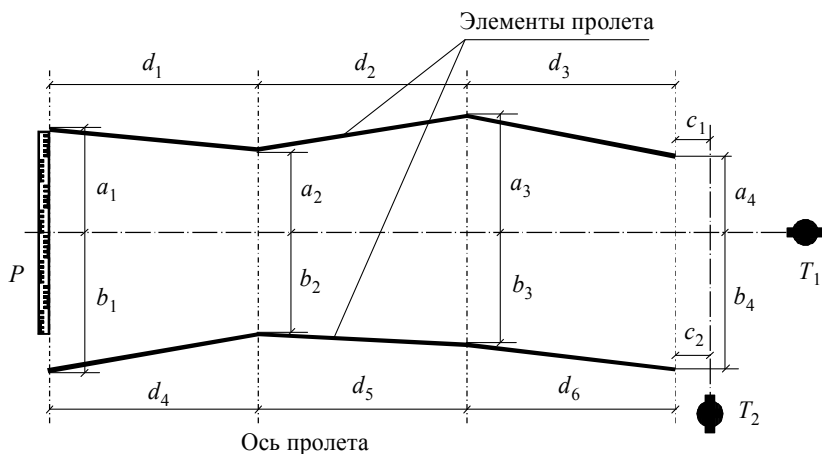


Рис. 91. Контроль сборки пролета методом бокового нивелирования

Помимо прямолинейности элементов пролета, контролируют длину элементов $d_1, d_2, \dots, d_6$ и с помощью теодолита T_2 – отклонения c_1, c_2 торцов пролета от перпендикуляра к его оси.

Высотный контроль сборки пролетного строения выполняют, определяя путем нивелирования значения ординат – высот $h_1, h_2, \dots, h_9$ (рис. 92) элементов собранного пролета, характеризующих строительный подъем. Значения ординат сравнивают с проектными данными. Отклонения должны отвечать допускам, указанным в нормативных документах.

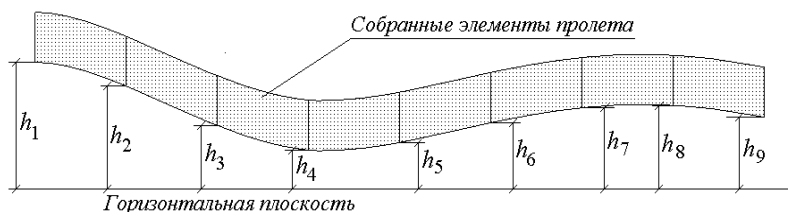


Рис. 92. Ординаты строительного подъема

Точность геодезических работ. На строительстве мостов длиной до 100 м при определении расстояний между исходными пунктами, закрепляющими ось сооружения, и расстояний между осями опор допускается относительная ошибка не более 1:5 000. На мостах длиной более 100 м точность измерения расстояний между исходными пунктами, закрепляющими ось моста, и положения осей надфундаментной части опоры зависит от возможного смещения на опорах пролетных строений и выражается формулой

$$m \leq \pm \sqrt{\Sigma \left(\frac{l_{\text{пр}}}{k} \right)^2 + 0,5n}, \quad (111)$$

где m – допустимая ошибка измерения, см; $l_{\text{пр}}$ – длина каждого пролета, см; n – число пролетов на измеряемом участке моста; k – коэффициент, зависящий от типа пролетных строений; для балочных пролетных строений, когда может быть допущено смещение подферменных площадок на величину до ± 5 см, а также для монолитных арочных и рамных железобетонных мостов коэффициент $k=6\,000$. Во всех других случаях, требующих более точного размещения, его принимают равным 10 000.

Создавая мостовую триангуляционную сеть для мостов длиной до 200 м, можно ограничиваться измерением одного базиса, а при большей длине моста должен быть второй

(контрольный) базис. Длина базисов измеряется в 2 раза точнее, чем при непосредственном измерении мерным инструментом расстояний между исходными пунктами, закрепляющими ось. Допускаемая ошибка в разбивке осей фундаментов опор может быть увеличена вдвое.

Геодезические работы обеспечивают детальную разбивку мест установки пролета, периодическую выверку сборки пролета, его плановую и высотную установку, нивелирование профиля пролета (определение строительного подъема). По окончании монтажа проводят исполнительную съемку, в результате которой составляют план и профиль пролетного строения, продольный профиль пути.

По мере завершения постройки отдельных частей моста (опор, пролетных строений и т. д.) проводят геодезические работы по определению геометрических размеров возведенных сооружений и объемов выполненных работ (исполнительные съемки и обмеры). В отдельных случаях на мостах, строящихся в сложных геологических условиях, проводят по специальным программам геодезические наблюдения за деформацией построенных сооружений.

5.5. Геодезические измерения деформаций сооружений.

