



СПРАВОЧНАЯ КНИЖКА  
РАБОЧЕГО-СТРОИТЕЛЯ

**Т.Т. ЧМЧЯН**

**ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ  
РАБОТЫ  
НА СТРОИТЕЛЬНОЙ  
ПЛОЩАДКЕ**

**«БУДІВЕЛЬНИК»**





СПРАВОЧНАЯ КНИЖКА  
РАБОЧЕГО-СТРОИТЕЛЯ

Т. Т. ЧМЧЯН

**ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ  
РАБОТЫ  
НА СТРОИТЕЛЬНОЙ  
ПЛОЩАДКЕ**

**( ЖИЛИЩНО-ГРАЖДАНСКИЕ  
ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ )**

КИЕВ „БУДІВЕЛЬНИК“ 1979

ББК 38.115

6С1

Ч-74

УДК 528.4

**Геодезические работы на строительной площадке (жилищно-гражданские здания и сооружения).** Чмчян Т. Т. К., «Будівельник», 1979, 152 с.

В справочном пособии приведены необходимые сведения по производству геодезических разбивочных работ при строительстве подземных и надземных частей жилищно-гражданских зданий и сооружений. Поданы рекомендации по установке и проверке геодезических приборов, инструментов и приспособлений, применяемых при строительстве полносборных зданий, а также по контролю за точностью измерений.

Справочное пособие рассчитано на рабочих и бригадиров строительных организаций.

Ил. 66. Библиогр. список: с. 148—149.

Рецензент канд. техн. наук *А. С. Мазницкий*

Редакция литературы по строительным конструкциям, деталям и изделиям

Заведующий редакцией *Б. В. Власков*

Ч  $\frac{30206-088}{M203(04)-79}$  61—79 320200000

© Издательство «Будівельник», 1979

## ПРЕДИСЛОВИЕ\*

Инженерно-геодезические работы при строительстве жилищно-гражданских зданий и сооружений неразрывно связаны со всеми монтажными процессами их возведения. Они являются неотъемлемой частью общего комплекса строительно-монтажных работ, выполняемых при возведении подземной и надземной частей зданий. В связи с этим в проектах организации работ должны быть отражены вопросы расчета допусков, методика производства основных и детальных разбивочных работ, достаточное внимание должно быть уделено выбору приборов, инструментов и приспособлений как для точных основных и детальных разбивок, так и для установки конструкций и контрольно-монтажных измерений.

В предлагаемой читателю книге автор стремился изложить основные способы инженерно-геодезических расчетов, предшествующих основным и детальным разбивочным работам, а также методы производства указанных работ.

В книге нашли отражение основные методы и приемы производства геодезических разбивочных работ, нашедшие широкое применение при строительстве жилищно-гражданских зданий и сооружений на Украине.

Глава I написана совместно с инженером Г. З. Злотниковым, параграф 5.2 «Уравнивание базисных фигур пространственной разбивочной основы» — совместно с доцентом В. С. Королевичем.

По просьбе автора параграф «Фотограмметрические методы» написан проф., докт. техн. наук В. М. Сердюковым.

Автор выражает глубокую благодарность рецензенту канд. техн. наук А. С. Мазниக்கு. Его замечания способствовали улучшению содержания рукописи.

## **ГЛАВА 1. СБОРНЫЕ ЖИЛИЩНО-ГРАЖДАНСКИЕ СООРУЖЕНИЯ И МЕТОДЫ ИХ МОНТАЖА**

Основным недостатком качества сборки элементов конструкций в современном крупнопанельном домостроении, которая ведется, как правило, методом свободного монтажа, является нарушение геометрической точности, что неизбежно приводит к дополнительным, не предусмотренным проектом, эксцентриситетам приложения расчетных усилий, отрицательно влияющим на прочность и устойчивость элементов конструкций.

Нельзя ограничиваться повышением требовательности к исполнителям. Должны быть созданы производственные условия, обеспечивающие возведение крупнопанельных зданий гарантированного качества при значительном повышении производительности труда, сокращении и снижении стоимости строительства.

Возведение крупнопанельных зданий повышенной этажности выдвигает ряд требований, вытекающих из специфики этого вида строительства. Основное место среди них занимают вопросы повышения точности монтажа сборных конструкций домов, создания эффективных монтажных средств, совершенствования производства геодезических работ и разработки рациональной технологии монтажа.

### **1.1. Состав процессов монтажа сборных элементов**

Процесс монтажа сборных элементов крупнопанельных домов является комплексным и состоит из следующих производственных операций:

строповка сборных элементов при помощи грузозахватных приспособлений;

подъем, перемещение и подача в рабочую зону сборных элементов при помощи монтажных кранов;

наводка, опускание и установка конструкций в проектное положение;

временное закрепление смонтированных элементов здания; выверка установленных элементов и доводка их до проектного положения при помощи инструментов и приспособлений; расстроповка монтируемых элементов;

окончательное закрепление смонтированных элементов.

Строповка сборных элементов осуществляется при помощи грузозахватных приспособлений, которые обеспечивают простоту и надежность зацепления и отцепления, сохранность монтируемых элементов от самопроизвольного срыва с крюка монтажного крана. При строповке монтируемых элементов крюк крана должен располагаться по центру элемента. В процессе строповки необходимо следить за тем, чтобы стропуемый элемент при его подъеме находился в положении, близком к проектному. При строповке элементов балансированные траверсы необходимо отрегулировать согласно центру тяжести элемента. Правильная строповка элементов позволит обеспечить точность его установки в проектное положение.

Подъем сборных элементов должен производиться плавно, без рывков, раскачивания и вращения. При подъеме объемов элементов необходимо пользоваться оттяжками, которые закрепляются перед подъемом элемента.

Устанавливают монтируемые элементы в проектное положение по разбивочным осям и выверяют по установочным (монтажным) рискам.

Каждый элемент надо устанавливать без толчков и ударов. Временное закрепление элементов должно осуществляться при помощи специальных инвентарных и универсальных приспособлений. Они рассчитываются на ветровые и другие нагрузки, которые могут возникнуть до окончательного закрепления монтируемого сборного элемента.

Полную и тщательную выверку монтируемых элементов необходимо осуществлять при закрепленных за монтажные петли грузозахватных приспособлениях и натянутых стропах.

После проведенной тщательной выверки монтажный элемент временно закрепляется за ранее смонтированные и постоянно закрепленные элементы дома. Постоянное крепление устойчивых сборных элементов надо производить только после проверки правильности установки элемента в плане и по высоте.

Положение элементов в плане определяют согласно нанесенным ранее монтажным рискам, а по высоте — согласно установленным по нивелиру монтажным маякам (по два маяка на одну стеновую панель).

Основным требованием, предъявляемым к установке сборных элементов, является обеспечение соосности панелей. Соосность панелей осуществляют геодезическим путем, за счет выноски на монтажный горизонт монтажных осей. Однако гарантийную соосность панелей можно обеспечить при применении совершенных видов монтажной оснастки и современных методов монтажа с одновременным геодезическим контролем.

После того, как элемент установлен правильно в плане, необходимо провести выверку его в вертикальной плоскости. Выверяют элементы по вертикали с помощью отвесов.

Процесс выверки элементов по вертикали наиболее трудоемкий и ответственный, он требует от исполнителей особого внимания и умения. От точности установки вертикали сборного элемента зависит установка последующего элемента как в плане, так и по вертикали. В этом случае также необходимо применение специальной монтажной оснастки. Полную и тщательную выверку сборных элементов деталей и приведение их в проектное положение необходимо закончить до постоянного их закрепления.

Существующая практика и применяемые методы монтажа конструкций, как правило, не могут стабильно обеспечивать заданную точность, ибо она зависит от случайных факторов и индивидуальных качеств рабочих и ИТР, участвующих в монтажном процессе.

## **1.2. Классификация методов монтажа и видов монтажного оснащения\***

Различают следующие методы: свободный, ограниченно-свободный, трафаретный и координатный.

**Свободный монтаж.** Все стадии монтажа выполняются только за счет совместных действий машинистов грузоподъемных средств и монтажников без применения каких-либо ориентирующих или ограничивающих устройств.

Этот вид монтажа является наиболее распространенным. В данном случае точность монтажа кривых элементов полносборных зданий во многом зависит не только от их конструктивных особенностей, но и в большой степени от подъемных механизмов. В настоящее время монтаж осуществляется при помощи башенных кранов с подвеской грузов на гибких тросах с захватом сборных элементов гибкими стропами. При

---

\* Классификация предложена ЦНИИОМТП Госстроя СССР.

этих условиях ориентирование и установка монтируемых деталей сопровождается неизбежным отклонением от проектного положения. Зависит это прежде всего от рабочих движений крана и действий монтажников, применяющих оттяжки и принимающих груз. Временное закрепление сборных элементов осуществляется с большой затратой труда. В данном случае большое значение имеет точность нанесения на монтажный горизонт установочных монтажных рисок, а также установка сборного элемента в проектное положение.

**Ограниченно-свободный монтаж.** Движение элементов в стадии установки ограничивается в одном или нескольких направлениях за счет применения ограничивающих и фиксирующих устройств. Этот вид монтажа сокращает продолжительность цикла ориентировки (наводки) монтируемого элемента. Во многих случаях на монтируемые панели наносятся установочные оси. Только одно это мероприятие может повысить точность установки элементов в два раза. Применяются накладные упоры-фиксаторы, которые не только ориентируют монтажников, но и позволяют резко сократить продолжительность цикла и повысить точность установки за счет фиксации положения детали в пределах допуска при доведении «в упор». При работе в упор вероятность точной установки по сравнению со свободным монтажом возрастает во много раз. Этот вид монтажа применяют при монтаже крупнопанельных элементов.

Тщательная выверка осуществляется только для базовых элементов, остальные элементы приводятся в проектное положение с помощью группового оснащения (тяги, фиксаторы и т. д.).

**Трафаретный монтаж.** Элемент приближенно ориентируется, вводится в расширенное поле допускаемых размеров и затем автоматически приводится в заданное положение. Этот вид монтажа находится на более высоком техническом уровне. В качестве монтажного оснащения применяются кондукторы и трафареты.

Трафарет представляет собой групповой кондуктор, имеющий автоматически действующую систему, приводящую монтируемые элементы в проектное положение. Конструкция трафарета позволяет принимать элементы зданий в расширенном поле допусков (до 20 см). Затем производим принудительную установку элементов в проектное положение с допускаемыми нормативными отклонениями.

Монтаж при трафаретном методе предусматривает соответствующую работу кранов, осуществляющих подъем, подачу и наведение монтируемого элемента и трафаретов. Последние

выполняют функцию точной установки и поддержания деталей в проектном положении до их закрепления. В данном случае резко сокращается время на ориентирование и установку сборных элементов, а временное закрепление их как операция исключается. По данным ЦНИИОМТП Госстроя СССР, применение трафаретов при обеспечении заданной точности по сравнению со свободным монтажом позволит сократить время цикла наведения и установки на 80%. К недостаткам трафаретного монтажа следует отнести громоздкость трафаретов и устройства специальных путей для их передвижения.

**Координатный монтаж.** Элемент во всех случаях монтажа монтажными средствами принудительно перемещается по заданной траектории, ориентируется и устанавливается в заданном положении. Начиная с операций захвата (строповки) панелей до установки их в проектное положение с соблюдением нормативных допусков (отклонений), монтаж производится при помощи средств монтажа с жесткими кинематическими связями и управляемыми грузозахватными устройствами.

Эти средства обеспечивают заданное положение монтируемых элементов в каждый момент, принудительное их ориентирование (наводку) по принудительно запрограммированным оптимальным траекториям. При таком монтаже полностью исключается ручной труд при строповке и расстроповке, ориентировании и установке, снижаются технологические простои, сокращается продолжительность монтажного цикла.

Важнейшей задачей принудительного монтажа является достижение точности положения сборных элементов в пространстве, их взаимное расположение в конструкции дома; надежность соединений и высокое качество сопряжений отдельных элементов здания.

Точность монтажа, обеспечение допусков определяются операциями ориентирования и установки сборных элементов.

После подъема и подачи монтируемых элементов осуществляется операция так называемой наводки элемента. Последняя выполняется монтажными кранами и рассматривается как приближенное ориентирование сборных элементов в пределах точности, допускаемой характеристикой машин, условиями монтажа и квалификацией машиниста. При этом положение монтируемого элемента относительно точки подвеса не меняется.

После наведения элементов приступают к установке сборных элементов, включая точное ориентирование относительно проектного положения, выверку и установку их с обеспечением примыканий, необходимых зазоров и допусков.

При такой схеме можно производить монтаж по заданным координатам. Для этого определяют систему отдельных точек и соответственно систему упоров или более современных датчиков координат.

Координатный монтаж предлагает автоматизацию с использованием систем с жесткими захватами монтируемых элементов, не допускающих их качений и колебаний, неизбежных при подвеске на гибких тросах. Элемент здания, захваченный приспособлением крана, должен перемещаться при координатном монтаже к месту установки по заранее определяемой заданной траектории, лежащей в вертикальной плоскости.

**Виды монтажного оснащения.** В последнее время целым рядом организаций разработаны различные виды монтажного оснащения для ограниченно-свободного монтажа крупнопанельных жилых зданий с поперечными несущими стенами.

При этом, как правило, речь идет о переходе к групповому оснащению, которое в отличие от индивидуального включает ряд приспособлений и устройств, обеспечивающих предусмотренное проектом положение группы конструктивных элементов.

Положение каждого элемента группы определяется отсчетом от одной принятой заранее базы единой размерной цепи. Группы могут включать все элементы, составляющие повторяющуюся часть здания.

Каждый вид монтажного оснащения связан с определенной модификацией технологии и методом монтажа.

Технологические возможности монтажного оснащения зависят от характера и конструкций входящих в его состав приспособлений и устройств, которые в совокупности обеспечивают приведение элементов в проектное положение и временное их закрепление.

**Групповое оснащение** — это приспособления и устройства, охватывающие при монтаже в единой размерной цепи с отсчетом от одной базы группу конструктивных элементов зданий. *Полное* оснащение охватывает все конструктивные элементы, составляющие повторяющуюся часть здания (этаж в пределах секции, этаж в целом, пролет, ячейка), а *неполное* — ряд однотипных элементов или элементы нескольких типов, но в пределах повторяющейся части зданий (все несущие поперечные стены либо несущие поперечные стены и плиты перекрытий, но без панелей наружных стен и т. д.).

**Индивидуальное оснащение** — отдельно монтажные приспособления и устройства, не связанные единой размерной цепью и с различной системой отсчета. Оно включает ориентирующие, ограничивающие и удерживающие устройства, удерживающие

ограничивающие системы, измерительные приспособления и устройства.

*Ориентирующие устройства* служат для визуального определения проектного положения элементов по положению их осей либо базовых поверхностей. Это геодезические ориентиры, наносимые на сопрягаемые элементы, и накладные (закладные) ориентиры, прикрепляемые к сопрягаемым элементам (закладываемые в сопрягаемые элементы).

*Ограничивающие устройства* по направлению ограничения могут быть линейными, плоскостными и пространственными, а по исполнению — съёмными и закладными. По возможности ограничения они подразделяются на фиксаторы вилочные, крестовые, штыревые и петлевые. Устройства ограничивают выход элемента за пределы поля допусков в одном или нескольких направлениях.

*Упоры* (линейные и угловые) ограничивают выход элементов при его установке только за один из пределов поля допусков в одном или нескольких направлениях.

*Удерживающие устройства* служат для временного закрепления элемента или группы в положении, достигнутом в стадии установки. Они разделяются на нерегулируемые (глухие подкосы, глухие связи-шаблоны, скобы-распорки), удерживающие элементы в достигнутом положении, и регулируемые (подкосы, связи). Удерживающие обеспечивают изменение положения элементов в одном или нескольких направлениях.

*Удерживающие ограничивающие системы* (шарнирные связи, фиксаторы, связи-упоры, скобы-фиксаторы) — это приспособления и устройства, которые обеспечивают совместные функции ограничения положения элементов в стадии установки в пределах полей допусков и временного закрепления их в этом положении.

*Измерительные приспособления и устройства* (геодезические инструменты, шаблоны, калибры и др.) служат для измерения контролируемых размеров.

Практика полносборного домостроения показала жизненную необходимость принудительной установки несущих элементов зданий в заданное положение рациональным групповым монтажным оснащением.

## **ГЛАВА 2. МЕТОДЫ РАСЧЕТА ДОПУСКОВ ЗАМЫКАЮЩИХ ЗВЕНЬЕВ РАЗМЕРНЫХ ЦЕПЕЙ СБОРНЫХ ЖИЛИЩНО-ГРАЖДАНСКИХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ**

### **2.1. Виды размерных цепей**

В инженерных сооружениях размеры отдельных конструкций и их деталей взаимозависимы. Изменение размера одной детали строительной конструкции вызывает изменение других. Такая взаимная связь размеров частей инженерного сооружения называется размерной цепью. Выражается она в виде замкнутого контура. В этот контур включаются такие размеры, изменения которых влияют на изменения других.

Каждый из размеров называется звеном размерной цепи. Одно из звеньев цепи считается исходным, конечным или замыкающим, а остальные — составляющими, т. е. компонентами.

Точность соблюдения замыкающего звена обуславливает точность возведения инженерного сооружения или монтажа строительной конструкции. Влияние изменений составляющих звеньев на замыкающее характеризуется передаточным отношением.

Составляющие звенья делят на увеличивающие, или положительные, и уменьшающие, или отрицательные. Увеличение первого звена приводит к увеличению замыкающего, а увеличение второго вызывает уменьшение замыкающего. При этом остальные составляющие звенья считаются постоянными.

Инженерное сооружение не может быть возведено абсолютно точно. Размеры частей сооружения всегда отклоняются от проектных — номинальных. Это объясняется неизбежными погрешностями при выполнении разбивочных работ, изготовлении деталей строительных конструкций, производстве монтажных работ, а также изменениями размеров деталей строительных конструкций под влиянием различных воздействий, т. е. в процессе работы сооружения.

Погрешности при возведении инженерного сооружения могут быть одномерными, или скалярными, и двухмерными, или векторными. Различают линейные и угловые звенья. Поэтому выделяют погрешности линейных и угловых размеров.

Заданная точность возведения инженерного сооружения обеспечивается методом взаимозаменяемости и методом компенсации.

В первом случае монтаж строительных конструкций выполняется из взаимозаменяемых деталей без какой-либо пригонки, а во втором — из деталей, подбираемых на строительной площадке и пригоняемых в процессе установки в проектное положение. Распределение погрешностей составляющих звеньев регулируется при помощи звена-компенсатора.

В размерную цепь входят не только размеры сопрягаемых деталей конструкций, но и размеры зазоров. Номинальный размер звена, являющегося зазором или натягом, может быть равен нулю. Довольно часто звеньями-компенсаторами служат линейные и угловые зазоры. Во всяком случае, по методу достижения заданной точности строительных работ размерные цепи могут быть со звеньями-компенсаторами и без них.

Размерные цепи делят на несколько видов. В зависимости от сопрягаемых частей сооружения различают поддетальные и сборочные размерные цепи. По характеру взаимной связи частей сооружения выделяют независимые, или локальные, и зависимые, или комплексные, размерные цепи.

В первом случае все звенья служат только для одной цепи, а во втором — отдельные звенья служат для двух и более размерных цепей.

Расположение звеньев предопределяет деление размерных цепей на линейные, плоские и пространственные.

В линейных цепях звенья расположены на взаимно параллельных линиях.

При расположении звеньев на одной или нескольких плоскостях получают плоскую цепь. Если звенья располагаются в непараллельных плоскостях, то образуется пространственная цепь.

## 2.2. Расчет простой линейной размерной цепи

В простой линейной размерной цепи все звенья линейные, и их случайные погрешности независимы друг от друга. Из рис. 2.1. видно, что при составляющих звеньях  $S_i$  замыкающее звено находится по формуле

$$S = S_1 + S_2 + \dots + S_n = \sum_{i=1}^n S_i \quad (2.1)$$

Это наиболее простой вид основного уравнения размерной цепи. Пользуясь таким уравнением, выполняют поверочный и проектный расчеты размерной цепи. Поверочный расчет за-

ключается в определении замыкающего звена по заданным составляющим звеньям. Проектный расчет преследует цель определения составляющих звеньев по заданному замыкающему звену. Каждый из этих видов расчета размерной цепи основан на учете погрешностей звеньев цепи, обусловленных различными обстоятельствами.

В зависимости от способа учета погрешностей звеньев расчет размерной цепи выполняют методом максимума-минимума или теоретико-вероятностным методом.

В первом случае определяют максимально-минимально возможные значения звеньев, иначе — наименьшие и наибольшие предельные размеры, а во втором находят вероятностные закономерности распределения погрешностей звеньев. Проверочный расчет размерной цепи методом максимума-минимума сводится к суммированию максимально-минимально возможных значений составляющих звеньев и определению максимальной и минимальной величины замыкающего звена.

При проектном расчете методом максимума-минимума для получения однозначного решения вводят дополнительные условия. Например, считают погрешности составляющих звеньев одинаковыми.

Метод максимума-минимума довольно хорошо учитывает действие систематических погрешностей звеньев, но не обеспечивает правдоподобного представления о влиянии случайных погрешностей звеньев.

Проверочный расчет приводит к преувеличенному значению погрешности замыкающего звена, а проектный расчет дает уменьшенное значение погрешностей составляющих звеньев.

Эти обстоятельства особенно сильно проявляются по мере увеличения числа звеньев цепи.

Приведенные соображения ограничивают использование метода максимума-минимума только для приближенного расчета размерных цепей с небольшим числом звеньев.

Более или менее строгий расчет размерной цепи осуществляется теоретико-вероятностным методом. При использовании этого метода случайные погрешности составляющих звеньев характеризуются стандартом  $\sigma(S_i)$ . Тогда стандарт замыкающего звена

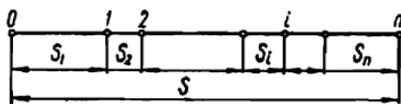


Рис. 2.1. Линейная размерная цепь:

$S_i$  — составляющие звенья;  $S$  — заменяющее звено.

$$\sigma(S) = \sqrt{\sum_{i=1}^n \sigma^2(S_i)}. \quad (2.2)$$

Задавшись некоторой вероятностью  $p$ , можно найти интервал, накрывающий действительное (истинное) значение  $S$  замыкающего звена, т. е.

$$P(S - t\sigma(S) < S < S + t\sigma(S)) = p. \quad (2.3)$$

Обычно случайные погрешности составляющих звеньев обладают нормальным распределением. При  $p$ , равном 0,90; 0,95; 0,99 и 0,9973 значения  $t$  соответственно равны 1,645; 1,960; 2,576 и 3,000. Длина интервала, накрывающего  $S$ , равна  $2t\sigma(S)$ . Кроме того, составляющие звенья сопровождаются погрешностями систематического характера, равными  $\lambda(S_i)$ . Систематическая погрешность замыкающего звена

$$\lambda(S) = \sum_{i=1}^n \lambda(S_i). \quad (2.4)$$

Полная или общая погрешность замыкающего звена определяется по формуле

$$\Delta(S) = \lambda(S) \pm t\sigma(S). \quad (2.5)$$

Поэтому наибольший и наименьший предельные размеры замыкающего звена будут:

$$S_{\max} = S + \lambda(S) + t\sigma(S); \quad S_{\min} = S - \lambda(S) - t\sigma(S), \quad (2.6)$$

где  $S$  — номинальный размер замыкающего звена, вычисленный по номинальным размерам составляющих звеньев  $S_i$  по формуле (2.1).