Измерения крена зданий

Наблюдение за деформациями сооружений занимает значительное место в современной практике инженерно-геодезических работ. Достаточно сказать, что ни одно строительство крупных сооружений не обходится без деформационных измерений, а для сооружений, где от величины происходящих деформаций зависит их устойчивость и особенно нормальный режим технологического процесса, наблюдения, начатые в период строительства, могут продолжаться и весь период эксплуатации. При этом объем и сложность наблюдений, а также требования к точности их производства из года в год возрастают.

Деформации оснований сооружений происходят за счет взаимного перемещения частиц грунта и их сжимаемости. Ос-

новными факторами, влияющими на сжимаемость грунта, являются: *пористость и величина сжимаемой толщи; вес, размеры, форма и конструктивная жесткость фундамента; конструктивная жесткость, распределение давления по подошве фундаментов; тип и материалы несущих надфундаментных конструкций; природные факторы (способность горных пород к просадкам, пучение при замерзании и оттаивании водонасыщенных пород, изменение влажности пород и уровня грунтовых вод и т. д.) и др.*

Различают следующие виды деформаций:

- перемещение фундаментов и всего сооружения вниз называют осадкой;
- набухания и усадки – деформации, связанные с изменением объема некоторых глинистых грунтов с изменением влажности и температуры;
- оседания – деформации земной поверхности, вызванные разработкой полезных ископаемых или изменением гидрогеологических условий;
- перемещение фундаментов и всего сооружения вверх называют подъемом или выпучиванием;
- перемещение в сторону – горизонтальным смещением или сдвигом сооружения.

Основные причины осадок и деформаций можно разделить на две группы:

1. *Общие причины*, связанные с особенностями инженерно-геологических и гидрогеологических условий и физико-механических свойств грунтов. К ним относятся:

а) способность грунтов к упругим и пластическим деформациям (просадкам, оползням, карстовым явлениям и т. п.) под влиянием нагрузки;

б) неоднородное геологическое строение основания, приводящее к неравномерному сжатию и перемещением грунтов под воздействием веса сооружения;

в) пучение при замерзании водонасыщенных и оттаивание мерзлых льдонасыщенных грунтов;

г) изменение гидротермических условий, связанных с сезонными и многолетними колебаниями температуры и уровня грунтовых вод.

2. *Частные причины*, связанные с погрешностями, возникающими при изысканиях и проектировании, с особенностями производства строительных работ, эксплуатацией сооружений и т. п. К ним относятся:

а) недостаточно правильная планировка участка, плохой дренаж атмосферных и паводковых вод;

б) неточности, допущенные при проведении инженерно-геологических и гидрогеологических изысканий;

в) искусственное понижение или повышение уровня грунтовых вод при проведении строительных работ;

г) увлажнение лессовидных и оттаивание мерзлых грунтов;

д) ослабление основания подземными разработками, приводящее к смещению всей толщи напластований над выработками или к выносу частиц грунта в выработанное пространство;

е) возведение (в непосредственной близости) новых крупных сооружений;

ж) изменение давления, вызванное надстройкой, переменной загрузкой и т. п.;

з) неравномерное распределение давления сооружения по подошве фундамента (ступенчатые надфундаментные конструкции);

и) форма, размеры и конструктивная жесткость фундамента;

к) вибрация фундаментов, вызываемая работой всевозможных машин или интенсивным движением транспорта.

Для измерения деформаций оснований и сооружений при проведении строительных работ и научных исследований, в зависимости от целей наблюдений, а также геологических и гидрогеологических условий, используются следующие геодезические знаки:

– *реперы* – исходные знаки высотной основы. Глубинные (незаиляемые трубчатые, свайные и др.), фундаментальные (железобетонные, трубчатые, скальные и др.), грунтовые или рабочие (бетонные, трубчатые и др.) и стенные (из литья, изготовленные в мастерских и др.);

– *осадочные марки* – для наблюдений за осадками фундаментов зданий, промышленных и гидротехнических сооружений. Стенные закрытые, шкаловые, магнитные, плитные, цокольные, боковые, кордонные, трубомарки, поверхностные, временные, стенные открытые и др.;

– *глубинные марки* – для измерения деформаций в основаниях земляных и бетонных сооружений. Трубчатые, железобетонные плиты-марки, металлические плиты-марки, камерные, закладные (укороченные) и др.;

– *поверхностные марки* – для измерения осадок и просадок дневной поверхности. Грунтовые, поверхностные временные и др.

Одним из распространенных методов для массовых измерений вертикальных перемещений фундаментов на сильно сжимаемых, оттаивающих и просадочных грунтах является нивелирование III класса.

Этот метод может с успехом применяться во всех случаях и для любого сооружения, если средняя скорость осадки его превышает 5 мм в месяц. При меньшей скорости осадок, которая обычно бывает в эксплуатационный период, этот метод по точности себя не оправдывает.

Измерение осадок фундаментов состоит в периодическом повторном нивелировании марок, установленных на сооружении, от исходных (практически неподвижных) реперов.

Процесс организации и измерения осадок фундаментов нивелированием III класса складывается из следующих этапов:

1. Размещение и установка знаков высотной основы

Для измерения осадок зданий или сооружений на их частях устанавливают осадочные марки.

В качестве марок применяют штыри или болты с полусферической головкой, отрезки из стали углового профиля или закрытые марки.

Марки закладывают в уступах фундамента или в несущих стенах, цоколях и колоннах каркаса зданий и сооружений.

В качестве исходных высотных знаков для нивелирования могут служить две группы грунтовых реперов, закладываемых в 50–70 м по разные стороны от воздвигаемого сооружения.

В случае невозможности установить грунтовые реперы можно обойтись двумя группами ственных реперов, закладываемых на старых зданиях (со стабилизовавшейся осадкой).

2. Выбор геодезических инструментов

Для измерения осадок фундаментов можно применять все типы нивелиров, обеспечивающих точность нивелирования III класса, т. е. нивелиры со зрительными трубами, имеющими 30–35-кратное увеличение, и с уровнями (при трубе), имеющими цену деления 12–15" на 2 мм дуги. Для контактных уровней цена деления может быть понижена до 30" на 2 мм дуги.

Рейки 1-, 2- и 3-метровой длины должны быть двухсторонними, шашечными (желательно с полусантиметровыми делениями) и с уровнями. Могут также применяться штриховые рейки с двумя шкалами.

Погрешности в нанесении дециметровых штрихов и в положении пятки рейки не должны превышать $\pm 0,5$ мм.

Перед началом работ нивелир должен быть проверен, а рейки исследованы при помощи контрольного метра.

Величину угла i у нивелира определяют двойным нивелированием в первые дни работы ежедневно, при ее постоянстве это определение выполняют через 3–5 дней. Круглые уровни при рейках проверяют по отвесу ежедневно.

3. Производство нивелирования III класса

Как правило, нивелирование III класса выполняют по инструкции. Специфические особенности, отличающие нивелирование для измерения осадок фундаментов от общегосударственного нивелирования:

1. Нивелирование для измерения осадок выполняется короткими лучами при расстояниях от нивелира до рейки от 4 до 30 м; при этом инструмент устанавливают в середине так, чтобы высота визирного луча над почвой или над препятствиями была не менее 0,3 м.

2. Нивелирование можно выполнять в любое время дня и ночи. Работы следует прекращать только при сильном ветре и дожде, в жаркую погоду, порождающую конвекционные токи воздуха, и в сильный мороз (-20° и ниже).

3. В первом цикле нивелирование выполняют дважды, при этом второй (дублирующий) цикл проводят немедленно вслед за первым.

Расхождения в отметках, полученных из двух таких нивелировок одноименных марок, не должны превышать 3 мм.

Как правило, нивелирование ведут замкнутыми ходами или в прямом и обратном направлениях при двух горизонтах инструмента по маркам и переходным башмакам. В качестве последних лучше применять специальные штыри или гвозди с полусферической головкой (диаметром 15–20 мм), забиваемые в твердое покрытие тротуаров, проездов или в швы кладки. При нивелировании особое внимание должно быть обращено на устойчивость инструмента.

4. Нивелирование в каждом цикле наблюдений выполняют по одним и тем же направлениям, в связи с чем на строительной площадке фиксируются постоянные места установки инструмента.

5. Начало каждого цикла нивелирования желательно приурочивать к окончанию определенного этапа строительных работ (кладка цоколя, стен по этажам и т. п.).

6. Одновременно следят за возможными деформациями сооружений (трещины, перекосы, сдвиги и пр.), которые фотографируют или зарисовывают, и в журнале наблюдений отмечают даты их появления, величину и ход развития во времени. В нивелирных журналах отмечают давление на грунты основания, выраженное в кг/см² (или в процентах от общего веса сооружения), а также обстоятельства, которые могут дополнительно повлиять на величину осадки (колебание уровня грунтовых вод, возникновение рядом нового строительства, забивка свай и т. п.).

4. Упрощенные наблюдения за скоро протекающими просадками

В практике измерений может встретиться случай, когда скорость просадки фундаментов весьма велика (> 5 мм/сут), а времени на организацию наблюдений недостаточно. Тогда могут быть рекомендованы два следующих упрощенных и быст-

рых способа наблюдений:

А) *1-й способ.* Выбирают и отмечают мелом хорошо выраженные точки для установки реек на базах колонн внутри здания, по периметру цоколя, на строительных уступах, порогах, оконных или дверных проемах и т. п., и проводят их нивелирование по методике III класса.

Через 1–3 дня нивелирование повторяют и по разностям превышений первой и второй нивелировок определяют наиболее устойчивые точки фундамента, т. е. точки с минимальным значением относительной осадки. В последующих наблюдениях нивелирование проводят от этих точек фундамента, как от реперов. От них вычисляют условные отметки и относительные осадки остальных точек здания или сооружения.