Допуск замыкающего звена вычисляется как

$$\Delta_n(S) = S_{\max} - S_{\min} = 2t\sigma(S) + \lambda(S). \quad (2.7)$$

Таким образом, по формуле (2.5) находим верхнее и нижнее отклонения замыкающего звена от номинального размера. Если  $\lambda(S) > 0$ , то

$$BO(S) = \lambda(S) + t\sigma(S); \quad HO(S) = -t\sigma(S). \quad (2.8)$$

В случае  $\lambda(S) < 0$  получим

$$BO(S) = t\sigma(S) - \lambda(S); \quad HO(S) = -t\sigma(S). \quad (2.9)$$

Очевидно,

$$\Delta_n(S) = BO(S) - HO(S). \quad (2.10)$$

Интервал возможных значений звена образует поле допуска (рис. 2.2). Средний размер звена

$$\bar{S} = 0,5 (S_{\max} + S_{\min}) = S + 0,5\lambda(S). \quad (2.11)$$

Величина  $0,5\lambda(S)$  характеризует середину поля допуска. Иногда эту величину называют средним отклонением и вычисляют по формуле

$$CO(S) = 0,5 \{BO(S) + HO(S)\} = 0,5\lambda(S). \quad (2.12)$$

В ряде случаев расчет размерной цепи выполняют, руководствуясь половиной допуска

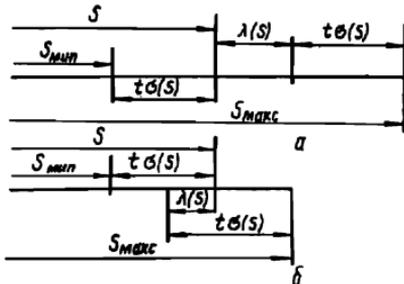


Рис. 2.2. Поле допусков:  
 $a - \lambda(S) > 0$ ;  $b - \lambda(S) < 0$ .

$$\Delta_0(S) = t\sigma(S) + 0,5\lambda(S). \quad (2.13)$$

Поверочный расчет размерной цепи иногда называют прямой задачей, а проектный расчет — обратной. Исходными параметрами для решения прямой задачи служат допуски составляющих звеньев

$$\Delta_0(S_i) = 2t\sigma(S_i) + \lambda(S_i). \quad (2.14)$$

При расчете по методу максимума-минимума считают, что

$$\Delta_0(S) = \sum_{i=1}^n \Delta_0(S_i). \quad (2.15)$$

Если расчет выполняется теоретико-вероятностным методом, то  $\Delta_0(S)$  вычисляем по формулам (2.2), (2.4) и (2.7). Очевидно, значение  $\Delta_0(S)$ , найденное по формуле (2.15), будет превышать значение  $\Delta_0(S)$ , вычисленное по формуле (2.7). Для случая, когда  $\sigma(S_i) = \sigma$  и  $\lambda(S_i) = \lambda$ , теоретико-вероятностный метод приводит к значению допуска замыкающего звена, определяемого по формуле

$$\Delta_0(S) = 2t\sigma \sqrt{n} + \lambda n. \quad (2.16)$$

При расчете по методу максимума-минимума получим

$$\Delta_0(S) = (2t\sigma + \lambda)n. \quad (2.17)$$

Погрешность определения допуска методом максимума-минимума

$$\Delta = 2t\sigma (n - \sqrt{n}). \quad (2.18)$$

Следовательно, с возрастанием числа  $n$  составляющих звеньев эта погрешность увеличивается.

Исходным параметром для решения обратной задачи служит допуск замыкающего звена  $\Delta_0(S)$ . Решение обратной задачи не является однозначным и зависит от дополнительных условий. Если принять, что  $\sigma(S_i) = \sigma$ ,  $\lambda(S_t) = \lambda = k\sigma$ , то

$$\Delta_0(S_i) = \sigma (2t + k). \quad (2.19)$$

Отсюда формула (2.16) примет следующий вид:

$$\Delta_0(S) = \sigma (2t \sqrt{n} + kn). \quad (2.20)$$

Для заданного значения  $\Delta_0(S)$  найдем

$$\sigma = \frac{\Delta_0(S)}{2t \sqrt{n} + kn}. \quad (2.21)$$

$$\text{Следовательно, } \Delta_0(S_i) = \frac{2t + k}{2t \sqrt{n} + kn} \Delta_0(S). \quad (2.22)$$

Выполняя этот же расчет методом максимума-минимума, получим

$$\Delta_0(S) = n\Delta_0(S_i) \text{ или } \Delta_0(S_i) = \frac{\Delta_0(S)}{n}. \quad (2.23), (2.24)$$

Очевидно, это значение  $\Delta_0(S_i)$  будет меньше значения  $\Delta_0(S_i)$ , выполненного по формуле (2.22).

Относительная погрешность допуска составляющего звена, найденного методом максимума-минимума, составит

$$\frac{1}{N} = \frac{2t (n - \sqrt{n})}{n (2t + k)}. \quad (2.25)$$

Очевидно, с возрастанием числа звеньев эта погрешность увеличивается и предельное значение ее достигает величины

$$\left( \frac{1}{N} \right)_{\text{макс}} = \frac{2t}{2t + k}. \quad (2.26)$$

### 2.3. Расчет коррелированной линейной размерной цепи

В коррелированной линейной размерной цепи случайные погрешности линейных звеньев находятся в корреляционной связи. Замыкающее звено цепи определяется по формуле (2.1) Стандарт его вычисляется по формуле

$$\sigma(S) = \sqrt{\sum_{i=1}^n \sigma^2(S_i) + 2 \sum_{i \neq j} \sigma(S_i) \sigma(S_j) r(S_i, S_j)}. \quad (2.27)$$

Приведенный по этой формуле коэффициент корреляции  $r(S_i, S_j)$  находится в результате статистических исследований или на основании теоретических соображений. В последнем случае предполагается, что случайные погрешности двух звеньев  $S_i$  и  $S_j$  включают в себя ряд общих элементарных погрешностей, например:

$$\begin{aligned} u(S_i) &= u_1 + u_2 + \dots + u_f + v_1 + v_2 + \dots + v_f \\ u(S_j) &= u_1 + u_2 + \dots + u_f + w_1 + w_2 + \dots + w_m. \end{aligned} \quad (2.28)$$

Если роль каждой из таких элементарных погрешностей примерно одинакова, то

$$r(S_i, S_j) = \sqrt{\frac{f}{f+l} \cdot \frac{f}{f+m}} = \frac{f}{\sqrt{(f+l)(f+m)}}. \quad (2.29)$$

Например, для  $f=1$ ,  $l=1$  и  $m=1$  получим  $r(S_i, S_j) = 0,5$ . Случайные погрешности звеньев могут быть коррелированы точки зрения выполнения всех операций, связанных с возведением инженерного сооружения. Тогда формула (2.27) приобретает вид:

$$\begin{aligned} \sigma^2(S) &= \sigma_1^2(S) + \sigma_2^2(S) + \sigma_3^2(S) + \sigma_4^2(S) + 2r_{12}\sigma_1(S)\sigma_2(S) + \\ &+ 2r_{13}\sigma_1(S)\sigma_3(S) + 2r_{14}\sigma_1(S)\sigma_4(S) + 2r_{23}\sigma_2(S)\sigma_3(S) + \\ &+ 2r_{24}\sigma_2(S)\sigma_4(S) + 2r_{34}\sigma_3(S)\sigma_4(S). \end{aligned} \quad (2.30)$$

Действие отдельных источников случайных погрешностей схематически представляется системой равенств:

$$\begin{aligned} u_1 &= v_1; & u_2 &= v_1 + v_2; & u_3 &= v_1 + v_2 + v_3; \\ u_4 &= v_1 + v_2 + v_3 + v_4. \end{aligned} \quad (2.31)$$

Если роль элементарных погрешностей примерно одинакова, то по формуле (2.29) найдем:

$$\begin{aligned}
 r_{12} &= \frac{1}{\sqrt{2}} = \frac{\sqrt{2}}{2}; & r_{13} &= \frac{1}{\sqrt{3}} = \frac{\sqrt{3}}{3}; & r_{14} &= \frac{1}{\sqrt{4}} = \frac{1}{2}; \\
 r_{23} &= \frac{2}{\sqrt{6}} = \frac{\sqrt{6}}{3}; & r_{24} &= \frac{2}{\sqrt{8}} = \frac{\sqrt{8}}{4}; \\
 r_{34} &= \frac{3}{\sqrt{12}} = \frac{\sqrt{3}}{2}.
 \end{aligned} \tag{2.32}$$

Примем, что  $\sigma_1(S) = \sigma_0(S)$ ;  $\sigma_2(S) = \sigma_0(S)\sqrt{2}$ ;  $\sigma_3(S) = \sigma_0(S)\sqrt{3}$  и  $\sigma_4(S) = \sigma_0(S)\sqrt{4} = 2\sigma_0(S)$ .

Тогда  $\sigma(S) = \sigma_0(S)\sqrt{1+2+3+4+2+2+2+4+4+6} = \sigma_0(S)\sqrt{30} \approx 5,5\sigma_0(S)$ .

Учет корреляционной связи имеет существенное значение при расчете размерной цепи. Конечно, рассмотренная математическая модель коррелированной размерной цепи имеет примерный характер и может быть использована только для приближенного расчета. Более точный расчет нужно начинать с применения формул:

$$\begin{aligned}
 \sigma_1(S) &= \sqrt{\sum_{i=1}^n \sigma_i^2(S_i) + 2 \sum_{i+j} r_{ij}^I \sigma(S_i) \sigma(S_j)}; \\
 \sigma_2(S) &= \sqrt{\sum_{i=1}^n \sigma_i^2(S_i) - 2 \sum_{i+j} r_{ij}^{II} \sigma(S_i) \sigma(S_j)}; \\
 \sigma_3(S) &= \sqrt{\sum_{i=1}^n \sigma_i^2(S_i) + 2 \sum_{i+j} r_{ij}^{III} \sigma(S_i) \sigma(S_j)}; \\
 \sigma_4(S) &= \sqrt{\sum_{i=1}^n \sigma_i^2(S_i) \pm 2 \sum_{i+j} r_{ij}^{IV} \sigma(S_i) \sigma(S_j)}.
 \end{aligned} \tag{2.33}$$

Здесь учтено, что при разбивочных и монтажных работах корреляция звеньев имеет положительный характер. При наличии звеньев-зазоров корреляцию можно считать отрицательной. Действительно, при возрастании размера детали зазор

приходится уменьшать. При учете деформационных сдвигов корреляция может быть положительной и отрицательной.

Практически при решении прямой задачи ограничиваются корреляционной связью только для подсчета стандартов составляющих звеньев, т. е.

$$\begin{aligned} \sigma^2(S_i) = & \sigma_1^2(S_i) + \sigma_2^2(S_i) + \sigma_3^2(S_i) + \sigma_4^2(S_i) + 2r_{12}\sigma_1(S_i) \\ & \sigma_2(S_i) + 2r_{13}\sigma_1(S_i)\sigma_3(S_i) + 2r_{14}\sigma_1(S_i)\sigma_4(S_i) + 2r_{23}\sigma_2(S_i)\sigma_3(S_i) + \\ & + 2r_{24}\sigma_2(S_i)\sigma_4(S_i) + 2r_{34}\sigma_3(S_i)\sigma_4(S_i). \end{aligned} \quad (2.34)$$

Это значение  $\sigma(S_i)$  принимается для расчета допусков  $\Delta_0(S_i)$  и  $\Delta_0(S)$ . При решении обратной задачи по заданному значению  $\Delta_0(S)$  вычисляют  $\Delta_0(S_i)$  и  $\sigma(S_i)$ . Затем обращаются к схеме действия случайных погрешностей, представленной системой формул (2.31) и (2.32) и равенствами

$$\sigma_1(S_i) = \sigma_0; \quad \sigma_2(S_i) = \sigma_0 \sqrt{2}; \quad \sigma_3(S_i) = \sigma_0 \sqrt{3} \quad \text{и} \quad \sigma_4(S_i) = 2\sigma_0.$$

Тогда

$$\sigma(S_i) \approx 3,2\sigma_0. \quad (2.35)$$

$$\Delta_0(S_i) = 2t \sqrt{\sigma_1^2(S_i) + \sigma_2^2(S_i) + \sigma_3^2(S_i) + \sigma_4^2(S_i)}, \quad (2.36)$$

Следовательно,

$$\Delta_0(S_i) \approx 6,4t\sigma_0. \quad (2.37)$$

Отсюда

$$\sigma_0 \approx \frac{\Delta_0(S_i)}{6,4t}. \quad (2.38)$$

Принимая, что  $\Delta_0(S_i) = \Delta_0$ , получим

$$\Delta_0(S_i) = \frac{2\Delta_0(S)}{\sqrt{n}}. \quad (2.39)$$

Следовательно,

$$\sigma_0 \approx \frac{\Delta_0(S)}{3,2t\sqrt{n}}. \quad (2.40)$$

Таким образом,

$$\sigma_1(S_i) = \frac{\Delta_0(S)}{3,2t\sqrt{n}}; \quad \sigma_2(S_i) = \frac{\Delta_0(S)}{2,3t\sqrt{n}};$$

$$\sigma_3(S_l) = \frac{\Delta_0(S)}{2t\sqrt{n}}; \quad \sigma_4(S_l) = \frac{\Delta_0(S)}{1,6t\sqrt{n}}. \quad (2.41)$$

Вновь заметим, что выполненный расчет коррелированной размерной цепи имеет только примерный характер.

Приведем пример расчета размерной цепи, соответствующей сопряжению двух элементов строительной конструкции

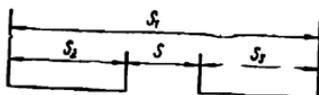


Рис. 2.3. Сопряжение двух элементов строительной конструкции с нормированным зазором-швом.

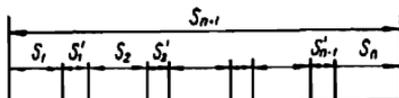


Рис. 2.4. Сопряжение нескольких элементов строительных конструкций с нормированными зазорами-швами.

с нормированным зазором-швом (рис. 2.3). Уравнение размерной цепи в этом случае будет

$$S = S_1 - S_2 - S_3. \quad (2.42)$$

Если случайные величины  $S_1$ ,  $S_2$  и  $S_3$  не зависят друг от друга, то стандарт замыкающего звена определяется по формуле (2.2) и составляет

$$\sigma(S) = \sqrt{\sigma^2(S_1) + \sigma^2(S_2) + \sigma^2(S_3)}. \quad (2.43)$$

Пренебрегая действием систематических погрешностей, получим допуск замыкающего звена

$$\Delta_0(S) = 2t\sigma(S). \quad (2.44)$$

Примем следующую схему действия случайных погрешностей:

$$u_1 = v_1; \quad u_2 = v_2; \quad u_3 = v_1 + v_2 - v_3; \quad u_4 = v_1 + v_4. \quad (2.45)$$

Стандарты составляющих звеньев находим по формуле (2.34):

$$\begin{aligned} \sigma^2(S_1) &= \sigma_1^2(S_1); \quad \sigma^2(S_2) = \sigma_1^2(S_2) + \sigma_2^2(S_2) + \sigma_3^2(S_2) + \sigma_4^2(S_2) + \\ &+ 2r_{13}\sigma_1(S_2)\sigma_3(S_2) + 2r_{14}\sigma_1(S_2)\sigma_4(S_2) - 2r_{23}\sigma_2(S_2)\sigma_3(S_2); \quad \sigma^2(S_3) = \\ &= \sigma_1^2(S_3) + \sigma_2^2(S_3) + \sigma_3^2(S_3) + \sigma_4^2(S_3) + 2r_{13}\sigma_1(S_3)\sigma_3(S_3) + \\ &+ 2r_{14}\sigma_1(S_3)\sigma_4(S_3) - 2r_{23}\sigma_2(S_3)\sigma_3(S_3). \end{aligned} \quad (2.46)$$

Если роль элементарных погрешностей в модели (2.45) примерно одинакова, коэффициенты корреляции можно найти по формуле (2.29):

$$r_{12} = \frac{1}{\sqrt{3}} = \frac{\sqrt{3}}{3}; \quad r_{14} = \frac{1}{\sqrt{2}} = \frac{\sqrt{2}}{2};$$

$$r_{23} = \frac{1}{\sqrt{3}} = \frac{\sqrt{3}}{3}. \quad (2.47)$$

Допустим, что

$$\sigma_1(S_1) = \sigma_1(S_2) = \sigma_1(S_3) = \sigma; \quad \sigma_2(S_2) = \sigma_2(S_3) = \sigma;$$

$$\sigma_3(S_2) = \sigma_3(S_3) = \sigma\sqrt{3}; \quad \sigma_4(S_2) = \sigma_4(S_3) = \sigma\sqrt{2}. \quad (2.48)$$

Тогда формулы (2.46) будут иметь следующий вид:

$$\sigma(S_1) = \sigma; \quad \sigma(S_2) = \sqrt{\sigma^2 + \sigma^2 + 3\sigma^2 + 2\sigma^2 + 2\sigma^2 + 2\sigma^2 - 2\sigma^2} = 3\sigma;$$

$$\sigma(S_3) = 3\sigma. \quad (2.49)$$

По формуле (2.43) найдем

$$\sigma(S) = \sigma\sqrt{10} \approx 4,36\sigma. \quad (2.50)$$

Следовательно, для  $\rho=0,9973$  получим

$$\Delta_0(S) = 2t\sigma(S) = 26,16\sigma. \quad (2.51)$$

Для заданного значения  $\Delta_0(S)$  найдем

$$\sigma = \frac{\Delta_0(S)}{26,16} = 0,038\Delta_0(S) \quad (2.52)$$

Например, для  $\Delta_0(S) = 20$  мм получим  $\sigma = 0,8$  мм;  $\sigma(S_1) = 0,8$  мм;  $\sigma(S_2) = \sigma(S_3) = 2,3$  мм;  $\sigma_1(S_1) = \sigma_1(S_2) = \sigma_1(S_3) = 0,8$  мм;  $\sigma_2(S_2) = \sigma_2(S_3) = 0,8$  мм;  $\sigma_3(S_2) = \sigma_3(S_3) = 1,3$  мм и  $\sigma_4(S_2) = \sigma_4(S_3) = 1,1$  мм.

Выполним расчет размерной цепи, возникающей при сопряжении нескольких элементов строительной конструкции с нормированными зазорами-швами (рис. 2.4). Уравнение размерной цепи будет

$$S'_1 + S'_2 + \dots + S'_{n-1} = S_{n+1} - (S_1 + S_2 + \dots + S_n). \quad (2.53)$$

Если принять, что  $S'_1 + S'_2 + \dots + S'_{n-1} = S$ , то

$$S = S_{n-1} - (S_1 + S_2 + \dots + S_n). \quad (2.54)$$

Для независимых случайных величин  $S_1, S_2, \dots, S_{n+1}$  получим

$$\sigma(S) = \sqrt{\sum_{i=1}^{n+1} \sigma^2(S_i)}. \quad (2.55)$$

Пренебрегая действием систематических погрешностей, найдем

$$\Delta_0(S) = 2t\sigma(S). \quad (2.56)$$

Сохраняя предшествующую схему действия случайных погрешностей, получим

$$\sigma(S_1) = \sigma(S_2) = \dots = \sigma(S_n) = 3\sigma; \quad \sigma(S_{n+1}) = \sigma. \quad (2.57)$$

Тогда

$$\sigma(S) = \sigma\sqrt{9n+1} \quad (2.58)$$

или

$$\Delta_0(S) = 2t\sigma\sqrt{9n+1}. \quad (2.59)$$

Кроме того,

$$\sigma(S) = \sqrt{\sum_{i=1}^{n-1} \sigma(S'_i)}. \quad (2.60)$$

$$\text{Если } \sigma(S'_i) = \sigma(S'), \text{ то } \sigma(S) = \sigma(S')\sqrt{n-1}. \quad (2.61)$$

Допуск зазора-шва будет

$$\Delta_0 = 2t\sigma(S'). \quad (2.62)$$

$$\text{Отсюда } \Delta_0(S) = \Delta_0(S')\sqrt{n-1}. \quad (2.63)$$

Сопоставляя эту формулу с формулой (2.59), получим

$$\Delta_0(S') = 2t\sigma\sqrt{\frac{9n+1}{n-1}}. \quad (2.64)$$

Если  $\Delta_2(S')$  задано,

$$\text{то } \sigma = \frac{\Delta_0(S')}{2t} \sqrt{\frac{n-1}{9n+1}}. \quad (2.65)$$

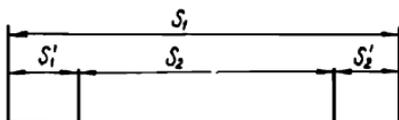
Например, для  $\Delta_0(S') = 20$  мм;  $p = 0,9973$  и  $n = 10$  получим  $\sigma = 1,05$  мм. Заметим, что формула (2.52) является частным случаем формулы (2.65). Для вывода формулы (2.52) достаточно принять, что  $n = 2$ .

Примерно так же производится расчет размерной цепи для обеспечения гарантированных размеров площадок опирания элементов строительных конструкций (рис. 2.5). Уравнение размерной цепи будет

$$S = S_1 - S_2, \quad (2.66)$$

где  $S = S'_1 + S'_2$ .

Рис. 2.5. Размерная цепь при обеспечении гарантированного размера площадок опирания строительных конструкций.



Для независимых случайных величин  $S_1$  и  $S_2$  получим

$$\sigma(S) = \sqrt{\sigma^2(S_1) + \sigma^2(S_2)}. \quad (2.67)$$

При этом

$$\begin{aligned} \sigma^2(S_1) &= \sigma_1^2(S_1) + \sigma_2^2(S_1) + \sigma_3^2(S_1) + \sigma_4^2(S_1) + 2r_{12}\sigma_1(S_1)\sigma_2(S_1) + \\ &+ 2r_{13}\sigma_1(S_1)\sigma_3(S_1) + 2r_{14}\sigma_1(S_1)\sigma_4(S_1) - 2r_{23}\sigma_2(S_1)\sigma_3(S_1); \\ \sigma(S_2) &= \sigma_1^2(S_2) + 2\sigma_1^2(S_2) + 2\sigma_3^2(S_2) + 2\sigma_4^2(S_2) + \\ &+ 2\sqrt{2}r_{12}\sigma_1(S_2)\sigma_2(S_2) + 2\sqrt{2}r_{13}\sigma_1(S_2)\sigma_3(S_2) + \\ &+ 2\sqrt{2}r_{14}\sigma_1(S_2)\sigma_4(S_2) - 4r_{23}\sigma_2(S_2)\sigma_3(S_2). \end{aligned} \quad (2.68)$$

Схема действия случайных погрешностей следующая:

$$u_1 = v_1; \quad u_2 = v_1 + v_2; \quad u_3 = v_1 + v_2 - v_3; \quad u_4 = v_1 + v_4. \quad (2.69)$$

Примем, что:

$$\begin{aligned} \sigma_1(S_1) = \sigma(S_2) = \sigma; \quad \sigma_2(S_1) = \sigma_2(S_2) = \sigma\sqrt{2}; \\ \sigma_3(S_1) = \sigma_3(S_2) = \sigma\sqrt{3}; \quad \sigma_4(S_1) = \sigma_4(S_2) = \sigma\sqrt{2}. \end{aligned} \quad (2.70)$$

Коэффициенты корреляции будут:

$$\begin{aligned} r_{12} = \frac{1}{\sqrt{2}} = \frac{\sqrt{2}}{2}; \quad r_{13} = \frac{1}{\sqrt{3}} = \frac{\sqrt{3}}{3}; \\ r_{14} = \frac{1}{\sqrt{2}} = \frac{\sqrt{2}}{2}; \quad r_{23} = \sqrt{\frac{2}{3}}. \end{aligned} \quad (2.71)$$

Следовательно,

$$\sigma(S_1) = \sigma \sqrt{10}; \quad \sigma(S_2) = \sigma \sqrt{15,4}; \quad \sigma(S) \approx 5\sigma. \quad (2.72)$$

Очевидно, для  $p=0,9973$  получим

$$\Delta_0(S) = 2t\sigma(S) \approx 30\sigma. \quad (2.73)$$

Кроме того,

$$\sigma(S) = \sqrt{\sigma^2(S'_1) + \sigma^2(S'_2)}. \quad (2.74)$$

Если  $\sigma(S'_1) = \sigma(S'_2) = \sigma(S')$ , то

$$\sigma(S) = \sigma(S') \sqrt{2}; \quad \Delta_0(S) = \Delta_0(S') \sqrt{2}. \quad (2.75; 2.76)$$

Отсюда

$$\Delta_0(S') \approx 20\sigma; \quad \sigma \approx \frac{\Delta_0(S')}{20} = 0,05\Delta_0(S'). \quad (2.77)$$

Например, для  $\Delta_0(S') = 20$  мм получим  $\sigma \approx 1$  мм.