Б) *2-й способ.* При отсутствии указанных хорошо выраженных точек на элементах несущих конструкций относительные осадки можно определять следующим образом. С одной (выбранной для всех нивелировок) станции последовательно наводят зрительную трубу нивелира на неустойчивые части сооружения, проектируют на их вертикальные плоскости горизонтальную нить, отмечают на этих плоскостях ее положение карандашом и рядом с отметкой горизонта записывают дату. При последующих наблюдениях нивелир устанавливают на том же месте и примерно на той же высоте, а на стенах или колоннах здании снова карандашом отмечают горизонт инструмента. После этого линейкой измеряют разности между двумя отмеченными горизонтами в двух циклах наблюдений.

Наименьшую из измеренных разностей условно принимают за исходную и последовательно вычитают ее из всех других разностей. В результате получают относительное приращение осадок каждой колонны или участка стены.

5. Камеральная обработка результатов нивелирования

После уравнивания высотной сети (например, по способу Попова В.В.) вычисляют отметки (высоты) осадочных марок и определяют следующие характеристики:

1) величину осадки между двумя последними циклами наблюдений:

$$S_{n-1,n} = H_n - H_{n-1}, \quad (112)$$

где n – очередной цикл наблюдений;

2) определяют суммарные осадки марки с начала наблюдений:

$$S_n = H_n - H_0; \quad (113)$$

3) определяют неравномерность осадок фундаментов в текущем цикле:

$$\Delta S_{1-2} = (S_2 - S_1)_n, \quad (114)$$

где 1, 2 – номера осадочных марок;

4) определяют наклон фундаментов:

$$K_{1-2} = \frac{\Delta S_{1-2}}{l_{1-2}}; \quad (115)$$

5) вычисляют величину относительного прогиба $2f$ вдоль оси фундамента:

$$f = \frac{2S_2 - (S_1 + S_3)}{2l}, \quad (116)$$

где S_1, S_3 – осадки точек 1 и 3, фиксированных на краях фундамента,

S_2 – осадка точки 2, расположенной между точками 1 и 3,

l – расстояние между точками 1 и 3;

6) определяют скорость деформации

$$V_n = \frac{S_n}{t}, \quad (117)$$

где t – период наблюдений, S_n – осадка некоторой марки n .

Для наглядности деформации составляют следующие графические материалы: *профили осадок; план кривых равномерных осадок; графические осадки оснований во времени; графики наклона фундаментов по линии марок.*

Точность геодезических наблюдений за осадками. При изучении деформаций инженерных сооружений геодезическими методами возникает необходимость определения (или назначения) точности измерений. Важность этого вопроса несомненна, т. к. от его решения зависит выбор метода и инструментов для измерений и, в конечном счете, затраты времени и денежных средств на их производство. Однако во многих случаях точность измерения задается или принимается без достаточного обоснования. Кроме того, для наблюдений, охватывающих различные по характеру периоды, или для различных по режиму объектов одного и того же сооружения принимается одинаковая точность и соответственно методика измерений.

Хотя для всех случаев практики на сегодняшний день строгого математического решения этого вопроса дать нельзя, однако, возможно установить принципы обоснования точности. Для этого необходимо исходить из целей наблюдений.

Надлежащая точность измерений определяется в первую очередь теми задачами, которые должны быть решены на основе анализа фактических величин осадок сооружений; при этом необходимо разграничивать требуемую точность наблюдений для практических и научно-исследовательских целей.

Применение современных отечественных приборов и целесообразной методики измерений могут обеспечить определение осадок сооружений с точностью до десятых и сотых долей миллиметра. Эта практически достижимая точность измерений в настоящее время может считаться достаточной для работ с научно-исследовательскими целями.

Точность измерения осадок сооружений для целей строительной практики в каждом отдельном случае устанавливается самостоятельно, в первую очередь, в зависимости от чувствительности конструкций к неравномерным осадкам, характера залегания грунтов в основании сооружения и от конкретных условий, в которых будут проводиться измерения. Другим фактором, влияющим на установление точности измерения осадок фундаментов, является скорость осадок, определяемая кратковременностью или значительной длительностью периода пред-

стоящих наблюдений. В первом случае вертикальные смещения определяются с более высокой степенью точности, т. к. только тогда можно будет относительно быстро и уверенно установить величину и закономерность хода осадок.

Во втором случае, при более длительных наблюдениях, требования к точности измерений могут быть несколько снижены, т. к. на относительно большом промежутке времени величина осадки будет более ощутимой.

Если речь идет об измерениях осадок уникальных и крупных сооружений, создающих в основаниях значительные давления, а также об измерениях для расчета скоростей осадок, тогда такие измерения выполняются с максимально возможной точностью.