#### 2.4. Расчет плоской размерной цепи

Рассмотрим случай наиболее простой плоской размерной цепи (рис. 2.6). Стандарт замыкающего звена  $S$  этой цепи вычисляется по формуле

$$\sigma(S) = \sigma(S_0) \sqrt{n + \frac{1}{S_0} \sum_{l=1}^{n-1} D_{n,l}^2} = \sigma(S_0) \sqrt{6} \approx 2,45\sigma(S_0), \quad (2.78)$$

где  $S_1 = S_2 = S_3 = S_0$ ;  $\sigma(S_1) = \sigma(S_2) = \sigma(S_3) = \sigma(S_0)$ ;  $\alpha(\beta) = \frac{\sigma(S_0)}{S_0}$ .

Следовательно,

$$\Delta_0(S) = 2t\sigma(S) = 4,9t\sigma(S_0). \quad (2.79)$$

Для  $P=0,9973$  получим

$$\Delta_0(S) = 14,7\sigma(S_0). \quad (2.80)$$

Если  $\Delta_0(S)$  задано, то

$$\sigma(S_0) = \frac{\Delta(S)}{14,7} \quad \text{и} \quad \sigma'(\beta) = \frac{\Delta_0(S)}{14,7S_0} \rho'. \quad (2.81)$$

Например, для  $\Delta_0(S) = 5 \text{ см}$  и  $S = 12 \text{ м}$  получим  $\sigma(S_0) = 6,8 \text{ мм}$  и  $\sigma'(\beta) \approx 2'$ . Следовательно,  $\Delta_0(S_1) = \Delta_0(S_2) = \Delta_0(S_3) = 40,8 \text{ мм}$  и  $\Delta_0(\beta_1) = \Delta_0(\beta_2) = 12'$ .

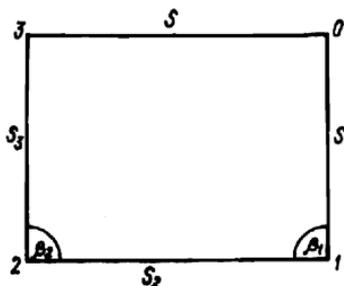


Рис. 2.6. Плоская размерная цепь.

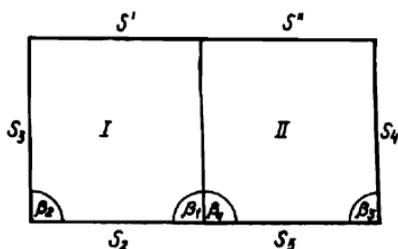


Рис. 2.7. Система двух плоских размерных цепей.

Аналогично выполняется расчет и более сложной плоской размерной цепи.

В зависимых или комплексных размерных цепях имеются звенья, общие для двух и более цепей. Такие звенья называются связующими. Расчет комплексных размерных цепей или систем размерных цепей выполняется так, чтобы допуски для связующих звеньев оказались одинаковыми по каждой из цепей.

Приведем пример расчета системы двух простых плоских цепей (рис. 2.7).

Если считать связующее звено замыкающим и воспользоваться ранее приведенным примером, то допуски составляющих звеньев сохраняются прежними. Однако не всегда такое решение задачи соответствует требованиям к точности возведения сооружения.

В рассматриваемом примере точность возведения сооружения характеризуется допусками для замыкающих звеньев  $S'$  и  $S''$ .

Если также допуски одинаковы и обе размерные цепи аналогичны, то и допуск для связующего звена будет идентичным.

При нарушении этих условий для связующего звена принимается более жесткий допуск. Очевидно, есть смысл воспользоваться таким допуском для смягчения (расширения) допусков

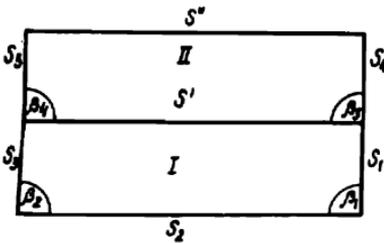


Рис. 2.8. Плоские поэтажные размерные цепи.

составляющих звеньев в смежной цепи. Задача усложняется в том случае, когда замыкающее звено становится составляющим для смежной размерной цепи (рис. 2.8). Примерно такая ситуация создается при поэтажной постройке сооружения. Поэтому рассматриваемые размерные цепи называются плоскими поэтажными. Для первой размерной цепи получим

$$\sigma^2(S') = \sigma^2(S_1) + \sigma^2(S_2) + \sigma^2(S_3) + \sigma^2(\beta)(S_2^2 + 2S_1^2). \quad (2.82)$$

Примем, что  $\sigma(S_1) = \sigma(S_3)$ ;  $S_1 = S_3$  и  $\sigma(\beta) = \frac{\sigma(S_1)}{S_1}$ .

Тогда

$$\begin{aligned} \sigma^2(S') &= 2\sigma^2(S_1) + \sigma^2(S_2) + \frac{\sigma^2(S_1)}{S_1^2}(S_2^2 + 2S_1^2) = \\ &= 4\sigma^2(S_1) + \sigma^2(S_2) + \sigma^2(S_1) \frac{S_2^2}{S_1^2}. \end{aligned} \quad (2.83)$$

Если  $\frac{S_2}{S_1} = k$  и  $\sigma(S_2) = \varepsilon\sigma(S_1)$ , то

$$\sigma(S') = \sigma(S_1) \sqrt{4 + k^2 + \varepsilon^2}. \quad (2.84)$$

Для второй размерной цепи

$$\sigma^2(S'') = \sigma^2(S_4) + \sigma^2(S') + \sigma^2(S_5) + \sigma^2(\beta)(S''^2 + 2S_6^2). \quad (2.85)$$

Здесь также можно принять, что

$$\sigma(S_4) = \sigma(S_5) = \sigma(S_1); \quad S' = S_2; \quad S_4 = S_5 = S_1; \quad \sigma(\beta) = \frac{\sigma(S_1)}{S_1}.$$

Поэтому

$$\begin{aligned} \sigma^2(S'') &= 2\sigma^2(S_1) + \sigma^2(S') + \frac{\sigma^2(S_1)}{S_1} (S_2^2 + 2S_1^2) = \\ &= 4\sigma^2(S_1) + \sigma^2(S') + \sigma^2(S_1) \frac{S_2^2}{S_1^2} = 4\sigma^2(S_1) + \\ &+ \sigma^2(S_1) (4 + k^2 + \epsilon^2) + k^2\sigma^2(S_1) = \sigma^2(S_1) (8 + 2k^2 + \epsilon^2) \end{aligned} \quad (2.86)$$

или 
$$\sigma(S'') = \sigma(S_1) \sqrt{8 + 2k^2 + \epsilon^2}. \quad (2.87)$$

В случае возведения третьего этажа получим

$$\sigma(S''') = \sigma(S_1) \sqrt{12 + 3k^2 + \epsilon^2}. \quad (2.88)$$

Для пятого этажа найдем

$$\sigma(S^V) = \sigma(S_1) \sqrt{4V + Vk^2 + \epsilon^2}. \quad (2.89)$$

Например, для 16-го этажа

$$\sigma(S^{16}) = \sigma(S_1) \sqrt{64 + 16k^2 + \epsilon^2}. \quad (2.90)$$

Если  $k=2$  и  $\epsilon=1$ , то  $\sigma(S^{16}) = \sigma(S_1) \sqrt{97} \approx 10\sigma(S_1)$ .

Допуск замыкающего звена будет

$$\Delta_0(S^V) = 2t\sigma(S_1) \sqrt{4V + Vk^2 + \epsilon^2} = \Delta_0(S_1) \sqrt{4V + Vk^2 + \epsilon^2}. \quad (2.91)$$

Для  $V=16$  и  $P=0,9973$  получим  $\Delta_0(S^{16}) \approx 60\sigma(S_1)$ .

Если  $\Delta(S^{16})=5$  см, то  $\sigma(S_1)=0,8$  мм или  $\Delta_0(S_1)=0,8$  мм или  $\Delta_0(S_1)=4,8$  мм.

В случае более сложной системы плоских поэтажных размерных цепей (рис. 2.9) устанавливается допуск для замыкающего звена

$$S = S_1^V + S_2^V + S_3^V. \quad (2.92)$$

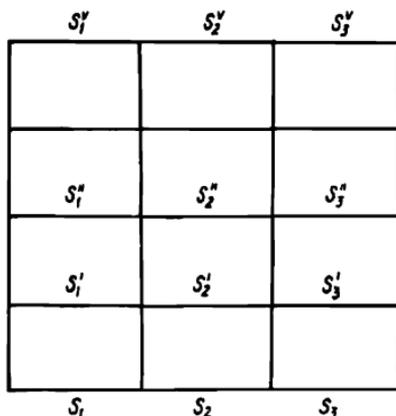


Рис. 2.9. Сложная система плоских поэтажных размерных цепей.

Вследствие того, что погрешности значений  $S_1^V$ ,  $S_2^V$  и  $S_3^V$  взаимно зависимы, получим

$$\sigma(S) = \sqrt{\sigma^2(S_1^V) + \sigma^2(S_2^V) + \sigma^2(S_3^V) + 2k_{12}\sigma(S_1^V)\sigma(S_2^V) + 2k_{23}\sigma(S_2^V)\sigma(S_3^V) + 2k_{13}\sigma(S_1^V)\sigma(S_3^V)} \quad (2.28)$$

На определение  $S_1^V$  действуют пять источников погрешностей, а на  $S_1^V$  оказывают влияние 5V источников погрешностей. На определение  $S_2^V$  также действуют 5V источников погрешностей.

При этом V источников погрешностей являются общими. Следовательно, коэффициент корреляции может быть приближенно найден по формуле (2.29).

Очевидно,  $k_{12} = \sqrt{\frac{V}{V+4V} \cdot \frac{V}{V+4V}} = 0,2$ . Аналогично получим  $k_{23} = 0,2$ . Следовательно,

$$\sigma(S) = \sqrt{\sigma^2(S_1^V) + \sigma^2(S_2^V) + \sigma^2(S_3^V) + 0,4\sigma(S_1^V)\sigma(S_2^V) + 0,4\sigma(S_2^V)\sigma(S_3^V) + 0,4\sigma(S_1^V)\sigma(S_3^V)} \quad (2.93)$$

Если  $\sigma(S_1^V) = \sigma(S_2^V) = \sigma(S_3^V)$ , то

$$\sigma(S) = \sigma(S_1^V) \sqrt{4,2} \approx 2\sigma(S_1^V) \quad (2.94)$$

Отсюда  $\Delta_0(S) = 4\sigma(S_1^V)$  (2.95)

или  $\Delta_0(S_1^V) = \Delta_0(S_2^V) = \Delta_0(S_3^V) = 0,5\Delta_0(S)$  (2.96)

и  $\Delta_0(S_1) = 0,5 \frac{\Delta_0(S)}{\sqrt{4V + Vk^2 + \epsilon^2}}$  (2.97)

## 2.5. Расчет пространственной размерной цепи

В пространственной размерной цепи положение каждой вершины определяется в плане и по высоте. В первом случае размерная цепь считается аналогом полигонометрического хода, а во втором аналогом буссольного или нивелирного ходов.

При расчете размерных цепей инженерных сооружений аналог буссольного хода используется для вертикальных или близких к ним линейных звеньев цепи, аналог нивелирного хода — для горизонтальных или близких к ним линейных звеньев цепи.

Пространственная размерная цепь расчленяется на ряд плоских цепей. Например, в пространственной размерной цепи, показанной на рис. 2.10, выделяют плоскую размерную цепь 1' 2' 3' 4' с замыкающим звеном S'1.

Рассматривая ее как аналог полигонометрического хода, найдем стандарты вершин цепи в плане:

$$\begin{aligned} \sigma(1') &= 0; \quad \sigma(2') = \sigma(S_2'); \quad \sigma(3') = \sqrt{\sigma^2(S_2') + \sigma^2(S_3') + \sigma^2(\beta)} \sigma(S_3'); \\ \sigma(4') &= \sqrt{\sigma^2(S_2') + \sigma^2(S_3) + \sigma^2(S_4') + \sigma^2(\beta)(S_3'^2 + 2S_4')} \quad (2.98) \end{aligned}$$

Здесь принято, что  $\sigma(\beta_2) = \sigma(\beta_3) = \sigma(\beta)$ . Если  $\sigma(S_2') = \sigma(S_3') = \sigma(S_4') = \sigma(S_0')$ ;  $S_1 = S_2 = S_3 = S_4 = S_0'$  и  $\sigma(\beta) = \frac{\sigma(S)}{S}$ , то

$$\begin{aligned} \sigma(1') &= 0; \quad \sigma(2') = \sigma(S_0'); \quad \sigma(3') = \sigma(S_0') \sqrt{3}; \quad \sigma(4') = \sigma(S_0') \sqrt{6}. \end{aligned} \quad (2.99)$$

Рассматривая эту же цепь как пространственную и прибегая к аналогии с нивелирным ходом, получим стандарты вершин цепи по высоте:

$$\begin{aligned} \underline{\sigma}(1') &= 0; \quad \underline{\sigma}(2') = \sigma(h_{12}); \quad \underline{\sigma}(3') = \sqrt{\sigma^2(h_{12}) + \sigma^2(h_{23})}; \\ \underline{\sigma}(4') &= \sqrt{\sigma^2(h_{12}) + \sigma^2(h_{23}) + \sigma^2(h_{34})}, \end{aligned} \quad (2.100)$$

где  $h_{12}, h_{23}, h_{34}$  — превышения.

Если принять, что  $\sigma(h_{12}) = \sigma(h_{23}) = \sigma(h_{34}) = \sigma(h)$ , то  $\underline{\sigma}(1') = 0$ ;

$$\underline{\sigma}(2') = \sigma(h); \quad \underline{\sigma}(3') = \sigma(h) \sqrt{2} \quad \text{и} \quad \underline{\sigma}(4') = \sigma(h) \sqrt{3}. \quad (2.101)$$

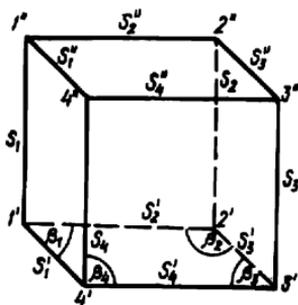


Рис. 2.10. Пространственная размерная цепь.

Стандарты замыкающего звена в плане и по высоте будут:

$$\begin{aligned}\sigma(S'_1) &= \sqrt{\sigma^2(1') + \sigma^2(4')} = \sigma(4') = \sigma(S'_0) \sqrt{6}; \\ \underline{\sigma}(S'_1) &= \sqrt{\underline{\sigma}^2(1') + \sigma^2(4')} = \underline{\sigma}(4') = \sigma(h) \sqrt{3}. \quad (2.102)\end{aligned}$$

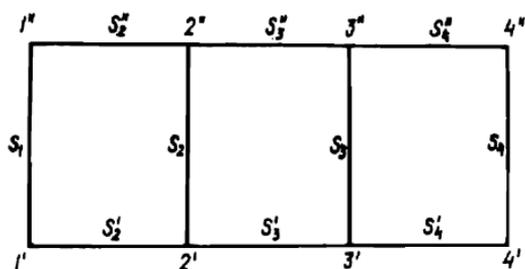


Рис. 2.11. Развернутая пространственная размерная цепь.

Общий стандарт замыкающего звена определяется по формуле

$$\sigma_0(S'_1) = \sqrt{\sigma^2(S'_1) + \underline{\sigma}^2(S'_1)} = \sqrt{6\sigma^2(S'_0) + 3\sigma^2(h)}. \quad (2.103)$$

Дальнейший расчет пространственной размерной цепи, приведенной на рис. 2.10, может быть осуществлен различно. Наиболее просто выполнить развертку этой цепи так, как показано на рис. 2.11. Стандарты положения вершин цепи по высоте будут:

$$\begin{aligned}\sigma(1'') &= \sqrt{\sigma^2(1') + \sigma^2(S_1)} = \sigma(S_1); \\ \sigma(2'') &= \sqrt{\sigma^2(2') + \sigma^2(S_2)} = \sqrt{\sigma^2(h) + \sigma^2(S_2)}; \\ \sigma(3'') &= \sqrt{\sigma^2(3') + \sigma^2(S_3)} = \sqrt{2\sigma^2(h) + \sigma^2(S_3)}; \\ \sigma(4'') &= \sqrt{\sigma^2(4') + \sigma^2(S_4)} = \sqrt{3\sigma^2(h) + \sigma^2(S_4)}.\end{aligned} \quad (2.104)$$

Если  $\sigma(S_1) = \sigma(S_2) = \sigma(S_3) = \sigma(S_4) = \sigma(S_0)$ , то

$$\begin{aligned}\underline{\sigma}(1'') &= \sigma(S_0); \quad \underline{\sigma}(2'') = \sqrt{\sigma^2(h) + \sigma^2(S_0)}; \\ \underline{\sigma}(3'') &= \sqrt{2\sigma^2(h) + \sigma^2(S_0)}; \quad \underline{\sigma}(4'') = \sqrt{3\sigma^2(h) + \sigma^2(S_0)}.\end{aligned} \quad (2.105)$$

Стандарты положения вершин в плане находим по формулам:

$$\begin{aligned}\sigma(1'') &= \sqrt{\sigma^2(1') + S_1^2 \sigma^2(\alpha_1)} = S_0 \sigma(\alpha); \\ \sigma(2'') &= \sqrt{\sigma^2(2') + S_2^2 \sigma^2(\alpha_2)} = \sqrt{\sigma^2(S'_0) + S_0^2 \sigma^2(\alpha)};\end{aligned} \quad (2.106)$$

$$\begin{aligned}\sigma(3'') &= \sqrt{\sigma^2(3') + S_3^2 \sigma^2(\alpha_3)} = \sqrt{3\sigma^2(S_0') + S_0^2 \sigma^2(\alpha)}; \\ \sigma(4'') &= \sqrt{\sigma^2(4') + S_4^2 \sigma^2(\alpha_4)} = \sqrt{6\sigma^2(S_0) + S_0^2 \sigma^2(\alpha)},\end{aligned}\quad (2.107)$$

где  $\sigma(\alpha_1) = \sigma(\alpha_2) = \sigma(\alpha_3) = \sigma(\alpha_4) = \sigma(\alpha)$ ;  $S_1 = S_2 = S_3 = S_4 = S_0$ .

Общий стандарт замыкающего звена будет

$$\begin{aligned}\sigma(S_1'') &= \sqrt{\sigma^2(1'') + \sigma^2(1'') + \sigma^2(4'') + \sigma^2(4'')} = \\ &= \sqrt{S_0^2 \sigma^2(\alpha) + \sigma^2(S_0) + 6\sigma^2(S_0') + S_0^2 \sigma^2(\alpha) + 3\sigma^2(h) + \sigma^2(S_0)} = \\ &= \sqrt{6\sigma^2(S_0') + 2\sigma^2(S_0) + 2S_0^2 \sigma^2(\alpha) + 3\sigma^2(h)}.\end{aligned}\quad (2.108)$$

Если  $\sigma(\alpha) = \frac{\sigma(S_0)}{S_0}$ ;  $\sigma(S_0') = \sigma(S_0) = \sigma(h)$ , то

$$\sigma(S_1'') \approx 3,6\sigma(S_0). \quad (2.109)$$

Допуск замыкающего звена будет

$$\Delta_0(S_1'') = 7,2t\sigma(S_0) \text{ или } \Delta_0(S_1'') = 3,6\Delta_0(S_0). \quad (2.110)$$

Отсюда допуски составляющих звеньев определяем по формуле

$$\Delta_0(S_0) = \frac{\Delta_0(S_1'')}{3,6} \text{ или } \sigma(S_0) = \frac{\Delta_0(S_1'')}{21,6}. \quad (2.111)$$

Следовательно,

$$\begin{aligned}\sigma(\alpha_1) = \sigma(\alpha_2) = \sigma(\alpha_3) = \sigma(\alpha_4) &= \frac{\Delta_0(S_1'')}{21,6S_0}; \\ \sigma(S_1) = \sigma(S_2) = \sigma(S_3) = \sigma(S_4) = \sigma(S_2') &= \sigma(S_3') = \sigma(S_4') = \\ &= \frac{\Delta_0(S_1'')}{21,6}; \quad \sigma(\beta_2) = \sigma(\beta_3) = \frac{\Delta_0(S_1'')}{21,6S_0'}; \\ \sigma(h_{12}) = \sigma(h_{23}) = \sigma(h_{34}) &= \frac{\Delta_0(S_1'')}{21,6}.\end{aligned}\quad (2.112)$$

Например, для  $\Delta_0(S_1'') \approx 5$  см;  $S_0 = 3$  м и  $S_0' = 6$  м получим:

$$\sigma(\alpha_1) = \sigma(\alpha_2) = \sigma(\alpha_3) = \sigma(\alpha_4) \approx 2', \sigma;$$

$$\sigma(\beta_2) = \sigma(\beta_3) \approx 1', 3; \quad \sigma(S_1) = \sigma(S_2) = \sigma(S_3) = \sigma(S_4) =$$

$$= \sigma(S'_2) = \sigma(S'_3) = \sigma(S'_4) = \sigma(h_{12}) = \sigma(h_{23}) = \sigma(h_{31}) = 2, 3 \text{ мм.}$$

## 2.6. Расчет систем пространственных размерных цепей

Продолжим ранее приведенный расчет для системы пространственных размерных цепей, показанных на рис. 2.12. В этой поэтажной системе стандарты вершин размерной цепи  $1'2'3'4'$  находятся по формулам (2.98) и (2.99) — в плане и по формулам (2.100) и (2.101) — по высоте. Для определения стандарта замыкающего звена  $S'_1$  в плане и по высоте служат формулы (2.102).