5.6. Геодезические работы при монтаже прецизионных сооружений

Индустриализация строительного производства, увеличение габаритов сооружений и размеров строительных конструкций, введение в строй производственных автоматических линий и многие другие инженерные решения требуют резкого увеличения точности инженерно-геодезических работ. Кроме того, современное развитие ряда областей науки в народном хозяйстве вызывает необходимость создания различных уникальных объектов, нормальная работа которых возможна лишь при соблюдении высокой точности сопряжения отдельных строительных и технологических элементов при высокой стабильности их положения во времени.

К указанным сооружениям относятся: телевизионные и другие башни высотой в несколько сот метров; конвейеры шлифовки полировки листового стекла, размеры которых достигают 200 м и более, а разность отметок концевых блоков не должна выходить за пределы 0,25 мм; сопряжение смежных блоков в плане должно обеспечиваться с точностью, не выходящей за пределы 0,3 мм; радиоантенные комплексы и крупные радиотелескопы, предназначенные для слежения за космическими объектами; размеры современных антенных измерительных систем и радио-

телескопов достигают десятков и даже сотен метров, а монтаж их технологических элементов необходимо выполнять с точностью до десятых долей миллиметра; крупные реакторы, монтаж которых осуществляется с ошибкой порядка 0,3 мм.

В связи со строительством линейных и кольцевых ускорителей с жесткой фокусировкой пучка заряженных частиц требуется особо высокая точность строительно-монтажных работ и стабильность основных строительных и технологических элементов на период их эксплуатации. Так, например, для успешного монтажа и наладки таких уникальных сооружений, как Серпуховский синхрофазотрон и Ереванский синхротрон, потребовалось выполнить большинство измерений с относительной ошибкой $1 \cdot 10^{-5}$. Такая высокая точность измерений позволила установить многотонные, крупногабаритные магнитные блоки кольцевых электромагнитов этих ускорителей со средней квадратической ошибкой 0,1 мм. С такой же точностью было смонтировано физическое оборудование линейных ускорителей и прямолинейных трасс транспортировки пучков, входящих в комплекс этих сооружений.

Для того чтобы достигнуть такой высокой точности измерения, потребовались серьезные научно-исследовательские и опытно-конструкторские разработки. Созданы конструкции специальных геодезических знаков повышенной устойчивости, реперные устройства для изучения горизонтальных и вертикальных микросмещений отдельных слоев горных пород и фундаментов, стенные шкаловые марки для наблюдений осадок и деформаций строительных конструкций. Разработаны принципиальные положения о построении специальных опорных плановых и высотных сетей, методы их уравнивания и оценки точности. Введен метод испытания схем опорных сетей методом математического моделирования. Решены вопросы анализа точности определения положения пунктов сети в зависимости от ее геометрии. Разработана методика линейных измерений при помощи подвесных приборов, мерных жезлов и шаблонов, во многих случаях оказавшихся весьма удобными и целесообразными, способствовавшими увеличению точности измерений и повы-

шению производительности труда.

При измерении длин линий инварными проволоками разработаны бесштативные и стационарные блочные станки, стеклянные и инварные шкалы с ценой деления 0,2 мм и другие приспособления, способствующие повышению точности измерений и росту производительности работ. Проведены значительные работы по высокоточному измерению линий косвенными методами и оптико-электронными приборами.

В области угловых измерений проведена большая работа по уточнению методов определения углов; впервые рассмотрена возможность использования при этом муарового эффекта.

Проведены значительные работы по повышению точности геометрического и гидростатического нивелирования для инженерных целей. Созданы гидростатические приборы, обеспечивающие дистанционный съем информации о высотном положении точек, значительно удаленных одна от другой. Детально исследованы источники ошибок при гидростатическом нивелировании. Созданы различные конструкции микроnivelиров.

Для установки оборудования по прямой линии разработаны новые и значительно усовершенствованы известные способы створных работ, что способствовало применению в практике высокоточных измерений струнных, струнно-оптических и оптических методов и приборов. Нашли применение методы и приборы дифракционного способа створных измерений и способы с использованием оптических квантовых генераторов (ОКГ). Как показала практика, лазерные способы створения весьма перспективны, т. к. обеспечивают высокую точность измерений и производительность работ. Кроме того, они позволяют автоматизировать отдельные измерительные операции.

В настоящее время большое внимание уделяется созданию центрировочных приборов для перенесения координат на различные горизонты. Созданы методы и приборы высокоточного механического, оптико-механического и оптического проектирования.

Кроме того, систематизированы и обобщены методы и приборы, используемые как при непосредственной сборке от-

дельных технологических элементов, так и при монтаже и эксплуатационном контроле оборудования крупных технологических комплексов.