Стандарты положения вершин поэтажной пространственной цепи по высоте будут:

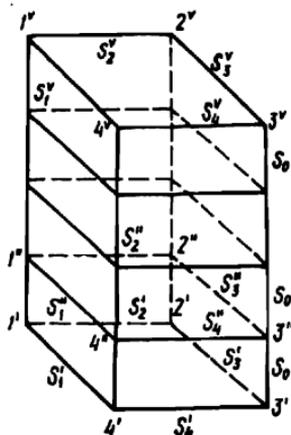


Рис. 2.12. Поэтажная система пространственных размерных цепей.

$$\underline{\sigma}(1^V) = \sqrt{\underline{\sigma}^2(1') + V\sigma^2(S_1)} = \sigma(S_0) \sqrt{V};$$

$$\underline{\sigma}(2^V) = \sqrt{\underline{\sigma}^2(2') + V\sigma^2(S_2)} = \sqrt{\sigma^2(h) + V\sigma^2(S_0)};$$

$$\underline{\sigma}(3^V) = \sqrt{\underline{\sigma}^2(3') + V\sigma^2(S_3)} = \sqrt{2\sigma^2(h) + V\sigma^2(S_0)}; \quad (2.113)$$

$$\underline{\sigma}(4^V) = \sqrt{\underline{\sigma}^2(4') + V\sigma^2(S_4)} = \sqrt{3\sigma^2(h) + V\sigma^2(S_0)}.$$

Стандарты положения вершин поэтажной пространственной цепи в плане находятся по формулам:

$$\sigma(1^V) = \sqrt{\sigma^2(1') + VS_0^2 \sigma^2(\alpha)} = S_0 \sigma(\alpha) \sqrt{V};$$

$$\sigma(2^V) = \sqrt{\sigma^2(2') + VS_0^2 \sigma^2(\alpha)} = \sqrt{\sigma^2(S_0') + VS_0^2 \sigma^2(\alpha)}; \quad (2.114)$$

$$\sigma(3^V) = \sqrt{\sigma^2(3') + VS_0^2 \sigma^2(\alpha)} = \sqrt{3\sigma^2(S_0') + VS_0^2 \sigma^2(\alpha)};$$

$$\sigma(4^V) = \sqrt{\sigma^2(4') + VS_0^2 \sigma^2(\alpha)} = \sqrt{6\sigma^2(S_0') + VS_0^2 \sigma^2(\alpha)}.$$

Общий стандарт замыкающего звена будет

$$\begin{aligned} \sigma_0(S_1^V) &= \sqrt{\sigma^2(1^V) + \sigma^2(1^V) + \sigma^2(4^V) + \sigma^2(4^V)} = \\ &= \sqrt{VS_0^2 \sigma^2(\alpha) + V\sigma^2(S_0) + 6\sigma^2(S_0') + VS_0^2 \sigma^2(\alpha) + 3\sigma^2(h) + V\sigma^2(S_0)} = \\ &= \sqrt{6\sigma^2(S_0') + 2VS_0^2 \sigma^2(\alpha) + 2V\sigma^2(S_0) + 3\sigma^2(h)}. \end{aligned} \quad (2.115)$$

Если  $\sigma(\alpha) = \frac{\sigma(S_0)}{S_0}$  и  $\sigma(S_0') = \sigma(S_0) - \sigma(h)$ , то

$$\sigma_0(S_1^V) = \sigma(S_0) \sqrt{4V + 9}. \quad (2.116)$$

Допуск замыкающего звена будет

$$\Delta_0(S_1^V) = 2t\sigma_0(S_1^V) = 2t\sigma(S_0) \sqrt{4V + 9} = \Delta_0(S_0) \sqrt{4V + 9}. \quad (2.117)$$

Допуски составляющих звеньев определяются по формуле

$$\Delta_0(S_0) = \frac{\Delta_0(S_1^V)}{\sqrt{4V + 9}} \quad \text{или} \quad \sigma(S_0) = \frac{\Delta_0(S_1^V)}{6\sqrt{4V + 9}}. \quad (2.118), (2.119)$$

Например, для  $\Delta_0(S_1^V) = 5$  см,  $S_0 = 3$  м,  $S_0' = 6$  м и  $V = 10$

$$\text{получим } \sigma(S_0) = \frac{\Delta_0(S_1^V)}{42}; \quad \sigma(\alpha) \approx 1',4 \quad \text{и} \quad \sigma(\beta) \approx 0',7.$$

Замыкающим может быть принято и другое звено, например  $S_3^V$ . Тогда, возвращаясь к размерной цепи  $1'2'3'4'$ , получим стандарты положения вершин ее в плане:

$$\sigma(1') = 0; \quad \sigma(2') = \sqrt{\sigma^2(S_2') + S_2^2 \sigma^2(\beta_1)};$$

$$\sigma(3') = \sqrt{\sigma^2(S_1') + \sigma^2(S_4') + S_4^2 \sigma^2(\beta_4)}; \quad \sigma(4') = \sigma(S_4').$$

Для  $\sigma(S_1') = \sigma(S_2') = \sigma(S_3') = \sigma(S_4') = \sigma(S_0')$  и  $\sigma(\beta_1) = \sigma(\beta_4) =$

$$= \sigma(\beta) S'_1 = S'_2 = S'_3 = S'_4 = S'_0 \text{ и } \sigma(\beta) = \frac{\sigma(S'_0)}{S'_0}. \quad (2.120)$$

Найдем

$$\begin{aligned} \sigma(1') &= 0; \quad \sigma(2') = \sigma(S'_0) \sqrt{2}; \\ \sigma(3') &= \sigma(S'_0) \sqrt{3} \text{ и } \sigma(4') = \sigma(S'_0). \end{aligned} \quad (2.121)$$

Стандарты положения вершин этой цепи по высоте будут:

$$\begin{aligned} \underline{\sigma}(1') &= 0; \quad \underline{\sigma}(2') = \sigma(h_{12}); \\ \underline{\sigma}(3') &= \sqrt{\sigma^2(h_{14}) + \sigma^2(h_{43})}; \quad \underline{\sigma}(4') = \sigma(h_{14}). \end{aligned} \quad (2.122)$$

Если  $\sigma(h_{12}) = \sigma(h_{14}) = \sigma(h_{43}) = \sigma(h)$ , то

$$\underline{\sigma}(1') = 0; \quad \underline{\sigma}(2') = \sigma(h); \quad \underline{\sigma}(3') = \sigma(h) \sqrt{2}; \quad \underline{\sigma}(4') = \sigma(h). \quad (2.123)$$

Стандарты замыкающего звена  $2'3'$  в плане и по высоте будут:

$$\begin{aligned} \sigma(S'_3) &= \sqrt{\sigma^2(2') + \sigma^2(3')} = \sqrt{2\sigma^2(S'_0) + 3\sigma^2(S'_0)} = \sigma(S'_0) \sqrt{5}; \\ \underline{\sigma}(S'_3) &= \sqrt{\underline{\sigma}^2(2') + \underline{\sigma}^2(3')} = \sqrt{\sigma^2(h) + 2\sigma^2(h)} = \sigma(h) \sqrt{3}. \end{aligned} \quad (2.124)$$

Общий стандарт замыкающего звена  $2'3'$  определяется по формуле

$$\sigma_0(S'_3) = \sqrt{\sigma^2(S'_3) + \underline{\sigma}^2(S'_3)} = \sqrt{5\sigma^2(S'_0) + 3\sigma^2(h)}. \quad (2.125)$$

В случае  $\sigma(h) = \sigma(S'_0)$  найдем

$$\sigma_0(S'_3) = \sigma(S'_0) \sqrt{8}. \quad (2.126)$$

Стандарты положения вершин цепи  $1'2'3'4'$  по высоте вычисляются по формулам (2.113):

$$\begin{aligned} \underline{\sigma}(1^V) &= \sqrt{\underline{\sigma}^2(1') + V\sigma^2(S_0)} = \sigma(S_0) \sqrt{V}; \\ \underline{\sigma}(2^V) &= \sqrt{\underline{\sigma}^2(2') + V\sigma^2(S_0)} = \sqrt{\sigma^2(h) + V\sigma^2(S_0)}; \\ \underline{\sigma}(3^V) &= \sqrt{\underline{\sigma}^2(3') + V\sigma^2(S_0)} = \sqrt{2\sigma^2(h) + V\sigma^2(S_0)}; \\ \underline{\sigma}(4^V) &= \sqrt{\underline{\sigma}^2(4') + V\sigma^2(S_0)} = \sqrt{\sigma^2(h) + V\sigma^2(S_0)}. \end{aligned} \quad (2.127)$$

Если  $\sigma(h) = \sigma(S'_0) = \sigma(S_0)$ , то

$$\begin{aligned}\underline{\sigma}(1^V) &= \sigma(S_0) \sqrt{V}, & \underline{\sigma}(2^V) &= \sigma(S_0) \sqrt{V+1}; \\ \underline{\sigma}(3^V) &= \sigma(S_0) \sqrt{V+2}; & \underline{\sigma}(4^V) &= \sigma(S_0) \sqrt{V+1}.\end{aligned}\quad (2.128)$$

Стандарты положения вершин цепи  $1'2'3'4'$  в плане будут:

$$\begin{aligned}\sigma(1^V) &= \sqrt{\sigma^2(1') + VS_0^2 \sigma^2(\alpha)} = S_0 \sigma(\alpha) \sqrt{V}; \\ \sigma(2^V) &= \sqrt{\sigma^2(2') + VS_0^2 \sigma^2(\alpha)} = \sqrt{2\sigma^2(S_0) + VS_0^2 \sigma^2(\alpha)}; \\ \sigma(3^V) &= \sqrt{\sigma^2(3') + VS_0^2 \sigma^2(\alpha)} = \sqrt{3\sigma^2(S_0) + VS_0^2 \sigma^2(\alpha)}; \\ \sigma(4^V) &= \sqrt{\sigma^2(4') + VS_0^2 \sigma^2(\alpha)} = \sqrt{\sigma^2(S_0) + VS_0^2 \sigma^2(\alpha)}.\end{aligned}\quad (2.129)$$

Для  $\sigma(\alpha) = \frac{\sigma(S_0)}{S_0}$  получим:

$$\begin{aligned}\sigma(1^V) &= \sigma(S_0) \sqrt{V}; & \sigma(2^V) &= \sigma(S_0) \sqrt{V+2}; \\ \sigma(3^V) &= \sigma(S_0) \sqrt{V+3}; & \sigma(4^V) &= \sigma(S_0) \sqrt{V+1}.\end{aligned}\quad (2.130)$$

Стандарты замыкающего звена  $S_3^V$  в плане и по высоте будут:

$$\begin{aligned}\sigma(S_3^V) &= \sqrt{\sigma^2(2^V) + \sigma^2(3^V)} = \sigma(S_0) \sqrt{2V+5}; \\ \sigma(S_3^V) &= \sqrt{\underline{\sigma}^2(2^V) + \underline{\sigma}^2(3^V)} = \sigma(S_0) \sqrt{2V+3}.\end{aligned}\quad (2.131)$$

Общий стандарт этого звена вычисляется по формуле

$$\sigma(S_3^V) = \sqrt{\sigma^2(S_3^V) + \underline{\sigma}^2(S_3^V)} = \sigma(S_0) \sqrt{4V+8}.\quad (2.132)$$

Дальнейший расчет допусков замыкающего и составляющих звеньев не представляет затруднений.

Выполним расчет сложной системы пространственных размерных цепей (рис. 2.13). Допустим, что все блоки этой системы аналогичны поэтажной системе пространственных размерных цепей, приведенной на рис. 2.12. Замыкающее звено такой системы может быть выбрано различно. Например, для подсчета допуска замыкающего звена  $S_3^V$  нужно вычислить допуски замыкающих звеньев  $S_1^V$  и  $S_2^V$  по первому и второму блокам цепи. Более целесообразно определить стандарты вер-

шни цепи  $A_1^V B^V C_1^V D^V$  и  $C^V D^V$ . Стандарты этих вершин цепи в плане будут:

$$\begin{aligned} \sigma(A^V) &= 0; \quad \sigma(B^V) = \sigma(S_0); \quad \sigma(C^V) = \sqrt{4\sigma^2(S_0) + 14\sigma^2(S_0)} = \\ &= \sigma(S_0)\sqrt{18}; \quad \sigma(D^V) = \sqrt{3\sigma^2(S_0) + 14\sigma^2(S_0)} = \sigma(S_0)\sqrt{17}; \quad (2.133) \\ \sigma(C^V) &= \sigma(S_0)\sqrt{18+V}; \quad \sigma(D^V) = \sqrt{17+V}. \end{aligned}$$

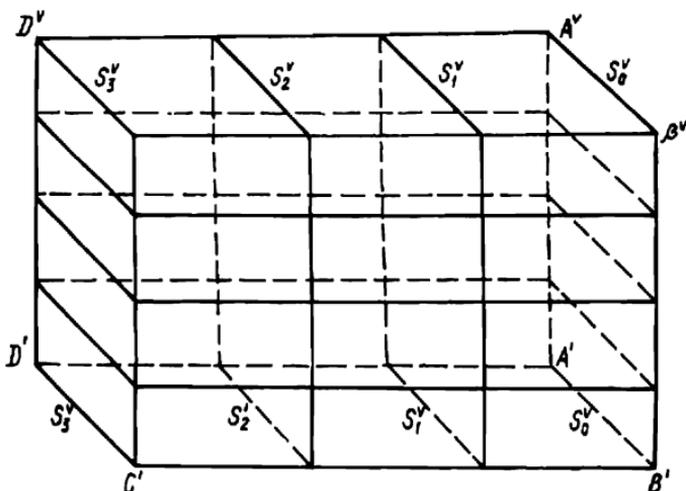


Рис. 2.13. Сложная система пространственных поэтажных размерных цепей.

Стандарты вершин цепи по высоте находим по формулам:

$$\begin{aligned} \underline{\sigma}(A^V) &= 0; \quad \underline{\sigma}(B^V) = \sigma(S_0); \quad \underline{\sigma}(C^V) = 2\sigma(S_0); \\ \underline{\sigma}(D^V) &= \sigma(S_0)\sqrt{3}; \quad \underline{\sigma}(C^V) = \sigma(S_0)\sqrt{4+V}; \quad (2.134) \\ \underline{\sigma}(D^V) &= \sigma(S_0)\sqrt{3+V}. \end{aligned}$$

Общие стандарты вершин замыкающего звена будут:

$$\sigma_0(C^V) = \sigma(S_0)\sqrt{22+2V}; \quad \sigma_0(D^V) = \sigma(S_0)\sqrt{20+2V}. \quad (2.135)$$

Общий стандарт замыкающего звена приобретает следующий вид:

$$\sigma_0(S_3^V) = \sigma(S_0)\sqrt{4V+42}. \quad (2.136)$$

## ГЛАВА 3. НОРМЫ ТОЧНОСТИ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ РАЗБИВОЧНЫХ РАБОТ

### 3.1. Расчет точности пространственной разбивочной основы

Расчет точности пространственной разбивочной основы здания или сооружения выполняется на основе формул, полученных в (2.5) и (2.6). Учитывая, что при проектировании современных жилищно-гражданских и промышленных сооружений применяются унифицированные объемно-планировочные параметры (в промышленных зданиях приняты шаги 6, 12 м и пролеты 6, 12, 18, 24, 36 м, а в жилых зданиях шаги 2, 6, 3, 3, 2, 6 м и пролеты 6 м), формулу для расчета допуска замыкающего звена системы пространственных размерных цепей прямоугольного вида можно представить как

$$\Delta_{S'} < 2\Delta_{S_0} \sqrt{2l^2 + k^2 + n}, \quad (3.1)$$

где  $\Delta_{S_0}$  — допуск составляющего звена размерной цепи, выбираемый обычно по СНиП;  $l$  — число шагов вдоль продольной оси сооружения;  $k$  — число шагов вдоль поперечной оси сооружения;  $n$  — число этажей или ярусов.

Допуск  $\Delta_{S'}$  имеет вероятностный характер и зависит от допусков на изготовление сборных элементов, на производство разбивочных и строительно-монтажных работ и деформационных сдвигов. Обозначив их соответственно через  $\Delta_n$ ,  $\Delta_p$ ,  $\Delta_m$  и  $\Delta_d$ , можно написать

$$\Delta_{S'} < \sqrt{\Delta_n^2 + \Delta_p^2 + \Delta_m^2 + \Delta_d^2}. \quad (3.2)$$

Дальнейший расчет заключается в определении численного значения  $\Delta_p$ . Величины  $\Delta_n$ ,  $\Delta_m$  и  $\Delta_d$  неизвестны, поэтому прибегают к различным искусственным приемам. Так, применяют принципы равного влияния подкоренных компонентов или ничтожного влияния одной из них.

В первом случае полагают  $\Delta_n = \Delta_p = \Delta_m = \Delta_d$  и тогда

$$\Delta_p < \frac{\Delta_{S'}}{2} = \Delta_{S_0} \sqrt{2l^2 + k^2 + n}. \quad (3.3)$$

Во втором случае считают, что влияние одной из подкоренных компонент ничтожно мало, если она изменяет значение функ-

ции не более чем на 5% ее величины. При этом значения  $\Delta_n$ ,  $\Delta_m$  и  $\Delta_d$  задаются заранее. Тогда

$$\Delta_p < \sqrt{1,10\Delta_{S'}^2 - (\Delta_n^2 + \Delta_m^2 + \Delta_d^2)} = \\ = \sqrt{1,10\Delta_{S_0}^2 (2l^2 + k + n) - (\Delta_n^2 + \Delta_m^2 + \Delta_d^2)}. \quad (3.4)$$

Формулы (3.3) и (3.4) дают весьма приближенные результаты. Для более точного определения величины  $\Delta_p$  необходимо установить соотношение  $\frac{\Delta_p}{\Delta_n}$ ,  $\frac{\Delta_p}{\Delta_m}$  и  $\frac{\Delta_p}{\Delta_d}$ . Задача эта довольно сложная, так как указанные соотношения зависят от стабильности точностных характеристик технологических процессов возведения сборных сооружений. Решается она путем вероятностно-статистических исследований точности технологических процессов. Для сборных жилищно-гражданских и промышленных сооружений эти соотношения, полученные при обработке весьма обширных статистических рядов, оказались равными

$$\frac{\Delta_p}{\Delta_n} = \frac{1}{3}; \quad \frac{\Delta_p}{\Delta_m} = \frac{\Delta_p}{\Delta_d} = \frac{1}{2}. \quad (3.5)$$

Пользуясь отношениями (3.5), можно написать

$$\Delta_p < \frac{\Delta_{S'}}{3\sqrt{2}} = \frac{\Delta_{S_0} \sqrt{2(2l^2 + k + n)}}{3}. \quad (3.6)$$

Величина  $\Delta_p$  является допуском на все виды геодезических измерений, выполняемых при строительстве жилых или промышленных зданий. Для определения допуска на производство каждого вида разбивки рассматривают совокупность последовательно выполняемых разбивок и устанавливают соотношение их точности. Так, при строительстве жилых или гражданских крупнопанельных зданий общий допуск  $\Delta_p$  состоит из допусков: на установку сборных элементов относительно монтажных рисок  $\Delta_1$ ; на определение риск относительно монтажных осей  $\Delta_2$ ; на разбивку монтажных осей  $\Delta_3$ ; на проектирование пунктов пространственной геодезической сети относительно базисной фигуры  $\Delta_4$  и на определение координат пунктов базисной фигуры  $\Delta_5$ . Следовательно,

$$\Delta_p = \sqrt{\Delta_1^2 + \Delta_2^2 + \Delta_3^2 + \Delta_4^2 + \Delta_5^2}. \quad (3.7)$$

Соотношения  $\frac{\Delta_5}{\Delta_1}$ ;  $\frac{\Delta_5}{\Delta_2}$ ;  $\frac{\Delta_5}{\Delta_3}$  и  $\frac{\Delta_5}{\Delta_4}$  устанавливаются по технико-экономическим соображениям. Измерения при построении базисной фигуры пространственной сети выполняются, как правило, с наиболее высокой точностью. С достаточно высокой точностью осуществляется также проектирование координат пунктов базисной фигуры на монтажные горизонты. Доминирующей из подкоренных величин в формуле (3.7) является  $\Delta_1$ . Допуски  $\Delta_2$  и  $\Delta_3$  примерно одинаковы по величине. Во всяком случае представляются целесообразными и практически приемлемыми следующие соотношения:

$$\frac{\Delta_5}{\Delta_1} = \frac{1}{3} ; \quad \frac{\Delta_5}{\Delta_2} = \frac{1}{2\sqrt{k}} ;$$

$$\frac{\Delta_5}{\Delta_3} = \frac{1}{2\sqrt{l}} \quad \text{и} \quad \frac{\Delta_5}{\Delta_4} = \frac{1}{2\sqrt{n}} . \quad (3.8)$$

На основании формул (3.6), (3.7) и (3.8) можно получить формулы для расчета допусков на построение пространственной разбивочной основы и на производство отдельных видов детальных разбивок:

$$\Delta_1 < \frac{\Delta_{S_0} \sqrt{2l^2 + k^2 + n}}{\sqrt{5 + 2(l + k + n)}} ; \quad \Delta_2 < \frac{\Delta_{S_0} \sqrt{2kl^2 + k^3 + kn}}{\sqrt{5 + 2(l + k + n)}} ;$$

$$\Delta_3 < \frac{2}{3} \frac{\Delta_{S_0} \sqrt{2l^3 + k^2l + nl}}{\sqrt{5 + 2(l + k + n)}} ; \quad \Delta_4 < \frac{2}{3} \frac{\Delta_{S_0} \sqrt{2nl^2 + k^2n + n^2}}{\sqrt{5 + 2(l + k + n)}} ;$$

$$\Delta_5 < \frac{\Delta_{S_0} \sqrt{2l^2 + k^2 + n}}{3\sqrt{5 + 2(l + k + n)}} . \quad (3.9)$$

Полученные формулы применимы и для расчета точности разбивочных работ при строительстве промышленных сооружений. Однако в этом случае допуски  $\Delta_1$ ,  $\Delta_2$ ,  $\Delta_3$ ,  $\Delta_4$  и  $\Delta_5$  будут иметь следующее назначение:  $\Delta_1$ ,  $\Delta_2$  — допуски на установку колонн по высоте и по вертикали;  $\Delta_3$  — на фиксацию колонн вдоль продольных и поперечных осей;  $\Delta_4$  — на проектирование пунктов базисной фигуры на ярусы;  $\Delta_5$  — допуск на определение координат пунктов базисной фигуры. Для гражданских сооружений, имеющих цилиндрическую форму (павильоны, крытые рынки, гаражи, дворцы спорта и т. д.), формулы (3.9) можно представить в следующем виде:

$$\Delta_1 < \frac{\Delta_{S_0} \sqrt{l+n-1}}{2,13 \sqrt{5+l+n}}; \quad \Delta_2 < \frac{\Delta_{S_0} \sqrt{l^2+ln-l}}{4,26 \sqrt{5+l+n}}; \quad (3.10)$$

$$\Delta_3 < \frac{\Delta_{S_0} \sqrt{ln+n^2-n}}{4,26 \sqrt{5+l+n}}; \quad \Delta_4 < \frac{\Delta_{S_0} \sqrt{l+n-1}}{4,26 \sqrt{5+l+n}};$$

где  $\Delta_1, \Delta_2$  — допуски разбивки установочных рисок относительно монтажных осей и разбивки монтажных осей;  $\Delta_3$  — допуск проектирования пунктов опорной разбивочной основы на монтажные ярусы;  $\Delta_4$  — допуск определения пунктов опорной разбивочной основы.

Структура этих формул зависит от типа сборного сооружения, его размерных взаимосвязей и вида размерной цепи.