Специфика эксплуатации объектов атомной техники, как ускорители заряженных частиц, требует высокой организации и проведения контрольных и котиловочных геодезических измерений. Эти требования вызваны тем, что при работе ускорителя возникает радиация, опасная для здоровья человека. Даже при контрольных измерениях (исполнительных съемках) на отдельном участке сооружения появляется необходимость выключения всей установки, что, несомненно, не только резко удорожает стоимость исполнительных съемок, но и снижает эффективность использования ускорителя. Поэтому основная задача геодезических работ при эксплуатации ускорителей – создание оперативных методов измерений при кратковременных остановках ускорителя, а также приборов, предназначенных для измерения с дистанционной передачей информации на стрелочные или цифropечатающие приборы, а в отдельных случаях – непосредственно на ЭВМ для определения необходимых параметров фактического положения оборудования.

В связи со строительством грандиозных сооружений геодезисты должны не только обеспечивать высокую точность монтажа, но и максимально увеличивать оперативность геодезических измерений с тем, чтобы не задерживать строительные и монтажно-наладочные работы. Это необходимо и в процессе эксплуатации объекта.

Физическое оборудование как протонных, так и электронных ускорителей необходимо устанавливать либо по прямой, либо по окружности, но и в том и в другом случаях оборудование должно находиться в одной плоскости.

Рассмотрим требования к точности сборки оборудования линейных ускорителей. В протонных линейных ускорителях заряженные частицы ускоряются и фокусируются в специальных устройствах, называемых трубками дрейфа; размещаются они в вакуумных резонаторах. Трубки и резонаторы герметично закрыты форвакуумным кожухом. Трубки дрейфа опорными

штангами закрепляются на металлических балках, устанавливаемых на железобетонных фундаментах. Кожух и резонаторы опираются на эти же фундаменты. Все три элемента имеют котировочные приспособления для установки оборудования в проектное положение.

Наиболее значительный из действующих протонных линейных ускорителей – инжектор И-100 на энергию 100 МэВ Серпуховского ускорителя.

Длина линейного ускорителя – 85 м. В резонаторах его размещаются 160 полных трубок дрейфа и 6 полутрубок. Длина трубок дрейфа колеблется от 60 до 620 мм. Диаметр ускоряющего канала также изменяется от 260 до 100 мм.

Таблица 5

Требования к точности сборки перечисленного оборудования инжектора И-100 характеризуются величинами

Оборудование	Допуски на положение, мм	
	в плане	по высоте
Вакуумный кожух	2	2
Резонатор	1,5	1,5
Опорная балка	1,5	1,5
Трубка дрейфа: поперек створа	0,05	0,05
вдоль створа	0,05 – 0,300	–

В электронных линейных ускорителях заряжённые частицы ускоряются в специальных ускорительных секциях.

Например, длина линейного ускорителя Физико-технического института г. Харькове без трассы вывода пучка на мишени составляет 250 м. По всей длине установлено 50 ускорительных секций. Длина каждой секции – 4,7 м. Наружный диаметр с учетом кожуха – 40 см. Поток ускоряемых частиц движется по каналу диаметром 20–40 мм. Для транспортировки пучка по трассе канала устанавливают различные поворотные магниты и линзы.

Таблица 6

Требования к точности сборки и контролю положения
указанных элементов ускорителя

Оборудование	Допуски на положение, мм		
	вдоль створа	поперек створа	по высоте
Ускорительные секции			
– взаимное положение	10	0,2	0,4
– отклонение от прямолинейности	–	0,4	–
Крайние секции бункера	–	–	0,3
Линзы и магниты	10	0,2	0,2

Как пример кольцевых ускорителей с жесткой фокусировкой рассмотрим структуру кольцевого электромагнита Серпуховского ускорителя. Этот электромагнит состоит из 120 фокусирующих и дефокусирующих блоков, разделенных промежутками, в которых расположены ускоряющие секции, элементы системы ввода и вывода частиц, аппаратура системы наблюдения за пучком и другие устройства.

Электромагнит имеет периодическую структуру, разбитую на 12 суперпериодов, по 10 блоков в каждом (6 нормальных и 4 укороченных). В каждом блоке 5 пакетов массой по 40 т, набранных из листов кремнистой стали толщиной 2 мм. Пакеты каждого блока охвачены общей обмоткой. Между полюсами электромагнита смонтирована вакуумная камера овального сечения со стенками толщиной 0,4 мм, изготовленная из нержавеющей стали. Камера состоит из секций, длина которых равна длине соответствующего магнитного блока. Для увеличения жесткости камера гофрируется по всей длине.

Сопряжённая работа всех магнитных блоков может быть обеспечена лишь при определенных условиях, когда отклонение фактической равновесной орбиты от идеальной не превосходит поперечных размеров рабочей области магнитного поля. Отклонения основного технологического оборудования от расчетного положения – это причины возмущений, искажающих

траекторию движения частиц или приводящих к резонансной раскачке амплитуд бетатронных колебаний. В отдельных случаях даже малые возмущения при условии появления резонанса могут нарушить устойчивое движение частиц. Для нормальной работы ускорителя нужно ограничить отклонения заданных параметров до таких значений, при которых движение заряженных частиц происходит внутри допускаемой области пространства в течение всего цикла ускорения. В этом случае обеспечивается минимальная потеря частиц пучка на стенках вакуумной камеры.