Существуют различные подходы к решению вопроса о расчете точности пространственной разбивочной основы и детальных разбивочных работ. Предлагаемая методика отличается тем, что предусматривает производство практически равнозначных измерений на всех монтажных горизонтах.

### 3.2. Расчет точности базисных фигур пространственной разбивочной основы

Разбивочной основой при строительстве сборных сооружений служат пространственные сети. Точность определения положения пунктов таких сетей обуславливается допуском на установку сборного элемента в проектное положение, геометрическими свойствами геодезических построений и способом уравнивания их базисных фигур.

Базисные фигуры пространственных сетей по своей форме повторяют конфигурацию сооружения и состоят в основном из типовых фигур триангуляции. Исключение могут составить базисные фигуры сложных по конфигурации высотных сборных сооружений, требующих высокой точности монтажа элементов.

Построение базисных фигур выполняется методами триангуляции и трилатерации. Возможно также совместное использование этих методов.

Для правильной организации производства угловых и линейных измерений выполняется расчет их точности. Используемые для этой цели формулы для оценки точности элементов государственных триангуляционных сетей дают сильно искаженные результаты. Подобное явление объясняется тем, что условия накопления погрешностей в больших государственных

и малых инженерных сетях, какими являются базисные фигуры, не одинаковы. Кроме того, упомянутые формулы не отражают конструктивных особенностей возводимых сооружений (размеры и этажность; технология монтажа сборных элементов; расположение элементов, несущих основную нагрузку и т. д.).

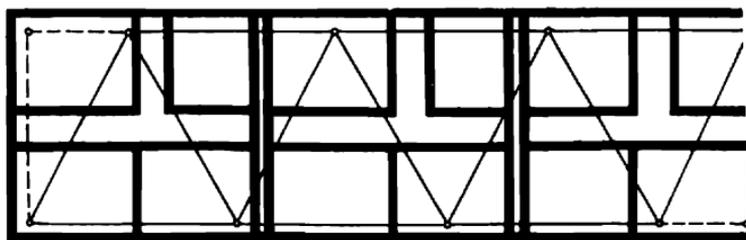


Рис. 3.1. Базисная фигура — ряд треугольников.

Использование же классических методов, как известно, связано с довольно трудоемкими вычислениями.

Рассмотрим методику расчета допусков на производств угловых и линейных измерений в базисных фигурах, построенных из типовых геодезических фигур. Выполним такой расчет для наиболее часто применяемых в практике высотного сборного строительства типов базисных фигур с учетом конструктивных особенностей возводимых сооружений и допусков на установку сборных элементов в проектное положение. Рассмотрим следующие типичные случаи.

**Триангуляция.** 1. Базисная сеть состоит из ряда равнобедренных треугольников (рис. 3.1). Такая базисная фигура применяется при строительстве высотных многосекционных крупнопанельных зданий. Если габаритный размер здания  $l$  по продольной оси равен  $S_0 l$ , а по поперечной оси  $S_0 k$ , то длины стороны треугольника и число фигур в ряду будут соответственно равны

$$a = b = c = \frac{2S_0 k}{\sqrt{3}} . \quad (3.1)$$

Здесь  $S_0$  — размер сборного элемента в плане (шаг панели),  $k$  — количество панелей, монтируемых вдоль поперечной оси

С учетом принятых обозначений допуск на производство угловых измерений при  $\rho=0,95$  можно вычислить по формулам:

а) для зданий с поперечными несущими стенами

$$\Delta_{\beta} = \frac{0,22\Delta_{S_0} \rho \sqrt{2l^3 + k^2l + nl}}{S_0 l \sqrt{(2,5 + l + k + n)(3l^2 \pm 2,6lk + 5k^2)}} ; \quad (3.12)$$

б) для зданий с продольными несущими стенами

$$\Delta_{\beta} = \frac{0,20\Delta_{S_0} \rho \sqrt{2l^2k + k^3l + nlk}}{S_0 l \sqrt{(2,5 + l + k + n)(0,75l^2 + 0,87lk + 3k^2)}} , \quad (3.13)$$

если число треугольников нечетное, и

$$\Delta_{\beta} = \frac{0,24\Delta_{S_0} \rho \sqrt{2l^3k + k^3l + nlk}}{S_0 l \sqrt{(2,5 + l + k + n)(l^2 + 2,89lk + 3,34k^2)}} , \quad (3.14)$$

если число треугольников ряда четное.

В приведенных формулах  $\Delta_{S_0}$  — допуск на установку сборного элемента в проектное положение;  $n$  — число этажей здания. При четном числе треугольников в ряду знак произведения  $2,6lk$  — положительный, при нечетном — отрицательный.

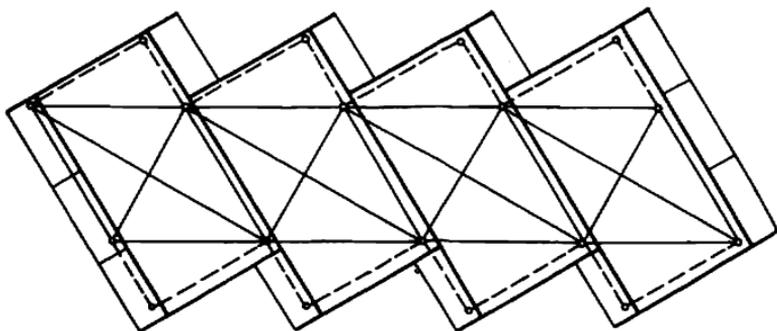


Рис. 3.2. Базисная фигура — ряд ромбов.

2. Базисная фигура состоит из ряда равносторонних ромбов с диагоналями (рис. 3.2). Такая фигура, как и предыдущая, наиболее часто применяется при строительстве многосекционных крупнопанельных зданий. Формулы для расчета точ-

ности измерения углов здесь также получены из условия, что  $a=b=c=d=\frac{2S_0k}{\sqrt{3}}$ .

Они имеют следующий вид:

а) для зданий с поперечными несущими стенами

$$\Delta_{\beta} = \frac{0,28\Delta_{S_0} \rho \sqrt{2l^3 + k^3l + nl}}{S_0l \sqrt{(2,5 + l + k + n)(3l^2 \pm 2,6lk + 5k^2)}} ; \quad (3.15)$$

б) для зданий с продольными несущими стенами

$$\Delta_{\beta} = \frac{0,24\Delta_{S_0} \rho \sqrt{2l^3k + k^3l + nlk}}{S_0l \sqrt{(2,5 + l + k + n)(0,75l^2 + 0,87lk + 3k^2)}} , \quad (3.16)$$

если число связующих треугольников нечетное, и

$$\Delta_{\beta} = \frac{0,30\Delta_{S_0} \rho \sqrt{2l^3k + k^3l + nlk}}{S_0l \sqrt{(2,5 + l + k + n)(l^2 + 2,89lk + 3,34k^2)}} , \quad (3.17)$$

если число связующих треугольников четное.

3. Базисная фигура состоит из ряда сопряженных центральных систем (рис. 3.3.).

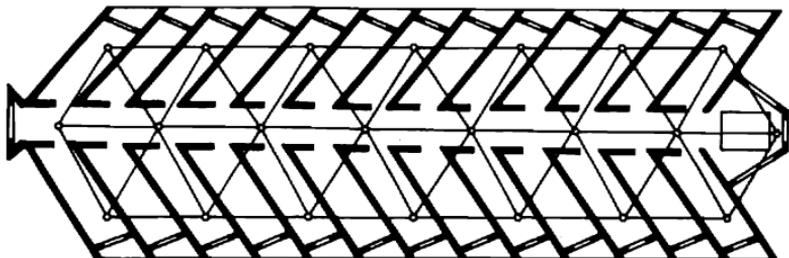


Рис. 3.3. Базисная фигура — ряд сопряженных центральных систем.

Такие системы применяются при строительстве сборных промышленно-гражданских зданий, имеющих значительные размеры и несколько параллельных между собой рядов несущих конструкций.

Формулы для расчета допусков на производство угловых измерений в этой системе получены из условия  $a = \frac{S_0 k}{\sqrt{3}}$ ,  $p = \frac{l\sqrt{3}}{k}$  и имеют следующий вид:

а) для зданий с поперечными несущими стенами

$$\Delta_{\beta} = \frac{0,14\Delta_{S_0} \rho \sqrt{2l^2k + k^3 + nk}}{S_0 \sqrt{(2,5 + l + k + n)(2,6l^3 - 7,8k^2l - 5k^3)}} ; \quad (3.18)$$

б) для зданий с продольными несущими стенами

$$\Delta_{\beta} = \frac{0,14\Delta_{S_0} \rho \sqrt{2l^2k + k^3 + nk}}{S_0 \sqrt{(2,5 + l + k + n)(0,06l^3 + 0,34l^2k + 0,06lk^2 + 1,29k^3)}} . \quad (3.19)$$

Для гражданских или промышленных сооружений, имеющих цилиндрическую форму, в качестве базисной фигуры пространственной разбивочной основы удобно выбрать центральную систему. Расчет допустимых погрешностей угловых измерений выполняется по формуле

$$\Delta_{\beta} < \frac{\Delta_{S_0} \rho \sqrt{l + n - 1}}{8,8R \sqrt{5 + l + n}} . \quad (3.20)$$

Метод триангуляции при построении базисных фигур пространственных сетей обеспечивает быстроту и мобильность измерений. Однако его широкое применение связано с определенными трудностями. Объясняется это тем, что погрешности центрирования и редукции при визировании по коротким сторонам фигуры, а также специфические рефракционные условия наблюдений сильно снижают возможности прецизионных оптических теодолитов. Поэтому в большинстве случаев построение базисных фигур выполняется методом трилатерации. Используются для этой цели компарированные стальные рулетки или ленты с миллиметровыми делениями, а в особо ответственных случаях — базисные приборы. Рассмотрим формулы, которые могут быть использованы для расчета допусков на производство линейных измерений в этих сетях.

**Трилатерация. 1. Базисная фигура** состоит из ряда равно-сторонних треугольников. Для вычисления допустимых погрешностей измерения линий такой сети могут быть использованы следующие формулы:

а) для зданий с поперечными несущими стенами

$$\Delta_S = \frac{0,14\Delta_{S_0} \sqrt{2l^2k + k^3 + nk}}{\sqrt{(0,75l^2 - k^2)(2,5 + l + k + n)}} ; \quad (3.21)$$

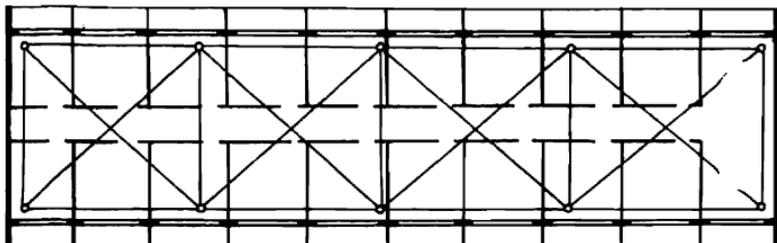


Рис. 3.4. Базисная фигура — ряд геодезических квадратов.

б) для зданий с продольными несущими стенами

$$\Delta_S = \frac{0,34\Delta_{S_0} \sqrt{2l^2k + k^3 + nk}}{\sqrt{(0,87l - k)(0,75l^2 + 0,43l + 24k)(2,5 + l + k + n)}} . \quad (3.22)$$

2. Базисная фигура состоит из ряда геодезических квадратов (рис. 3.4). Такие сети применяются при строительстве мало-секционных (2—3) крупнопанельных зданий, у которых число панелей, монтируемых вдоль продольной и поперечной осей внутри секции, примерно одинаково. Формулы для расчета допустимых погрешностей линейных измерений в этих сетях получены из условия  $a=b=S_0k$  и имеют следующий вид:

а) для зданий с поперечными несущими стенами

$$\Delta_S = \frac{0,08\Delta_{S_0} \sqrt{2l^2k + k^3 + nk}}{\sqrt{l(2,5 + l + k + n)}} ; \quad (3.23)$$

б) для зданий с продольными несущими стенами

$$\Delta_S = \frac{0,10\Delta_{S_0} k \sqrt{2l^2k + k^3 + nk}}{\sqrt{(l^3 - 0,19l^2k + 1,46k^2 + 2,12k^3)(2,5 + l + k + n)}} . \quad (3.24)$$

3. Базисная фигура состоит из ряда геодезических четырехугольников прямоугольной формы с продвигом от 0,5 до 2,5

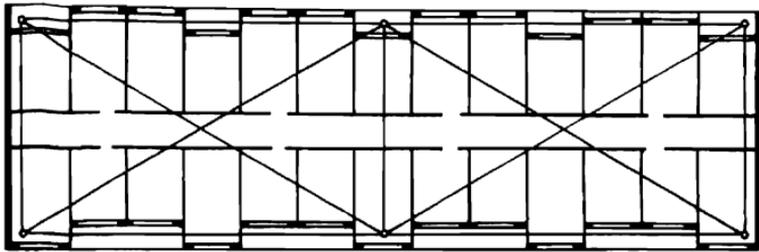


Рис. 3.5. Базисная фигура — ряд геодезических четырехугольников.

(рис. 3.5). Такие сети удобно применять в тех случаях, когда число элементов, монтируемых внутри секции вдоль продольной оси здания, в несколько раз (2—3) больше числа элементов, монтируемых вдоль поперечной оси, и работой крана захватывается монтажный участок в пределах одной секции. Обычно указанные условия наблюдаются при строительстве многосекционных промышленных и жилищно-гражданских сборных зданий.

Формулы для вычисления допустимой погрешности измерения линий в этих сетях получены из условий, что  $a = S_0 k$ ,  $f = \frac{l}{pk}$ , где  $p$  — число четырехугольников в ряду;  $f$  — продвиг фигуры. Эти формулы имеют следующий вид:

а) для зданий с поперечными несущими стенами

$$\Delta_S = \frac{0,12 \Delta_{S_0} k \sqrt{2pl^2 + pk^2 + pn}}{(pk - 0,1l) \sqrt{2,5 + l + k + n}}; \quad (3.25)$$

б) для зданий с продольными несущими стенами

$$\Delta_S = \frac{0,20 \Delta_{S_0} k \sqrt{2l^2 + k^2 + n}}{\sqrt{p(l^2 - 0,19pk^2 + 5,28k^2)(2,5 + l + k + n)}}. \quad (3.26)$$

Необходимо отметить, что формулы (3.24) и (3.25) дают верные результаты при значениях  $p \geq 3$ . При  $p < 3$  результаты вычислений по этим формулам будут завышены приблизительно на 35%.

4. Базисная фигура состоит из ряда смежных центральных систем (рис. 3.6). Такую систему можно применять при строи-

Рис. 3.6. Базисная фигура — ряд смежных центральных систем.

тельстве высотных гражданских зданий, имеющих форму полукруга или двулестника, а также во всех тех случаях, когда особенности технологического процесса монтажа требуют большого количества опорных точек на монтажном горизонте.

Допустимая погрешность измерения сторон такой системы может быть вычислена по формулам:

- а) для зданий с поперечными несущими стенами

$$\Delta_S = \frac{0,08\Delta_{S_0} \sqrt{2l^2k + k^3 + nk}}{\sqrt{l(1,25 + l + k + n)}}; \quad (3.27)$$

- б) для зданий с продольными несущими стенами

$$\Delta_S = \frac{0,12\Delta_{S_0} k \sqrt{2l^2k + k^3 + nk}}{\sqrt{(2,5 + l + k + n)(0,06l^3 - 0,12l^2k + 0,07lk^2 + 0,82k^3)}}. \quad (3.28)$$

5. Базисная фигура состоит из ряда сопряженных центральных систем. Для расчета допустимой погрешности измерения сторон такой системы можно воспользоваться формулами:

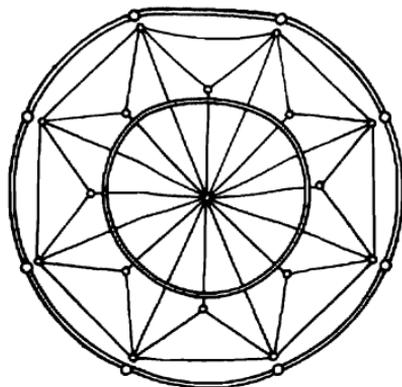
- а) для зданий с поперечными несущими стенами

$$\Delta_S = \frac{1,48\Delta_{S_0} \sqrt{2l^2k + k^3 + kn}}{\sqrt{2,5 + l + k + n}}; \quad (3.29)$$

- б) для зданий с продольными несущими стенами

$$\Delta_S = \frac{0,08\Delta_{S_0} k \sqrt{2l^2k + k^3 + kn}}{\sqrt{(2,5 + l + k + n)(l^2 + 2,88l^2k + 1,35lk^2)}}. \quad (3.30)$$

6. Базисная фигура сборного сооружения цилиндрической формы представляет собой центральную систему (рис. 3.7).



Допустимая погрешность линейных измерений в такой системе определяется по формуле

$$\Delta_S = \frac{\Delta_{S_0} \sqrt{l+n-1}}{9,52 \sqrt{5+l+n}} \quad (3.31)$$

Нередко к точности монтажа сборных сооружений, имеющих цилиндрическую форму, предъявляются чрезвычайно высокие

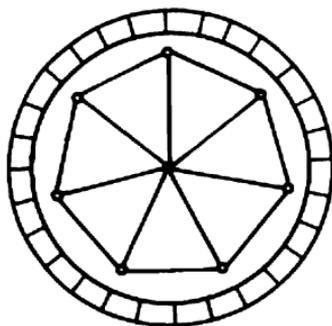


Рис. 3.7. Базисная фигура — центральная система с полюсом в центре сооружения.

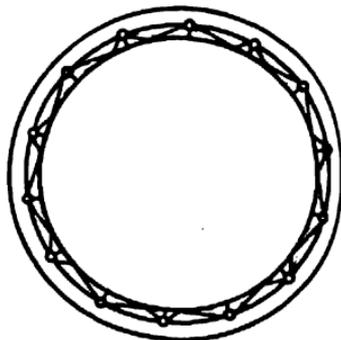


Рис. 3.8. Базисная фигура — кольцевая цепочка вытянутых треугольников.

требования. В таких случаях базисную фигуру пространственной разбивочной основы целесообразно создавать в виде кольцевой цепочки вытянутых треугольников с измеренными высотами (рис. 3.8).

Так как высоты таких треугольников не превышают 1 м и могут быть измерены с весьма высокой точностью при помощи женеvских линеек, то погрешности их измерения можно считать ничтожными по сравнению с погрешностями измерения сторон. В этом случае допустимые погрешности измерения сторон и высот треугольников рассчитываются по формулам:

$$\Delta_S < \frac{\Delta_{S_0} \sqrt{l+n-1}}{6,65 \sqrt{5+l+n}} ; \quad \Delta_h < \frac{\Delta_{S_0} \sqrt{l+n-1}}{21,05 \sqrt{5+l+n}} \quad (3.32)$$

Линейно-угловые сети применяются при строительстве особо важных высотных сооружений, требующих высокой точности монтажа сборных элементов. Базисные фигуры пространственных сетей, создаваемые в виде линейно-угловых систем, как

правило, имеют большое количество дополнительных связей и весьма сложны и многообразны по форме. Готовые формулы для оценки точности элементов этих систем имеют громоздкий вид.

Наиболее простыми из них являются формулы для вычисления допустимых погрешностей измерения углов и линий ряда равнобедренных треугольников. Эти формулы получены при условии, что  $a=b=c=\frac{2S_0k}{\sqrt{3}}$ ,  $\frac{m_\beta t}{\rho} = \frac{m_S}{S}$ , и имеют следующий вид:

а) для зданий с поперечными несущими стенами

$$\Delta_\beta < \frac{0,38\Delta_{S_0} \rho \sqrt{(2l^2k + k^3 + nk)(3t^2 + 1)}}{S_0k \sqrt{(2,5 + l + k + n)(0,87l + 3k)(6t^2 + 1)(2t^2 + 1)}};$$

$$\Delta_S < \frac{0,44\Delta_{S_0} \sqrt{(2l^2k + k^3 + nk)(3t^2 + 1)}}{\sqrt{(2,5 + l + k + n)(0,87l + 3k)(6t^2 + 1)(2t^2 + 1)}}; \quad (3.33)$$

б) для зданий с продольными несущими стенами

$$\Delta_\beta < \frac{0,67\Delta_{S_0} \rho \sqrt{2l^2k + k^3 + nk}}{S_0 \sqrt{(2,5 + l + k + n)(0,87l + k)(72t^2k^2 + l^2 - 1,15lk)}};$$

$$\Delta_S < \frac{0,78\Delta_{S_0} tk \sqrt{2l^2k + k^3 + nk}}{\sqrt{(2,5 + l + k + n)(0,87l + k)(72t^2k^2 + l^2 - 1,15lk)}}. \quad (3.34)$$

При расчете точности измерения углов и линий в линейно-угловых базисных фигурах при условии  $\frac{m_\beta}{\rho} = \frac{m_S}{S}$  могут иметь место случаи, когда необходимая точность измерения углов достигается теодолитами средней точности, в то время как требования к точности линейных измерений могут быть удовлетворены только с помощью прецизионных мерных приборов. Такое несоответствие можно ликвидировать некоторым снижением точности линейных измерений за счет повышения точности угловых. Эту роль выполняет коэффициент  $t$ .

Вычисления по формулам (3.34) и (3.35) рекомендуется выполнять при значении  $t=1$ . Если полученные результаты окажутся неприемлемыми в практическом отношении, то вычисления следует повторить при значениях  $t=2$  или  $t=3$ .

Все предлагаемые формулы обеспечивают выполнение допустимых погрешностей с точностью до 0,01 мм, что вполне достаточно для решения вопросов организации и производства геодезических разбивочных работ в жилищно-гражданском и промышленном строительстве.

### 3.3. Расчет точности детальных разбивочных работ

Разбивка осей и характерных точек зданий и сооружений в плане выполняется различными способами. Выбор способа разбивки зависит от места расположения здания или сооружения, его формы и размеров, требуемой точности разбивки, технологии возведения, удаленности опорных плановых пунктов, наличия инструментов и т. д.

Способ полярных координат применяют в тех случаях, когда имеется возможность непосредственного измерения расстояния до определяемой точки одним уложением мерной ленты (проволоки, рулетки). Точка сооружения определяется на местности путем построения проектного угла  $\beta$  и отложения проектного расстояния  $S$  (рис. 3.9). Таким образом, погрешность раз-

бивки зависит от погрешностей построения величин  $\beta$  и  $S$  и будет

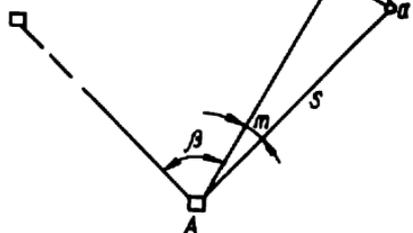


Рис. 3.9. Способ полярных координат.

$$m_a = \sqrt{m_s^2 + m_\beta^2 \frac{S^2}{\rho^2}}. \quad (3.35)$$

Используя принцип равного влияния отдельных источников погрешностей, принимают

$$m_s = \frac{S}{\rho} m_\beta = m. \quad (3.36)$$

$$\text{Тогда } m_a = m \sqrt{2}. \quad (3.37)$$

$$\text{Следовательно, } m_\beta < \frac{m_a \rho}{S \sqrt{2}} \text{ и } m_s < \frac{m_a}{\sqrt{2}}. \quad (3.38)$$



Пользуясь принципом равного влияния отдельных источников погрешностей, можно определить значения подкоренных величин в выражении (3.43) по формулам:

$$m_x = \frac{m_0}{\sqrt{3}}; \quad m_y = \frac{m_0}{\sqrt{3}}; \quad m_\beta = \frac{\rho m_0}{S_2 \sqrt{3}}. \quad (3.44)$$

Допуски этих величин при детальной разбивке сборных сооружений прямоугольной формы (панельные, каркасные, каркасо-панельные) вычисляются по формулам:

$$\Delta_\beta < \frac{\rho \Delta_{S_0} \sqrt{2l^2k + k^3 + nk}}{3,68 S_2 \sqrt{2,5 + l + k + n}}; \quad (3.45)$$

$$\Delta_x = \Delta_y < \frac{\Delta_{S_0} \sqrt{2l^2k + k^3 + nk}}{3,68 \sqrt{2,5 + l + k + n}},$$

а для сооружений цилиндрической формы

$$\Delta_\beta < \frac{\rho \Delta_{S_0} \sqrt{l + n - 1}}{3,68 S_2 \sqrt{5 + l + n}}; \quad (3.46)$$

$$\Delta_x = \Delta_y < \frac{\Delta_{S_0} \sqrt{l + n - 1}}{3,68 \sqrt{5 + l + n}}.$$

Способ прямой угловой засечки применяется для разбивки точек сооружений, значительно удаленных от пунктов разбивочной основы. Как правило, в таких случаях непосредственное измерение расстояний от опорных пунктов до определяемой точки либо невозможно, либо затруднительно. Заключается этот способ в том, что положение точки *C* (рис. 3.11) определяется путем построения на местности проектных углов  $\alpha$  и  $\beta$ .

Допустимая погрешность отложения углов  $\alpha$  и  $\beta$  определяется по формуле

$$\Delta_\beta = \frac{\Delta_{S_0} \rho \sin \gamma \sqrt{2l^2k + k^3 + nk}}{2,12 \sqrt{(a+b)(2,5 + l + k + n)}}. \quad (3.47)$$

если сборное сооружение имеет прямоугольную форму, и по

$$\Delta_\beta < \frac{\Delta_{S_0} \rho \sin \gamma \sqrt{l + n - 1}}{2,12 \sqrt{(a+b)(5 + l + n)}}, \quad (3.48)$$

если сооружение имеет круглую форму.

Способ линейной засечки заключается в том, что положение точки  $C$  (рис. 3.12) на местности определяется пересечением дуг радиусами  $a$  и  $b$  точек  $A$  и  $B$  соответственно. Расстояния  $a$  и  $b$  не должны превышать длины мерной рулетки.

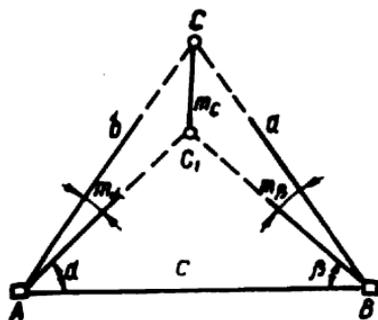


Рис. 3.11. Способ прямой угловой засечки.

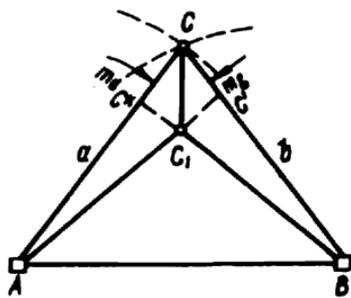


Рис. 3.12. Способ линейной засечки.

Допустимая погрешность отложения расстояний  $a$  и  $b$  может быть вычислена по формуле

$$\Delta_{a,b} < \frac{\Delta_{S_0} \sin \gamma \sqrt{2l^2k + k^3 + nk}}{3\sqrt{2,5 + l + k + n}} \quad (3.49)$$

для сооружений прямоугольной формы и

$$\Delta_{a,b} < \frac{\Delta_{S_0} \sin \gamma \sqrt{l + n - 1}}{3\sqrt{5 + l + n}} \quad (3.50)$$

для сооружений цилиндрической формы.

Способ створной засечки заключается в том, что положение разбиваемой точки определяется на местности пересечением двух линий, полученных визированием по створам, закрепленным на местности (рис. 3.13).

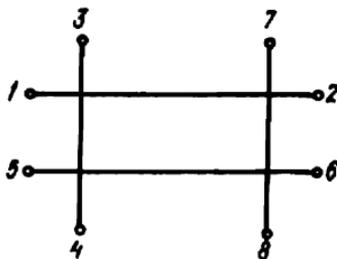


Рис. 3.13. Способ створной засечки.

Допустимая погрешность построения створа при детальной азбивке сборных сооружений прямоугольной формы будет

$$\text{ств} < \frac{\Delta_{S_0} x_2 y_4 \sqrt{2l^2k + k^3 + nk}}{3\sqrt{(2,5 + l + k + n)(2x_2^2 y_4^2 + x_2^2 y_2^2 + x_4^2 y_4^2)}} \quad (3.51)$$

а для сооружений цилиндрической формы

$$\Delta_{\text{ств}} < \frac{\Delta_{S_0} x_2 y_4 \sqrt{l + n - 1}}{3\sqrt{(5 + l + n)(2x_2^2 y_4^2 + x_2^2 y_2^2 + x_4^2 y_4^2)}} \quad (3.52)$$

В формулах (3.51) и (3.52)  $x_2, y_2$  и  $x_4, y_4$  являются координатами точек 2 и 4 створных линий, заданных в системе координат сооружения.

## ГЛАВА 4. ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ПОДЗЕМНОЙ ЧАСТИ ЖИЛИЩНО-ГРАЖДАНСКИХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

### 4.1. Разбивочные работы при устройстве котлованов

Перенесение контура котлована на местность осуществляется от главных осей здания, закрепленных на местности постоянными геодезическими знаками. Для этой цели от точки  $O$  пересечения главных осей (рис. 4.1) вдоль продольной оси откладывают проектные расстояния  $l$ , вдоль поперечной —  $S$ .

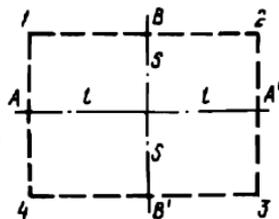


Рис. 4.1. Разбивка контура котлована.

В результате на местности определяется положение точек  $A, A'$  и  $B, B'$ . Расстояния  $l$  и  $S$  откладывают на спланированной площадке или ватерпасовкой. В противном случае необходимо учитывать уклон откладываемой линии и вводить соответствующую поправку. Затем последовательно в пунктах  $A, B, A', B'$  устанавливают теодолит и построением прямых углов определяют на местности направления габаритных осей. Точки пересечения их закрепляют на местности кольями.

Правильность построения прямоугольника, вынесенными на местность габаритными осями, контролируют измерением всех его сторон и углов. Если углы прямоугольника не равны  $90^\circ$ , а стороны его не соответствуют проектным то за исходную принимают одну из крайних точек продольной габаритной оси и смещают конечную точку ее так, чтобы расстояние между ними соответствовало проектному.

Затем в полученных точках устанавливают теодолит и измеряют углы на конечные точки второй продольной габаритной оси. Если измеренные углы не будут соответствовать  $90^\circ$ , конечные точки второй продольной оси смещают на величину

$$\Delta x = \frac{2l \cdot \Delta_{\alpha}}{\rho''}, \quad (4)$$

где  $2l$  — расстояние между продольными осями;  $\Delta_{\alpha}$  — отклонение контрольного угла от  $90^\circ$ .

В редуцированных точках повторно измеряют расстояния а также углы между ними. После разбивки и закрепления крайних продольных и поперечных осей отложением вдоль проектных расстояний определяют на местности положение промежуточных осей. Промежуточные оси выносят на местность не все. Практически достаточно на каждую секцию выносить по две крайние продольные и поперечные оси и по одной средней.

Так как при возведении надземной части здания видимое вдоль вынесенных осей будет закрыто панелями или колоннами, то знаки, закрепляющие их конечные точки, смещают внутрь контура здания на расстояние до 1 м.

Каждая ось закрепляется не менее чем двумя грунтовыми знаками с каждой стороны здания. Причем ближний знак полагают на расстоянии 5—10 м от здания, а дальний — на расстоянии, равном 1,5 высоты здания. Закрепленные знаки нивелируются и впоследствии служат не только плановой, высотной основой разбивочных работ.

При строительстве многоэтажных зданий котлованы фундаментов закладывают весьма глубоко (до 20 м). Они имеют ступенчатый вид. В плане ведут разбивку контура котлована, его верхней бровки и отдельных контуров. Эти разбивочные работы чаще всего выполняют от строительной сетки по способу створов или от продольной оси здания по способу прямоугольных координат. Углы переносят в котлован 30-секундным теодолитом. Длины линий выносят в котлован 10- или 20-метровой рулеткой. Котлован по высоте разбивают с помощью технического нивелирования.

При разбивке котлована по мере приближения отметки его дна к проектной контрольные нивелирные наблюдения делают чаще, чтобы обеспечить недобор грунта экскаватором по высоте на 10—20 см. Для правильной зачистки дна котлована его нивелируют по квадратам (сторона квадрата 5—10 м). Вершины квадратов закрепляют кольями, верхний срез которых располагают на заданной проектной отметке. Зачистку дна котлована под бетонную подготовку ведут по торцам этих колея. В промежутках между кольями используют визирки. Для зачистки откосов котлована применяют шаблоны, снабженные уровнем или отвесом.

После зачистки котлована и дна траншей окончательно нивелируют основания и определяют отметки низа монтируемых конструкций. Затем разбивают оси фундаментов и размечают места установок конструкций.

После выемки грунта до проектной отметки на дне котлована разбивают контур основания фундамента. При ступенчатом профиле отдельных фундаментов контуры закрепляют на обноске, располагаемой за внешним контуром котлована. Угловые точки внутренних котлованов проектируют отвесами с натянутых между точками обноски проволок. Ступенчатые котлованы больших размеров разбивают по отдельным горизонтам.

Для подсчета фактически выполненных земляных работ производят специальные геодезические измерения.

Ежедневные замеры ведут обычно по приборам перемещения грунта (вагонетки, платформы, самосвалы и др.). Объем земляных работ определяют с учетом коэффициента разрыхления грунта. Ошибка определения объемов земляных работ по приборам перемещения грунта составляет 10—20%.

Объем ежедневно выбираемого грунта следует измерять при помощи рулетки и рейки. При этом всю выработку разбивают на отдельные более или менее правильные геометрические тела. Длину и ширину геометрических тел измеряют рулеткой, высоту — рейкой. Затем объем вычисляют по данным измерений, записанным на составляемых чертежах-эскизах выработки. Ошибка определения объемов земляных работ этим способом составляет 5—7%.

Для удобства разбивочных работ и замера вынутого грунта строительную сетку сгущают, доводя стороны квадратов до 5—10 м. Такое сгущение строительной сетки и ее нивелирование выполняют до начала земляных работ. Объем земляных работ подсчитывают по квадратам сетки или профилям, для чего вершины нивелируют.

После зачистки дна котлована и его откосов производят

исполнительную съемку котлована. Составляемая в результате этой съемки исполнительная схема используется при выполнении так называемых скрытых работ.

В результате контрольных измерений составляют исполнительную схему котлована. На этой схеме также показывают результаты нивелирования поверхности до вскрытия котлована. Схему сопровождают ведомостью отметок дна котлована.

## **4.2. Разбивочные работы при устройстве фундаментов**

В зависимости от конструкции здания, величины нагрузок на основания и несущей способности грунтов в сборном строительстве применяются ленточные, плитные, коробчатые и свайные фундаменты.

Для устройства плитных фундаментов при помощи проволок, натянутых вдоль габаритных осей здания, задается контур бетонной подготовки, укладываемой под монолитной плитой фундамента. Углы и контур бетонной подготовки фиксируют кольями с вбитыми в торец гвоздями. По разбитому контуру устраивается опалубка. Нередко на опалубку выносят оси и отмечают их либо краской, либо гвоздями. Верхний обрез опалубки должен соответствовать проектной высоте бетонной подготовки. Достигается это нивелированием опалубки. До укладки бетонной подготовки вся площадь делится на секции. На границах секций устанавливают рейки, верх которых нивелируют под проектную отметку поверхности бетона.

После бетонирования подготовки, укладки гидроизоляционного слоя и бетонной стяжки на ее поверхность выносят основные оси здания и закрепляют металлическими пластинами-марками. Оси на бетонной стяжке служат для укладки сеточной арматуры.

Первый ряд стержней арматуры устанавливают по нивелиру с допуском  $\pm 3$  см. Промежуточные ряды устанавливают без нивелирования. Верхний ряд арматуры нивелируется, и результаты сопоставляются с проектными данными.

Наиболее часто применяются ленточные фундаменты. Фундаментные блоки устанавливают на свежееуложенную бетонную подготовку и песчаный выравнивающий дно траншеи слой. Бетонную подготовку или песчаный слой выравнивают геометрическим нивелированием, используя направляющие доски, рамы и колья.

Положение рядов и отдельных блоков размечают с помощью натянутых на обноске проволок, с которых опускают отвес.

С обноски разбивают угловые и маячные блоки, устанавливаемые через 15—20 м. Остальные блоки устанавливают с помощью причалки, натянутой на уровне верхнего наружного ребра маячных блоков.

Монтаж сборных фундаментов начинают с установки на песчаную подготовку маячных блоков на всех углах здания и на границах захваток. После проверки положения этих блоков в пределах каждой захватки устанавливают промежуточные блоки. В этом же порядке монтируют стеновые блоки подполья и цоколя.

Проверяют положение осей блоков фундаментов с помощью натянутой по створу оси струны, створных наблюдений или бокового нивелирования. Такого рода наблюдения выполняют по всем продольным и поперечным осям.

Установку блоков фундаментов по высоте выполняют геометрическим нивелированием. От рабочих реперов передают отметки на маячные угловые блоки. Остальные блоки устанавливают в проектное положение с помощью рейки с уровнем.

При строительстве гражданских зданий, имеющих несущие стены, ленточные фундаменты устраиваются из трапециевидных блоков-подушек и блоков стен подвала. Положение таких ленточных фундаментов также обозначают проволоками, натянутыми на обноске. Однако при монтаже блоков кранами они должны быть удалены и границы лент фундаментов перенесены на основание. Это можно выполнить с помощью отвесов, опущенных со створной проволоки. Закреплять границы лент фундаментов на основании можно шпильками, между которыми натягивают проволоку.

### **4.3. Разбивочные работы при устройстве свайных фундаментов**

Разбивка фундаментных свай производится после зачистки дна котлована. Сваи располагают обычно в несколько рядов или группируют в различных местах котлована (кусты свай).

Для разбивки свайного поля теодолиты устанавливают над створными обносками по продольным и поперечным осям и определяют центры крайних свай ряда створной засечкой. Положение центров промежуточных свай определяют промерами между крайними сваями рядов.

Точность разбивки центра свай в ряду или в кусте достаточна в пределах 1—2 см. Предельная погрешность положения верха сваи по высоте  $\pm 10$  мм.

Детальную разбивку центров свай при кустовом расположении можно производить специальным шаблоном. Шаблон представляет собой облегченную раму-каркас с отверстиями, соответствующими расположению свай в кусте, и двумя мушками-целиками для ориентирования шаблона по разбивочной оси.

Для разбивки центров свай в «кусте» шаблон устанавливают над центральной точкой и на глаз приводят его в горизонтальное положение. Затем при помощи мушек-целиков ориентируют его по разбивочной оси и через отверстия шаблона фиксируют положение центров свай.

После забивки свай производится исполнительная съемка свайного поля. На исполнительной схеме фиксируют фактическое положение центра каждой сваи относительно разбивочных осей, расстояния между соседними сваями, отклонения от проектного положения. На схеме указывают также тангенсы отклонения вертикальных осей свай от проектного положения.

Тангенсы отклонения вертикальной оси по смещениям их центров вычисляют в плане и по длине. От смещенных разбивочных осей, закрепленных на обносках, производят разбивку контуров опалубки для бетонирования ростверков или разбивку контуров сборных ростверков с точностью до  $\pm 1$  см.

После бетонирования ростверков выполняют предварительную разбивку пунктов опорной фигуры пространственной разбивочной основы, пункты закрепляют металлическими пластинами размером  $15 \times 15$  см, приваренными к якорям. В дальнейшем после измерения уравнивания и редуцирования координат пункты опорной фигуры используются для разбивочных работ при строительстве надземной части здания.

## **ГЛАВА 5. ОСНОВНЫЕ ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ НАДЗЕМНОЙ ЧАСТИ ЖИЛИЩНО-ГРАЖДАНСКИХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ**

### **5.1. Построение и измерение базисных фигур пространственной разбивочной основы**

Построению базисной фигуры пространственной разбивочной основы предшествуют подготовительные расчетные работы, в результате которых определяются вид базисной фигуры, ее угловые и линейные параметры.

Основные требования, предъявляемые к выбору и построению базисных фигур при строительстве жилищно-гражданских и промышленных зданий, заключаются в следующем: пункты и стороны базисной фигуры должны обеспечивать беспрепятственное выполнение детальных разбивок в любой части здания; базисную фигуру необходимо строить с учетом конструктивных особенностей возводимого здания и технологии строительного-монтажных работ; стороны базисной фигуры должны быть параллельны основным осям сооружения; пункты базисной фигуры надо располагать в удобных для ортогонального проектирования местах.

Взаимное положение предварительно вынесенных на исходный горизонт пунктов определяется в результате точных угловых и линейных измерений. После уравнивания результатов этих измерений вычисленные значения координат сопоставляются с проектными и при необходимости редуцируются. Для этого вычисляются разности фактических и проектных координат по формулам:

$$\Delta x = x_{пр} - x_{ф}; \quad \Delta y = y_{пр} - y_{ф}. \quad (5.1)$$

Полученные значения редуцированных поправок  $\Delta x$  и  $\Delta y$  откладываются непосредственно по координатным осям на соответствующей пластине, и новое положение пункта фиксируется при помощи керн или алмазного натфиля. Пункты базисной фигуры закрепляются металлическими пластинами, пристреливаемыми в бетон с помощью монтажного пистолета. Направления осей на пластинах прочерчиваются алмазным натфилем. Для предотвращения коррозии пластины оцинковывают.

Угловые измерения базисных фигур выполняются точными и высокоточными теодолитами по заранее составленной программе наблюдений способом круговых приемов или повторений. Для уменьшения погрешностей при измерении углов, обусловленных неточным центрированием теодолита и визирных марок, применяется многостативная система с использованием оптических центриров.

При выборе прибора для угловых измерений и определении необходимого числа приемов исходят из следующих соображений.

Допустимая погрешность  $\Delta_n$  измерения направления в основном имеет пять составляющих: центрирования  $\Delta_e$ , редукция  $\Delta_p$ , инструмента  $\Delta_l$ , внешних условий  $\Delta_b$  и собственно измерения  $\Delta_n$ . Таким образом

$$\Delta_n = \sqrt{\Delta_e^2 + \Delta_p^2 + \Delta_l^2 + \Delta_b^2 + \Delta_n^2}. \quad (5.2)$$

Из пяти перечисленных погрешностей измерения направления погрешностей  $\Delta_l$  и  $\Delta_b$ , в свою очередь, складываются из ряда составляющих, поэтому аналитически их трудно выразить. Погрешности центрирования  $\Delta_e$  и редукции  $\Delta_p$ , хотя и выражаются в аналитической форме, не могут быть вычислены отдельно, так как элементы, составляющие погрешность, при разбивочных работах не измеряются, а инструмент центрируется над точкой с практически возможной точностью. В связи с этим при проектировании угловых измерений в базисных фигурах пространственной разбивочной основы для приближенных расчетов можно пользоваться принципом равного влияния всех пяти составляющих и считать каждую равной  $\Delta$ . Тогда допустимая погрешность измерения направления будет  $\Delta_n = \Delta\sqrt{5}$ , а допустимая погрешность измерения угла  $\Delta_\beta = \Delta\sqrt{10}$ . При заданном значении  $\Delta_\beta$  можно, следовательно, определить допустимую погрешность  $\Delta$  для каждой составляющей по формуле

$$\Delta = \frac{\Delta_\beta}{\sqrt{10}}. \quad (5.3)$$

Величина  $\Delta_\beta$  определяется по формулам, приведенным в III главе, в зависимости от принятой схемы базисной фигуры и метода измерений ее элементов. Так, если базисная фигура представляет собой центральную систему триангуляции, то на основании формулы (3.20)

$$\Delta_\beta < \frac{\Delta_{S_0} \rho \sqrt{l+n-1}}{8,8R \sqrt{5+l+n}}.$$

Следовательно, для этого случая

$$\Delta = \frac{\Delta_{S_0}^{\rho} \sqrt{l+n-1}}{8,8R \sqrt{10(5+l+n)}}. \quad (5.3a)$$

Зная величину  $\Delta$ , для некоторых составляющих погрешностей можно определить допустимое значение того или иного фактора. Так, легко рассчитать допустимую погрешность центрирования по формуле

$$e = \frac{\Delta S}{\rho}. \quad (5.4)$$

При измерении угла теодолитом определенной марки известны точность отсчета  $t$  и увеличение зрительной трубы  $V$ , с по-

мощью которых можно вычислить среднюю квадратическую погрешность визирования на визирную цель. Эти данные дают возможность рассчитать число приемов  $n$ , необходимое для получения измеряемого угла с заданной (допустимой) точностью по формуле

$$n = \frac{2\Delta_V^2 + \Delta_0^2}{2\Delta^2} \quad (5.5)$$

При измерении углов комбинированным способом количество повторений  $p$  при выбранном числе приемов  $n$  определяется по формуле

$$p = \Delta_V^2 + \sqrt{\Delta_V^4 + 0,5\Delta^2 n \Delta_0^2} \quad (5.6)$$

**Пример 1.** Пусть для монтажа сборного 4-ярусного сооружения цилиндрической формы создана пространственная разбивочная основа, базисная фигура которой представляет собой центральную систему. Количество сборных элементов по контуру сооружения  $l=30$ , радиус сооружения равен 30 м. Допуск на установку сборного элемента в проектное положение  $\Delta_{S_0}=4$  мм.

Согласно (5.3), допустимая погрешность измерения угла одним приемом будет

$$\begin{aligned} \Delta &= \frac{\Delta_{S_0} \rho \sqrt{l+n-1}}{8,8R \sqrt{10(5+l+n)}} = \\ &= \frac{4 \cdot 206\,265'' \sqrt{33+4-1}}{8,8 \cdot 30\,000 \sqrt{10(5+33+4)}} = 0'',9. \end{aligned}$$

Если для измерений принят теодолит Т2, то  $\Delta_V=3 m_V=0'',7 \cdot 3=2'',1$ ;  $\Delta_0=3 m_0=2'',1$ . Тогда необходимое число приемов будет

$$n = \frac{2 \cdot (2'',1)^2 + (2'',1)^2}{2 \cdot (0'',9)^2} \approx 8.$$

В зависимости от требуемой точности определения длин сторон базисной фигуры применяются стальные штриховые или шкаловые ленты или рулетки, узкие инварные ленточки, стальные или инварные проволоки.

В большинстве случаев длину измеряют по поверхности бетона в соответствии с программой базисных измерений.

Рассмотрим методику проектирования этих измерений. Отложение длин лентой или рулеткой по поверхности сопровождается погрешностями, обусловленными следующими причинами: неточность компарирования мерного прибора; несовпадение натянутой ленты с направлением измеряемой линии; неровность поверхности; резкие изгибы поверхности; разность температур ленты при измерении и компарировании; разность сил натяжения ленты при измерении и компарировании; неточность фиксации концов ленты или отсчитывания по шкалам.