Таблица 7

Точности установки магнитных блоков в проектное положение для наиболее крупных кольцевых ускорителей мира

Ускоритель	Требование к взаимному положению, мм			Радиус ускорителя, м
	по радиусу	по высоте	по азимуту	
Серпуховский	0,2	0,2	3,0	236
Брунхейнвенской национальной лаборатории (США)	0,1	0,1	–	128
CERN (швейцария)	0,25	0,25	–	100
Гамбургский	0,1	0,1	–	50
Ереванский	0,2	0,2	0,5	34
Кембриджский (США)	0,5	0,15	1,5	36

Из табл. 6–7 следует, что для современных ускорителей требуется высокая точность геодезических работ как при монтаже, так и при наблюдении за стабильностью основных технологических и строительных элементов.

Для строительства гигантских кольцевых ускорителей дополнительно развивается высокоточная сеть, связывающая несколько точек, расположенных равномерно вблизи орбиты. Исходя из рельефа и ситуации в районе строительства, ее разбивают методами полигонометрии, триангуляции, трилатера-

ции и их комбинациями. В зависимости от выбранного метода длины сторон колеблются от 1 до 10 км. Точность измерения элементов сети должна обеспечить погрешность положения диаметрально противоположных пунктов не более 25–50 мм

Разбивочная сеть опирается на пункты высокоточной сети. Если ускоритель размещается в подземном тоннеле, то высокоточную сеть развивают на земной поверхности, а разбивочную под землей.

Нестворности измеряют с помощью струнной системы и жезлов со шкалами, отсчитывая по ним с помощью микроскопов или приборов вертикального проецирования. Для измерения расстояний используют точные светодальномеры. Высокоточную высотную сеть развивают прокладкой нивелирного хода по нижним или верхним базовым поверхностям линз.

Дальнейшее развитие техники, ведущее к созданию гигантских ускорителей на сверхвысокие энергии в 1000 ГэВ и более, повысит требования к точности геодезических работ при монтаже и эксплуатации ускорителей.

В настоящее время строятся радиотелескопы с большой площадью антенны. Это позволяет обеспечить высокую чувствительность, необходимую для приема радиоизлучения слабых источников. Высокая разрешающая способность позволяет точно определить координаты источника, его размер и распределение яркости. Слежение антенны за источником дает возможность увеличить чувствительность приемника за счет увеличения времени накопления сигнала, а при радиолокационных наблюдениях позволяет получать информацию непрерывно. Чем шире диапазон волн радиотелескопа, тем больше задач может быть решено.

Наиболее благоприятен для радиоастрономических и радиолокационных наблюдений диапазон дециметровых и сантиметровых волн. Наличие высокочувствительных приемников, низкий уровень фона радиоизлучения Галактики и малое поглощение в тропосфере создают благоприятные условия для наблюдения слабых источников. Антенны большой площади позволяют ставить задачи радиолокации Луны и других планет. Указанным требованиям удовлетворяют радиотелескопы типа рефлектора, как, на-

пример, известные рефлекторные радиотелескопы австралийский и американский, имеющие соответственно диаметр 65 и 92 м с массой чаши 300 и 550 т. Увеличение площади рефлектора ограничивается точностью поверхности, которая может быть достигнута. Отклонение формы рефлектора от требуемой ведет к рассеянию волн, вследствие чего понижается коэффициент использования площади рефлектора и расширяется его диаграмма направленности. Потери в эффективной площади рефлектора быстро растут в зависимости от отношения величины случайной ошибки поверхности к длине волны.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Большаков В.Д.* Справочное пособие по прикладной геодезии. – М.: Недра, 1987. – 543 с.
2. *Даниленко Т.С.* Геодезические работы при возведении комплексов инженерных объектов. – М.: Недра, 1974. – 256 с.
3. *Нурпеисова М.Б.* Электронное учебное пособие «Комплекс лабораторных работ по геодезии». – Алматы: КазНТУ, 2003. – Объем ЭУ – 42 МБ.
4. *Турсбеков С.В.* Маркшейдерско-геодезические приборы: Учеб. пособие. – Алматы: КазНТУ, 2009. – 80 с.
5. *Левчук Г.П., Михеев Ш., Ключин М.И., Киселев М.И., Фельдман В.Д.* Инженерная геодезия. – М.: Высшая школа, 2000. – 464 с.
6. *Новак В.Е.* Курс инженерной геодезии. – М.: недра, 1989. – 430 с.
7. *Глотов Г.Ф.* Геодезические работы при проектировании и строительстве гидротехнических сооружений. – М.: Недра, 1972. – 168 с.
8. *Левчук Г.П., Новак В.Е., Конусов В.Г.* Прикладная геодезия. Основные методы и принципы инженерно – геодезических работ. – М.: Недра, 1981.
9. *Андреева В.Ф. и др.* Геодезическое обеспечение жилищно-гражданского и промышленного строительства. – М.: Недра, 1988.
10. *Неумывакин Ю.К. Сухов А.Н. Шмелин Н.А.* Геодезический контроль качества строительно-монтажных работ. – М.: Стройиздат, 1988.
11. *Ямбаев Х.К.* Геодезический контроль прямолинейности и соосности в строительстве. – М.: Недра, 1986.
12. *Сироткин М. П., Сытник В.С.* Справочник по геодезии для строителей. – М: Недра, 1987.
13. *Болгов И.Ф.* Геодезические работы при строительстве и испытании крупных сооружений. – М.: Недра, 1984.
14. *Судаков Я.А.* Геодезические работы при возведении крупных промышленных сооружений. – М.: Недра, 1980.