Если измерения выполняются подвесными мерными приборами, то к перечисленным источникам погрешностей добавляются: влияние бокового ветра; неточное знание веса мерной проволоки; влияние влажности и загрязнения прибора.

Основной характеристикой точности при проектировании линейных измерений считается заданная допустимая относительная погрешность измерения  $\frac{\Delta S}{S} = \frac{1}{T}$ .

Слагающие погрешностей могут быть систематическими  $\Delta_c$  и случайными  $\Delta_{сл}$ . Совместное их влияние определяется формулой

$$\Delta_S = \sqrt{\Delta_c^2 + \Delta_{сл}^2}. \quad (5.7)$$

Допустимая относительная погрешность будет

$$\frac{1}{T} = \sqrt{\left(\frac{1}{T_c}\right)^2 + \left(\frac{1}{T_{сл}}\right)^2}. \quad (5.8)$$

Если систематические погрешности имеют одностороннее действие, то

$$\frac{1}{T_c} = \frac{1}{T'_c} + \frac{1}{T_c^*} + \dots \quad (5.9)$$

Применяя принцип равных влияний и приняв число систематических погрешностей равным  $k_c$ , можно написать

$$\frac{1}{T_c^2} = \frac{k_c^2}{T_1^2}. \quad (5.10)$$

Суммарное влияние случайных погрешностей определяется по формуле

$$\frac{1}{T_{сл}^2} = \frac{1}{T_{сл}^{\prime 2}} + \frac{1}{T_{сл}^{\prime\prime 2}} + \dots \quad (5.11)$$

При  $k_{сл}$  числе источников случайных погрешностей и их примерно одинаковом влиянии можно написать

$$\frac{1}{T_{сл}^2} = \frac{k_{сл}}{T_2^2}. \quad (5.12)$$

Таким образом, суммарная относительная погрешность выразится формулой

$$\frac{1}{T} = \sqrt{\frac{k_c^2}{T_1^2} + \frac{k_{сл}}{T_2^2}}. \quad (5.13)$$

При помощи полученных формул можно рассчитать необходимую точность измерений и с учетом отдельных слагаемых суммарной погрешности выбрать соответствующую методику производства линейных измерений.

Допустимая погрешность компарирования

$$\Delta l_k < \pm \frac{l}{T} \quad (5.14)$$

Допустимая погрешность ориентирования ленты в створе измеряемой линии

$$e < l \sqrt{\frac{2}{T}}. \quad (5.15)$$

Допустимая погрешность неправильного учета превышения между концами мерной ленты или рулетки

$$\Delta h < l \sqrt{\frac{2}{T}}. \quad (5.16)$$

Допустимая погрешность от неровности поверхности

$$f < \frac{l}{2\sqrt{T}}. \quad (5.17)$$

Допустимая погрешность от разности температуры  $t$  ленты и температуры  $t_0$  ее компарирования для стальных лент и рулеток и для инварных проволок соответственно

$$\Delta t < \frac{8000}{T}; \quad \Delta t < \frac{2 \cdot 10^6}{T}. \quad (5.18), (5.19)$$

Допустимая погрешность сил натяжения ленты при измерении и компарировании

$$\Delta p < \frac{\omega E}{T}. \quad (5.20)$$

Здесь  $\omega$  — площадь поперечного сечения ленты;  $E$  — модуль упругости материала, из которого изготовлена лента.

Допустимая погрешность, вызванная неточностью фиксации концов ленты или отсчитывания по шкалам (для одного отложения)

$$\delta < \pm \frac{l}{\sqrt{n}}. \quad (5.21)$$

**Пример 2.** Для условий примера 1 определить, с какой точностью должно быть выполнено отсчитывание по шкале 50-метровой рулетки с миллиметровыми делениями. Согласно (3.30),

$$\Delta_S = \frac{\Delta_{S_0} \sqrt{l+n-1}}{9,52 \sqrt{5+l+n}} = \frac{4 \cdot 6}{9,52 \cdot 6,5} = 0,4 \text{ мм.}$$

Для наибольшей стороны центральной системы ( $R=30$  м)

$$T = \frac{30\,000 \text{ мм}}{0,4 \text{ мм}} \approx 75\,000.$$

Следовательно,

$$\delta < \frac{50\,000 \text{ мм}}{75\,000} \approx 0,7 \text{ мм.}$$

Отсчитывание с точностью 0,7 мм легко осуществимо по шкале рулетки с миллиметровыми делениями.

## 5.2. Уравнивание базисных фигур пространственной разбивочной основы

### КОРРЕЛАТНЫЙ СПОСОБ УРАВНИВАНИЯ

Необходимые и избыточные измерения в триангуляционных базисных фигурах имеют геометрические соотношения, выражаемые в аналитической форме условными уравнениями. Слу-





Здесь  $\frac{1}{P_F}$  — обратный вес функции  $F$ , равный

$$\frac{1}{P_F} = [qff \cdot r] = [qff] - \frac{[qaf]^2}{[qaa]} - \dots - \frac{[qgf(r-1)]}{[qgg(r-1)]}, \quad (5.34)$$

где  $f_i = \frac{\partial F}{\partial x_i}$ .

Обратный вес вычисляем по формуле (5.34) одновременно с составлением и решением нормальных уравнений, для чего к условным уравнениям присоединяем так называемую весовую функцию

$$f_1 v_1 + f_2 v_2 + \dots + f_n v_n = 0, \quad (5.35)$$

отвечающую функции (5.32).

Базисные фигуры пространственных сетей относятся к свободным сетям. Число независимых условных уравнений в таких сетях при уравнивании по углам определяются по формулам:

$$\begin{aligned} R &= N - 2n + 4 && \text{— всех уравнений;} \\ f &= N - p - q + 1 && \text{— уравнений фигур;} \\ c &= p - 2n + 3 && \text{— уравнений полюса;} \\ k &= q && \text{— уравнений горизонта,} \end{aligned} \quad (5.36)$$

где  $N$ ,  $n$ ,  $p$ ,  $q$  — число всех измеренных углов, пунктов, линий, число измеренных центральных систем. Для проверки вычислений по формулам (5.36) необходимо помнить следующие правила:

число условных уравнений фигур равно числу треугольников в простой сети плюс число геодезических четырехугольников;

условные уравнения горизонта возникают только при уравнивании по углам, и их число равно числу центральных систем;

полюсные уравнения возникают в случае, когда в базисной фигуре имеется центральная система и четырехугольники: их число равно числу сплошных и несплошных диагоналей пересекающей стороны простой цепочки треугольников плюс число центральных систем;

условные уравнения базисов возникают, если в базисной фигуре с пренебрегаемо малыми погрешностями измерены две

или больше сторон; их число равно числу избыточных жестких сторон.

Рассмотрим виды условных уравнений, возникающих в типовых базисных фигурах. Условие фигур возникает в каждой замкнутой фигуре, в вершинах которой измерены углы. Для

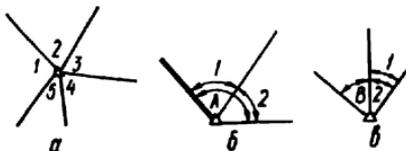


Рис. 5.1. К составлению условных уравнений горизонта (а), сумм (б) и разностей (в).

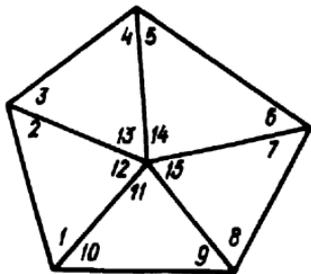


Рис. 5.2. К составлению полюсного условного уравнения.

треугольника условное уравнение, выраженное через поправки к измененным углам, будет

$$(1) + (2) + (3) + \omega = 0, \quad (5.37)$$

где  $\omega = 1 + 2 + 3 - 180^\circ$  — невязка треугольника.

Условие горизонта возникает на станции, когда измерены все углы по горизонту (рис. 5.1, а):

$$(1) + (2) + (3) + (4) + (5) + \omega = 0. \quad (5.38)$$

Условие сумм и разностей возникает при измерении частей жесткого угла (рис. 5.1, б, в).

$$(1) + (2) + \omega = 0. \quad (2) - (1) + \omega = 0. \quad (5.39; 5.40)$$

Полюсное условие возникает в центральных системах, геодезических четырехугольниках и во всех случаях, когда в сети имеются диагональные стороны. Закладывается это условие в требовании, чтобы длина некоторой стороны, вычисленная двумя независимыми путями из решения треугольников сети, имела одно и то же значение. Очевидно, по измеренным углам невозможно получить точное значение исходной стороны, и на углы, участвующие в вычислениях, накладывается полюсное условие. Для центральной системы (рис. 5.2) полюсное условное уравнение будет иметь следующий вид:

$$\frac{\sin 1 \cdot \sin 3 \cdot \sin 5 \cdot \sin 7 \cdot \sin 9}{\sin 2 \cdot \sin 4 \cdot \sin 6 \cdot \sin 8 \cdot \sin 10} = 1, \quad (5.41)$$

Здесь необходимо отметить, что полюсные, базисные и координатные условия уравнения получаются в виде тригонометрических функций измеренных углов. Для приведения таких уравнений к линейному виду после логарифмирования их раскладывают в ряд Тейлора.

После линейризации уравнение (5.41) примет вид

$$\begin{aligned} \Delta_1(1) - \Delta_2(2) + \Delta_3(3) - \Delta_4(4) + \Delta_5(5) - \Delta_6(6) + \Delta_7(7) - \\ - \Delta_8(8) + \Delta_9(9) - \Delta_{10}(10) + \omega = 0. \end{aligned} \quad (5.42)$$

В геодезическом четырехугольнике за полюс можно взять любую из вершин и даже точку пересечения диагоналей.

Линейные сети отличаются от триангуляционных, как правило, меньшим числом условных уравнений при значительно сложном виде их коэффициентов. Элементарной фигурой, требующей составления одного условного уравнения, в линейной сети является центральная система или ее частный вид — геодезический четырехугольник.

Наиболее целесообразными из существующих методов составления условных уравнений является угловой способ в сочетании с графо-аналитическим определением коэффициентов. В этом случае в условном уравнении триангуляционного вида неизвестные поправки к углам выражаются через поправки соответствующих сторон по формулам:

$$\begin{aligned} (A) &= \frac{\rho(a)}{h_a} - \frac{\rho}{h_a} \cos C(b) - \frac{\rho}{h_a} \cos B(c); \\ (B) &= \frac{\rho(b)}{h_b} - \frac{\rho}{h_b} \cos A(c) - \frac{\rho}{h_b} \cos C(a); \\ (C) &= \frac{\rho(c)}{h_c} - \frac{\rho}{h_c} \cos A(b) - \frac{\rho}{h_c} \cos B(a). \end{aligned} \quad (5.43)$$

Значения углов, необходимые для определения свободных членов условных уравнений:

$$A = \arccos \frac{-a^2 + b^2 + c^2}{2bc};$$









$$\delta z_k + l_i = v_i. \quad (5.60)$$

2. Измеренному направлению с определяемого пункта  $k$  на твердый пункт  $i$  соответствует уравнение

$$-\delta z_k + a_{ki}\xi_k + b_{ki}\eta_k + l_{ki} = v_{ki}. \quad (5.61)$$

Направлению с твердого пункта  $k$  на определяемый пункт  $i$  соответствует уравнение

$$-\delta z_i + a_{ki}\xi_k + b_{ki}\eta_k + l_{ik} = v_{ik}. \quad (5.62)$$

3. Измеренному направлению с определяемого пункта  $k$  на определяемый пункт  $i$  соответствует уравнение

$$-\delta z_k + a_{ki}\xi_k + b_{ki}\eta_k - a_{ki}\xi_i - b_{ki}\eta_i + l_{ki} = v_{ki}, \quad (5.63)$$

где  $a_{ki} = -a_{ik} = \frac{\rho \sin \alpha'_{ki}}{S'_{ki}}$ ;  $b_{ki} = -b_{ik} = -\frac{\rho \cos \alpha'_{ki}}{S'_{ki}}$ .

Веса всех преобразованных уравнений поправок равны между собой. Число уравнений поправок равно числу измеренных направлений, включая направления между твердыми пунктами, а число неизвестных, подлежащих определению, равно  $2p+q$ . Здесь  $p$  — число определяемых пунктов ( $2p$  — число отыскиваемых поправок координат), а  $q$  — общее число пунктов в сети, равное числу ориентирных поправок.

Следуя общей теории метода наименьших квадратов от уравнений поправок, необходимо перейти к нормальным уравнениям. Вычислительные работы по переходу к нормальным уравнениям значительно сокращаются, если выполнить эквивалентные преобразования уравнений поправок.

Преобразование уравнения поправок составляется по следующим правилам.

1. Стороне сети между определяемыми пунктами  $k$  и  $i$  соответствует уравнение поправок:

в случае двустороннего визирования с весом  $p = +1$

$$a_{ki}\xi_k + b_{ki}\eta_k + a_{ik}\xi_i + b_{ik}\eta_i + L_{ki} = v'_{ki}; \quad (5.64)$$

в случае одностороннего визирования с пункта  $k$  на пункт  $i$  с весом  $p = +1/2$

$$a_{ki}\xi_k + b_{ki}\eta_k + a_{ik}\xi_i + b_{ik}\eta_i + l_{ki} = v'_{ki}. \quad (5.65)$$

В уравнении (5.64)  $L_{ki} = 1/2(l_{ki} + l_{ik})$ .

2. Стороне сети между определяемым пунктом  $k$  и твердым пунктом  $i$  соответствует уравнение поправок:

в случае двустороннего визирования с весом  $p = +1$

$$a_{kl}\xi_k + b_{kl}\eta_k + L_{kl} = v'_{kl}; \quad (5.66)$$

в случае одностороннего визирования с пункта  $k$  на пункт  $i$   
с весом  $p = +\frac{1}{2}$

$$a_{ki}\xi_k + b_{ki}\eta_k + l_{ki} = v'_{ki}. \quad (5.67)$$

3. Каждому отнаблюденному пункту отвечает суммарное уравнение с отрицательным весом  $p = -\frac{1}{2n}$

$$\begin{aligned} [a_{ki}] \xi_k + [b_{ki}] \eta_k + a_{1k}\xi_1 + b_{1k}\eta_1 + \dots + a_{nk}\xi_n + b_{nk}\eta_n = \\ = [v'_{ki}]. \end{aligned} \quad (5.68)$$

В суммарных уравнениях на твердых пунктах отсутствуют два первых слагаемых с коэффициентами  $[a_{ki}]$  и  $[b_{ki}]$ .

Использование правил эквивалентного преобразования значительно сокращает число уравнений поправок, которое в этом случае становится равным числу сторон сети (не считая сторон между твердыми пунктами) плюс общее число отнаблюденных пунктов. Преобразованные уравнения поправок в качестве неизвестных содержат только поправки координат, число которых равно удвоенному числу определяемых пунктов.

Уравнительные вычисления при обработке результатов измерений базисных фигур в отличие от триангуляции общего назначения значительно упрощаются благодаря тому, что отпадает необходимость вычисления приближенных координат пунктов и дирекционных углов сторон.

Вместо них принимаются проектные значения координат пунктов базисной фигуры и дирекционных углов ее сторон. Найденные после уравнения поправки  $\xi$  и  $\eta$  используются для редуцирования координат пунктов базисной фигуры.

Точность определения координат обычно достаточно характеризовать значениями средних квадратических погрешностей  $M_x$  и  $M_y$ . В базисных фигурах наибольший интерес представляет оценка точности положения последнего пункта. Если поправки координат этого пункта расположить последними в системе нормальных уравнений, то вычисление величин  $M_x$  и  $M_y$  существенно упрощается. В этом случае средние квадратические погрешности координат пункта с номером  $n$  будут:

$$M_{x_n} = \frac{\mu}{\sqrt{P_{x_n}}} = \frac{\mu}{\sqrt{a_{n1} a_{n1} \cdot (2n-1)}}; \quad (5.69)$$

$$M_{y_n} = \frac{\mu}{\sqrt{P_{y_n}}} = \frac{\mu}{\sqrt{b_{n_i} b_{n_l} \cdot (2n - 1)}} \quad (5.70)$$

Значения  $P_{x_n}$  и  $P_{y_n}$  представляют собой коэффициенты преобразованных нормальных уравнений при соответствующей поправке координат пункта  $n$ , являющейся последней по порядку исключения.

При уравнивании трилатерационных базисных фигур для каждой измеренной стороны может быть составлено равенство

$$S_{kl} = S'_{kl} + \delta S_{kl} = S''_{kl} + v_{kl}, \quad (5.71)$$

где  $S_{kl}$  — уравненное значение длины стороны между пунктами  $k$  и  $l$ ;  $S'_{kl}$  — приближенное значение этой стороны, вычисленное по приближенным координатам определяемых пунктов;  $S''_{kl}$  — измеренное значение стороны  $kl$ ;  $\delta S_{kl}$  и  $v_{kl}$  — поправки к  $S'_{kl}$  и  $S''_{kl}$ , найденные из уравнивания. Таким образом, уравнение поправок для измеренных сторон будет

$$\delta S_{kl} + l_{kl} = v_{kl}, \quad (5.72)$$

где  $l_{kl} = S'_{kl} - S''_{kl}$ .

Величину  $\delta S_{kl}$ , выраженную через поправки координат определяемых пунктов, находим по формуле

$$\delta S_{kl} = \frac{\partial S_{kl}}{\partial x_k} \xi_k + \frac{\partial S_{kl}}{\partial y_k} \eta_k + \frac{\partial S_{kl}}{\partial x_l} \xi_l + \frac{\partial S_{kl}}{\partial y_l} \eta_l, \quad (5.73)$$

где  $\frac{\partial S_{kl}}{\partial x_l}$  и  $\frac{\partial S_{kl}}{\partial y_l}$  — производные функции  $S'_{kl} = \sqrt{(x_l - x_k)^2 + (y_l - y_k)^2}$ , равные соответственно:

$$\begin{aligned} \frac{\partial S_{kl}}{\partial x_k} &= -\frac{\partial S_{lk}}{\partial x_l} = -\cos \alpha'; \\ \frac{\partial S_{kl}}{\partial y_k} &= -\frac{\partial S_{lk}}{\partial y_l} = \sin \alpha'. \end{aligned} \quad (5.74)$$

Подставив значения производных в (5.73) и учитывая (5.72), в окончательном виде получим уравнение поправок для сторон

$$-\cos \alpha'_{kl} \xi_k - \sin \alpha'_{kl} \eta_k + \cos \alpha'_{kl} \xi_l + \sin \alpha'_{kl} \eta_l + l_{kl} = v_{kl}.$$

Число уравнений поправок в сети равно числу измеренных длин сторон, а число неизвестных поправок координат — удвоенному числу определяемых пунктов.

Решение уравнений поправок и оценка точности выполняется по методу наименьших квадратов.

Если базисная фигура представляет собой линейно-угловую сеть, то при ее уравнивании совместно решаются уравнения поправок, соответствующие измеренным сторонам и направлениям. При уравнивании линейно-угловых базисных фигур необходимо учитывать соотношение весов измерения направлений и длин сторон.

Следует отметить, что за счет использования проектных координат и дирекционных углов уравнивание линейных и линейно-угловых базисных фигур значительно упрощается.

### **5.3. Методы проектирования координат пунктов базисной фигуры пространственной разбивочной основы на монтажные горизонты**

Координаты пунктов опорной фигуры пространственной сети на монтажные горизонты переносятся для создания на соответствующих горизонтах плановой, а иногда и высотной основы, необходимой для производства детальных разбивочных работ.

В современном сборном строительстве наиболее распространены три основных метода перенесения координат: наклонного проектирования, механического вертикального проектирования; оптического вертикального проектирования. Выбор того или иного метода зависит от необходимой точности перенесения координат, конкретных условий строительной площадки и наличия приборов, обеспечивающих заданную точность. Подбор приборов определяется путем предварительных расчетов.

#### **МЕТОД НАКЛОННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ**

При методе наклонного проектирования проектирующей вертикальной плоскостью служит коллимационная плоскость теодолита, которая устанавливается в продолженном створе линии опорной фигуры.

Для применения метода наклонного проектирования направления линий опорной фигуры, конечные точки которых подде-

жат проектированию на монтажные горизонты, при помощи теодолита выносятся и закрепляются за пределами сооружения не менее чем двумя створными знаками с каждой стороны (рис. 5.4).

Ближний створный знак (1') может быть закреплен непосредственно на доколе, а дальний (1'') — на расстоянии не менее 1,5 высоты здания.

Для перенесения створа линии опорной фигуры на монтажные горизонты теодолит устанавливается под знаком 1''. Визированием на знак 1' коллимационная плоскость теодолита совмещается с вертикальной плоскостью проектирования. Для фиксации следа этой плоскости на соответствующем монтажном горизонте выполняется визирование на уровень монтажного горизонта, где и отмечается след коллимационной плоскости совмещением подвижной визирной цели с вертикальной нитью сетки. Для исключения коллимационной погрешности визирование выполняется дважды при КП и КЛ. Фиксируется среднее положение следа.

След коллимационной плоскости в большинстве случаев прочерчивается скальпелем на специально подготовленной (защищенной, покрашенной) поверхности бетона. Погрешность такого рода фиксации равна 0,2—0,3 мм. Более точно определяется положение плоскости проектирования на монтажном горизонте при использовании специальных трегеров с подвижными в двух взаимно перпендикулярных направлениях марками.

Средняя квадратическая погрешность перенесения координат пунктов базисной фигуры методом наклонного проектирования определяется по формуле

$$M_{\text{нп}} = \sqrt{2(m_{\text{ц}}^2 + m_{\text{виз}}^2 + m_{\text{ф}}^2 + m_{\text{уст}}^2 + m_{\text{нак}}^2)}, \quad (5.75)$$

где  $m_{\text{ц}}$  — погрешность центрирования теодолита;  $m_{\text{виз}}$  — погрешность визирования на створный знак и на подвижную марку;  $m_{\text{ф}}$  — погрешность фиксации;  $m_{\text{уст}}$  — погрешность установки подвижной марки;  $m_{\text{нак}}$  — погрешность наклона визир-

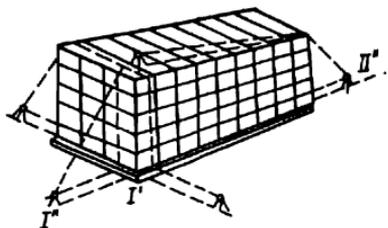


Рис. 5.4. Передача осей на перекрытия методом наклонного проектирования.