15. Геодезические работы в строительстве. СНиП 3.01.03–84. – М.: ГК по делам строительства, 1985.
16. *Новак В.Е.* Практикум по инженерной геодезии. – М.: Недра, 1987.
17. *Новак В.Е., Лукьянов В.Ф.* Учебное пособие по геодезической практике. – М.: Недра, 1986.
18. *Новак В.Е., Лукьянов В.Ф.* Лабораторный практикум по инженерной геодезии. – М.: Недра, 1990.
19. *Левчук Г.П., Новак В.Е., Лебедев Н.Н.* Прикладная геодезия. Геодезические работы при изысканиях и строительстве инженерных сооружений. – М.: Недра, 1983.
20. *Большаков В.Д. и др.* Методы и приборы высокоточных измерений в строительстве. – М.: Недра, 1976.
21. *Интулов И.П.* Инженерная геодезия в строительном производстве: Учеб. пособие. – Воронеж, 2005.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
ГЛАВА 1. ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ ПРИ МОНТАЖЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ И ТЕХНОЛОГИ- ЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ.....	4
1.1. Принципы геодезического обеспечения монтажа строительных конструкций и технологического оборудования.....	4
1.2. Методы монтажа зданий и сооружений. Точность гео- дезических работ. Допуски в строительстве.	7
1.3. Расчёты точности производства строительно- монтажных и геодезических работ. Контроль точности геометрических параметров.....	25
1.4. Порядок расчёта точности геометрических параметров	36
ГЛАВА 2. ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ ПРИ МОНТАЖЕ ФУНДАМЕНТОВ.....	44
2.1. Монтаж монолитных фундаментов.....	44
2.2. Монтаж сборных фундаментов.....	50
2.3. Монтаж свайных фундаментов.....	51
ГЛАВА 3. ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ И КОНТРОЛЬ ПРИ МОНТАЖЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ	54
3.1. Геодезическая подготовка к монтажным работам.....	54
3.2. Геодезические работы и контроль при монтаже круп- нопанельных бескаркасных и каркасно-панельных зданий...	64
ГЛАВА 4. ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ ПРИ МОНТАЖЕ КОЛОНН.....	90
4.1. Исполнительная съёмка колонн.....	98
4.2. Высотная установка и выверка конструкций и оборудо- вания. Средства геодезического инструментального кон- троля качества строительно-монтажных работ	101
4.3. Геодезический контроль прямолинейности и соосности в строительстве и способы плановой установки и выверки конструкций и оборудования.....	137

ГЛАВА 5. СТРОИТЕЛЬСТВО КРУПНЫХ СООРУЖЕНИЙ.....	153
5.1. Геодезические работы и контроль при монтаже подкрановых балок, путей и ферм.....	153
5.2. Разбивка подкрановых путей для башенных кранов.....	167
5.3. Особенности геодезических работ при монтаже технологических трубопроводов и их контроль. Организация геодезических работ при строительстве магистральных трубопроводов.....	170
5.4. Монтаж пролетного строения моста и его контроль.....	174
5.5. Геодезические измерения деформаций сооружений. Измерения крена зданий.....	188
5.6. Геодезические работы при монтаже прецизионных Сооружений. Измерения крена зданий	197
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	206

Учебное издание

Касымканова Хайни-Камаль Михайловна,
Мадимарова Гулмира Сурабалдиевна

ГЕОДЕЗИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ МОНТАЖНЫХ РАБОТ И
ГЕОДЕЗИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Учебное пособие

Нач. РО ИИЦ
Редактор
Компьютерная верстка

З. Губайдулина
З. Губайдулина
Л. Касжанова

Подписано в печать 08. 02. 2012 г.

Тираж 300 экз. Формат 60х84. 1/16. Бумага типогр. № 1.

Уч.-изд.л. 14,0. Усл. п.л. 13,0. Заказ № . Цена договорная.

Издание Казахского национального технического университета
им. К.И. Сатпаева

Информационно-издательский центр КазНТУ, г. Алматы, ул. Ладыгина, 32

ISBN 978-601-228-370-9



9 786012 283709