ной плоскости теодолита. Для перенесения координат с заданной точностью необходимо, чтобы соблюдалось условие

$$M_{\text{нп}} < m_4 \quad (5.76)$$

Полагая влияние подкоренных величин в формуле (5.75) примерно одинаковым, т. е.  $m_{\text{ц}} = m_{\text{виз}} = m_{\text{ф}} = m_{\text{уст}} = m_{\text{нак}} = m_0$  получим

$$m_0 = \frac{m_4}{\sqrt{10}} = \frac{\Delta_{S_0} \sqrt{2l^2 n + k^2 n + n^2}}{45 \sqrt{2 + 0,8(l + k + n)}} \quad (5.77)$$

Так как при проектировании визирование выполняется дважды (сначала на створный знак, а затем на подвижную марку), погрешность визирования определяется по формуле

$$m_{\text{виз}} = \frac{60''}{\nu \rho} \sqrt{S_1^2 + S_2^2}, \quad (5.78)$$

где  $\nu$  — увеличение зрительной трубы теодолита;  $S_1$  — расстояние от инструмента до ближнего створного знака ( $I'$ );  $S_2$  — расстояние от инструмента до подвижной марки. В принятых ранее обозначениях  $S_1 = 1,5S_0 n$ ;  $S_2 = 1,8S_0 n$  ( $S_0$  — высота сборного элемента;  $n$  — количество этажей), поэтому

$$m_{\text{виз}} = \frac{140''}{\nu \rho} \cdot S_0 n. \quad (5.79)$$

Из выражений (5.77) и (5.79) можно вычислить значение увеличения, которым должна обладать зрительная труба теодолита, используемого для перенесения координат пунктов базисной фигуры на соответствующий монтажный горизонт. Расчет этот выполняется по формуле

$$\nu = \frac{0,03 S_0 \sqrt{2n + 0,8n(l + k + n)}}{\Delta_{S_0} \sqrt{2l^2 + k^2 + n}} \quad (5.80)$$

Средняя квадратическая погрешность положения перенесенного на монтажный горизонт пункта базисной фигуры, вызванная наклоном визирной плоскости, равна

$$m_{\text{нак}} = 0,5 \frac{S_0 n}{\rho} \cdot \tau. \quad (5.81)$$

Приравняв правые части равенств (5.77) и (5.81), получим выражение для определения цены деления, которую должен

иметь уровень горизонтального круга теодолита, используемого для переноса координат на монтажные горизонты методом наклонного проектирования

$$\tau = \frac{0,044 \Delta S_0 \rho \sqrt{2l^2 + k^2 + n}}{S_0 \sqrt{2n + 0,8n(l + k + n)}} \quad (5.82)$$

Нормативы для всех остальных составляющих средних квадратических погрешностей в формуле (5.75) можно вычислить, используя выражение (5.77).

Характеристики  $V$  и  $\tau$  являются определяющими при выборе прибора для проектирования. Рассмотрим пример расчета величин  $V$  и  $\tau$  при проектировании пунктов базисной фигуры на последний монтажный горизонт 9-этажного односекционного крупнопанельного здания. Дано:  $\Delta S_0 = 4$  мм;  $S_0 = 3$  м;  $l = 10$ ;  $k = 3$ ;  $n = 9$ .

$$V = \frac{0,03 \cdot 3000 \sqrt{176,4}}{4 \sqrt{218}} \approx 20\%;$$

$$\tau = \frac{0,044 \cdot 206 \cdot 265'' \cdot \sqrt{218}}{3000 \sqrt{176,4}} \approx 13''.$$

Вычисленные значения  $V$  и  $\tau$  показывают, что условиям проектирования удовлетворяют точные теодолиты Т2, Т5 и им равноценные. Для повышения точности передачи координат методом наклонного проектирования нередко дальние створные знаки закрепляются на стенах зданий, расположенных неподалеку от возводимого сооружения. Высота закрепления знака в этом случае должна быть равна половине высоты сооружения. Указанная схема проектирования в значительной степени способствует уменьшению погрешности наклона плоскости визуирования.

Методом наклонного проектирования на монтажный горизонт могут быть перенесены либо все пункты опорной фигуры, либо некоторые из них. При значительной высоте возводимого здания перенос всех пунктов может привести к большим затратам времени и потере точности. В таких случаях на монтажный горизонт проектируется одна или две точки, например точка пересечения главных осей сооружения. Приближенное положение этой точки предварительно определяется путем линейных измерений по диагоналям монтажного горизонта. Окончательное положение точки пересечения главных осей уточняется путем «графической» обратной засечки наблюдением направ-

лений на заранее привязанные к системе осей здания цели, закрепленные на зданиях, расположенных неподалеку от возводимого сооружения.

Дальнейшее развитие опорной фигуры осуществляется построением проектных углов и размеров, повторным измерением построенной опорной фигуры и, при необходимости, редуцированием координат ее пунктов.

### МЕТОД МЕХАНИЧЕСКОГО ВЕРТИКАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Механический метод заключается в проектировании координат пунктов опорной фигуры с помощью вертикально подвешенной проволоки с грузом.

Верхний конец проволоки закрепляется в центре координатной каретки, которая может передвигаться вдоль координатных осей  $x$  и  $y$  при помощи микрометрических винтов с ценой наименьшего деления  $0,01$  мм. Проволока пропускается через отверстия в перекрытиях и вместе с грузом демпфируется в емкости с вязкой жидкостью. Последняя устанавливается на небольшой высоте над пунктом базисной фигуры.

Очевидно, что вертикальное проектирование координат пункта базисной фигуры будет реализовано в том случае, если проекция висящей проволоки совпадет с центром пункта базисной фигуры.

Проекция висящей проволоки определяется при помощи теодолита не менее, чем с трех стоянок. Проволоку перемещают в проектное положение при помощи микрометрических винтов.

Масса груза подбирается в зависимости от высоты проектирования.

Средняя квадратическая погрешность передачи координат методом механического проектирования определяется по формуле

$$M_{м.п} = \sqrt{2(m_{нак}^2 + m_{виз}^2 + m_{вет}^2 + m_{м.в}^2)}, \quad (5.83)$$

где  $m_{нак}$  — погрешность, вызванная наклоном оси вращения трубы при наклоне главной оси вращения инструмента;  $m_{виз}$  — погрешность визирования на проволоку и пункт базисной фигуры;  $m_{вет}$  — погрешность, вызванная действием ветровой нагрузки на подвешенную проволоку;  $m_{м.в}$  — то же свободным ходом микрометрических винтов координатной каретки.

Величина погрешности при действии ветровой нагрузки в несколько раз превосходит суммарную величину всех осталь-

ных погрешностей, поэтому для решения задачи о выборе инструментов и приспособлений для проектирования в данном случае целесообразно воспользоваться критерием ничтожных погрешностей.

Использование этого критерия возможно в том случае, если некоторая группа средних квадратических погрешностей или одна погрешность не изменят общую погрешность функции больше чем на 5% ее величины. Влияние таких погрешностей считается практически ничтожным.

Согласно критерию ничтожного влияния погрешности наклона оси вращения инструмента, визирования и свободного хода микрометрических винтов координатной каретки можно считать одинаковыми по величине, а совместное влияние их ничтожным. Тогда выражение (5.83) примет вид

$$1,48m_{\text{вет}} \sqrt{6m_0^2 + 2m_{\text{вет}}^2}, \quad (5.84)$$

где  $m_0 = m_{\text{нак}} = m_{\text{виз}} = m_{\text{в.в}}$ .

Решая уравнение (5.84) относительно  $m_0$ , получим  $m_0 = 0,18 m_{\text{вет}}$  или  $m_{\text{вет}} = 5,6 m_0$ .

Подставив полученное значение  $m_{\text{вет}}$  в формулу (5.83), получим

$$M_{\text{м.п}} = 8,2m_0. \quad (5.85)$$

Для проектирования координат пунктов базисной фигуры с заданной точностью необходимо выполнение следующего условия:

$$M_{\text{м.п}} = 8,2m_0 < \frac{\Delta_{S_0} \sqrt{2l^2n + k^2n + n^2}}{9\sqrt{5 + 2(l + k + n)}}. \quad (5.86)$$

Отсюда

$$m_0 < \frac{\Delta_{S_0} \sqrt{2l^2n + k^2n + n^2}}{73,8\sqrt{5 + 2(l + k + n)}}. \quad (5.87)$$

Пользуясь выражением (5.87), можно получить формулы, с помощью которых и решается окончательный выбор приборов и приспособлений, обеспечивающих необходимую точность проектирования.

Так, цена уровня горизонтального круга теодолита вычисляется как

$$\tau = \frac{\Delta_{S_0} \rho \sqrt{2l^2n + k^2n + n^2}}{52h\sqrt{2,5 + l + k + n}}, \quad (5.88)$$

где  $h$  — высота инструмента.

Необходимое для условий проектирования увеличение зрительной трубы теодолита вычисляется по формуле

$$V = \frac{33\Delta_{S_0} \sqrt{2l^2n + k^2n + n^2}}{d \sqrt{2,5 + l + k + n}}, \quad (5.89)$$

где  $d$  — расстояние от теодолита до пункта опорной фигуры.

Для определения толщины подвешенной проволоки или веса груза можно применять формулу

$$\delta = \frac{0,84H\Delta_{S_0} \sqrt{2l^2 + k^2 + n}}{S_0^2 v^2 h \sqrt{2,5 + l + k + n}}, \quad (5.90)$$

где  $H$  — масса груза;  $v$  — скорость ветра, действующего на проволоку.

**Пример 1.** Определить увеличение зрительной трубы, цену деления уровня горизонтального круга теодолита и толщину подвешенной проволоки, используемых для механического проектирования координат пунктов опорной фигуры на 25-й горизонт односекционного крупнопанельного здания ( $\Delta_{S_0} = 2$  мм;  $l=10$ ;  $k=3$ ;  $n=25$ ;  $h=1,50$  м;  $d=2,5$  м;  $H=20$  кг;  $v=0,4$  м/сек). По формулам (5.88)–(5.90) находим  $\tau=53''$ ;  $V^*=0,3^*$ ;  $\delta=0,44$  мм.

Полученные результаты показывают, что условиям проектирования может удовлетворять технический теодолит, а толщина проволоки при скорости ветра 0,4 м/сек и массе груза 20 кг не должна превышать 0,44 мм.

Для определения цены деления микрометрических винтов воспользуемся формулой (5.87). В рассматриваемом случае  $m_{н.в} = 0,23$  мм.

## МЕТОД ОПТИЧЕСКОГО ВЕРТИКАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Вертикальное оптическое проектирование пунктов базисной фигуры на монтажные горизонты осуществляется приборами вертикального визирования (PZL, Autoplumb, OPL, ZNL, ОЦП и др.) сквозь специальные отверстия в перекрытиях.

Процесс проектирования заключается в следующем. Прибор вертикального проектирования устанавливают над пунктом базисной фигуры, тщательно нивелируют и центрируют. Над зенитным отверстием соответствующего монтажного горизонта устанавливают координатную палетку, изготовленную из прозрачного органического стекла. Четырехкратным визированием

через каждые 90° чувствительной нитью сетки на палетке определяют правильный четырехугольник, геометрический центр которого и является проекцией пункта базисной фигуры.

Проектирование вершин базисной фигуры на монтажные горизонты может быть сквозным и последовательным. В первом случае в вершине базисной фигуры строится вертикальный луч, пронизывающий все монтажные горизонты, а во втором случае вертикальное проектирование осуществляется последовательно с одного горизонта на другой.

Средняя квадратическая погрешность определения проекции вершины опорной фигуры при сквозном проектировании будет

$$M_{\text{оп}} = \sqrt{n^2 S_0^2 \frac{m_{\tau}^2}{\rho^2} + m_{\phi}^2}, \quad (5.91)$$

где  $S_0$  — высота сборного элемента;  $m_{\phi}$  — погрешность фиксации проекции вершины базисной фигуры на координатной палетке.

Пользуясь критерием ничтожного влияния погрешности фиксации, получим  $m_{\phi} = 0,3 n S_0 \frac{m_{\tau}}{\rho}$ .

Очевидно, для проектирования с заданной точностью необходимо, чтобы

$$M_{\text{оп}} = 1,05 \frac{m_{\tau}}{\rho} n S_0 < \frac{\Delta_{S_0} \sqrt{2l^2 n + k^2 n + n^2}}{9 \sqrt{5 + 2(l + k + n)}}, \quad (5.92)$$

откуда

$$m_{\tau} = \frac{0,075 \Delta_{S_0} \rho \sqrt{2l^2 + k^2 + n}}{S_0 \sqrt{n(2,5 + l + k + n)}}. \quad (5.93)$$

С другой стороны,

$$m_{\tau} = \sqrt{(0,45\tau)^2 + \left(\frac{60''}{V}\right)^2}. \quad (5.94)$$

где  $\tau$  — цена деления цилиндрического уровня;  $V$  — увеличение объектива;  $0,45\tau$  — предельная погрешность приведения уровня в горизонтальное положение. Подкоренные компоненты в формуле (5.94) приблизительно одинаковы, поэтому для нахождения  $\tau$  и  $V$  в данном случае целесообразно пользоваться принципом равных влияний. Применив этот принцип, получим

$$m_{\tau} = 0,64\tau = \frac{84,6}{V}. \quad (5.95)$$

С учетом выражения (5.93) имеем:

$$\tau = \frac{0,12\Delta_{S_0} \rho \sqrt{2l^2 + k^2 + n}}{S_0 \sqrt{n(2,5 + l + k + n)}} ; \quad (5.96)$$

$$V = \frac{0,005S_0 \sqrt{n(2,5 + l + k + n)}}{\Delta_{S_0} \sqrt{2l^2 + k^2 + n}} . \quad (5.97)$$

При помощи формул (5.96) и (5.97) решается задача о выборе оптического проектирующего прибора, у которого построение оптической вертикали осуществляется с помощью точного цилиндрического уровня.

Если проектирование выполняется последовательно с монтажного горизонта на монтажный горизонт, то средняя квадратическая погрешность определения проекций пунктов базисной фигуры составит

$$M_{\text{оп}} = \tau \sqrt{\left( S_0^2 \frac{m_{\gamma}^2}{\rho^2} + m_{\phi}^2 \right) n} . \quad (5.98)$$

Для принятой системы допусков и при условии ничтожного влияния погрешности фиксации получим

$$M_{\text{оп}} = \frac{1,05m_{\gamma} S_0}{\rho} \cdot \sqrt{n} < \frac{\Delta_{S_0} \sqrt{2l^2 n + k^2 n + n^2}}{9 \sqrt{5 + 2(l + k + n)}} . \quad (5.99)$$

Отсюда

$$m_{\gamma} = \frac{0,075\Delta_{S_0} \rho \sqrt{2l^2 + k^2 + n}}{S_0 \sqrt{2,5 + l + k + n}} . \quad (5.100)$$

Пользуясь выражением (5.95), получим формулы для вычисления цены деления уровня и увеличения зрительной трубы проектирующего прибора:

$$\tau = \frac{0,12\Delta_{S_0} \rho \sqrt{2l^2 + k^2 + n}}{S_0 \sqrt{2,5 + l + k + n}} ; \quad (5.101)$$

$$V = \frac{0,005S_0 \sqrt{2,5 + l + k + n}}{\Delta_{S_0} \sqrt{2l^2 + k^2 + n}} . \quad (5.102)$$

Сохраняя принятые в приведенном ранее примере параметры, получим  $V=3^*$  и  $\tau=40''$ . Полученные результаты показывают, что последовательное проектирование точек может

быть выполнено при помощи встроенного оптического центра теодолита. В целом последовательное проектирование открывает возможность построения пространственной сети не только открытого типа, когда спроектированные на монтажные горизонты пункты располагаются на одной вертикали, но и закрытого, когда нарушаются приведенные условия. Это обстоятельство в значительной степени расширяет перечень сборных сооружений различного типа, где в качестве разбивочной основы могут быть применены пространственные сети.

Для высокоточного оптического вертикального проектирования используются прецизионные авторедукционные зенитили нидир-лоты, в которых стабилизация оптической вертикали выполняется с очень высокой точностью ( $\pm 0,1 + 0,5$ ).

## **ГЛАВА 6. ДЕТАЛЬНЫЕ РАЗБИВОЧНЫЕ РАБОТЫ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ПОДЗЕМНОЙ ЧАСТИ ЖИЛИЩНО-ГРАЖДАНСКИХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ**

### **6.1. Разбивочные работы при монтаже каркасных зданий**

Детальные разбивочные работы при монтаже каркасных зданий заключаются в точном определении положения колонн в плане и по высоте, а также придании им отвесного положения.

Перед установкой колонн производят подготовительные работы, которые заключаются в вынесении продольных и поперечных осей на фундаменты, доведении до проектного уровня dna стакана путем подливки бетона и маркировки колонн.

При маркировке на гранях колонны в верхней и нижней частях прочерчивают осевые риски, измеряют всю длину колонны и расстояние от оголовка и консоли до высотной нулевой риски, обозначают номера колонн. Нижнюю осевую риску прочерчивают на уровне верхней грани фундамента, а высоту на 1—1,5 м выше нулевой отметки пола.

Маркировка позволяет выявить колонны, размеры которых отличаются от проектных, выполнить соответствующую отбраковку или учесть выявленные отклонения при непосредственной установке их на фундаментах.

При монтаже железобетонную колонну вставляют в стакан и предварительно закрепляют с четырех сторон металличе-

ми или деревянными клиньями. После предварительного закрепления производится точное совмещение осевых рисок колонны с осями, прочерченными на верхней грани стакана. Вертикальность колонн определяется при помощи уклономера, уровня-рейки или теодолита, установленных на продольной и поперечной осях.

При выверке колонн с помощью теодолитов вначале вертикальную нить сетки наводят на нижнюю осевую риску колонны, а затем, плавно наклоняя трубу, наблюдают положение верхней осевой риски. Если верхняя осевая риска отклоняется от вертикали, то ослаблением клиньев с одной стороны и подбивкой с другой приводят колонну в вертикальное положение.

Высотное положение колонны определяется нивелированием высотных рисок.

Для монтажа колонн каркасных зданий применяют также одиночные или групповые кондукторы. Если для монтажа применяют групповой кондуктор, то им одновременно устанавливают шесть колонн и один комплект элементов перекрытия этажа, состоящий обычно из трех ригелей, четырех вкладышей и плит. В проектное положение колонны устанавливают при помощи регулировочных винтов кондуктора. После сварки закладных частей в стыковых швах монтируют ригели и вкладыши нижнего этажа и, сварив их стыки с колоннами, укладывают плиты перекрытия нижнего этажа монтируемого яруса.

Геодезические разбивочные работы на последующих монтажных горизонтах существенно не отличаются от разбивочных работ, выполняемых на исходном горизонте.

Пользуясь методами наклонного или вертикального проектирования (в зависимости от высоты проектирования и требуемой точности), на монтажный горизонт передаются координаты пунктов опорной фигуры пространственной разбивочной сети и закрепляются специальными марками. Контроль передачи координат осуществляется линейными промерами между центрами марок.

От перенесенных на монтажный горизонт пунктов и сторон пространственной разбивочной сети методом прямоугольных или полярных координат на верхних гранях угловых колонн нижнего яруса определяют положение центров угловых колонн монтируемого яруса. Между вынесенными центрами натягивают проволоку вдоль продольной и поперечной осей колонн и прочерчивают ее след на верхних гранях промежуточных колонн. Центры промежуточных колонн определяют отложением проектных расстояний по рулетке, протянутой между угловыми колоннами. Если установка колонн нижнего яруса была выполнена правильно, то вынесенные центры промежуточных

колонн совпадут с геометрическим центром фигуры верхней грани. Установка колонн по вертикали осуществляется при помощи уровня-рейки, уклономера или маятникового отвеса. Контроль установки колонн по высоте осуществляется геометрическим нивелированием описанным выше способом.

## 6.2. Разбивочные работы при монтаже панельных зданий

До производства детальных разбивок на монтажных горизонтах, заключающихся в выравнивании монтажного горизонта по высоте, разметка установочных и контрольных рисок под продольные, поперечные несущие стены, перегородки, сантехкабины, лифтовые шахты и мусоропроводы производится проектированием пунктов опорной фигуры пространственной разбивочной сети на монтажные горизонты.

Вид пространственной разбивочной сети и метод проектирования пунктов ее опорной фигуры определяется конфигурацией здания, расположением несущих элементов и последовательностью их монтажа, а также требованиями к точности их установки в плане и по вертикали.

Для несложных зданий башенного типа достаточно на монтажном горизонте определить точное, в пределах заданных допусков, положение точки пересечения и направления главных осей.

Для использования такого способа проектирования осей на монтажный горизонт при построении опорной фигуры на исходном горизонте направления главных осей должны быть привязаны к окружающим местным предметам, имеющим четкие очертания (риски на стенах близлежащих домов, телевизионные антенны, шпильки и пр.) (рис. 6.1).

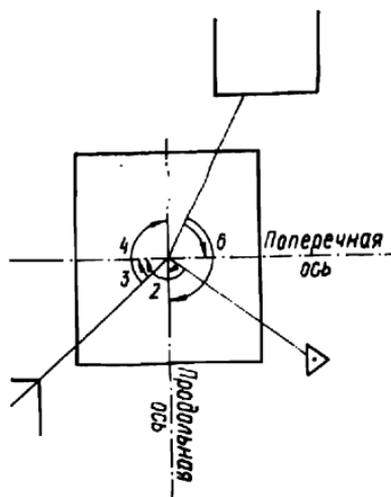


Рис. 6.1. Определение точного положения точки пересечения и направлений главных осей.

Точку пересечения главных осей в этом случае удобнее всего проектировать на монтажный горизонт методом вертикального оптического проектирования. Направления главных осей на монтажном горизонте получают отложением углов  $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5$  и  $\beta_6$  с помощью точного теодолита (Т2, ТБ-1 или Т-5). Углы  $\beta_1$  и  $\beta_2$  определяют направления главных осей, а углы  $\beta_3, \beta_4, \beta_5$  и  $\beta_6$  служат для контроля их разбивки.

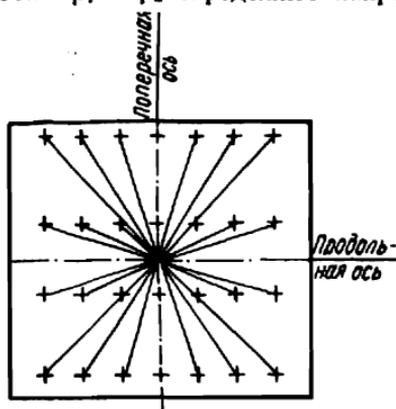


Рис. 6.2. Схема разбивки установочных и контрольных рисок способом полярных координат.

Последующую детальную разбивку установочных и контрольных рисок в данном случае целесообразно выполнить методом полярных координат. Для этого, пользуясь поэтажными планами для каждой типовой серии, вычисляют разбивочные данные: полярные углы и расстояния. Полярные углы откладывают от направления главной (продольной или поперечной) оси теодолитом Т-5 или Т-15, а полярные расстояния — от точки пересечения главных осей при помо-

щи стальных рулеток с миллиметровыми делениями. Схематически описанный способ детальной разбивки мест установки стеновых панелей приведен на рис. 6.2. Способ полярных координат может быть применен и для разбивки установочных и контрольных рисок под стеновые панели многосекционных зданий несложной конфигурации. В таких случаях в качестве поэтажной разбивочной основы целесообразно использовать базисную линию, соединяющую точки пересечения главных осей секций, передаваемых с исходного на монтажные горизонты методом вертикального оптического проектирования. Контроль разбивки осуществляется линейными промерами между вынесенными установочными рисками.

Другим не менее распространенным способом разбивки является способ створов. При использовании этого способа на монтажный горизонт проектируют пункты опорной фигуры пространственной геодезической сети.

Количество проектируемых пунктов на каждой секции долж-

но быть таким, чтобы обеспечить беспрепятственное и быстрое построение конечных точек створов с заданной точностью. После выноса пунктов опорной фигуры на монтажный горизонт и контроля их взаимного положения визированием вдоль линий опорной фигуры и отложением заданных расстояний определяют положение конечных точек ( $a, a'; b, b'; в, в'; г, г'$ ) створов (рис. 6.3). Положение промежуточных точек определяется отложением соответствующих расстояний по каждому створу.

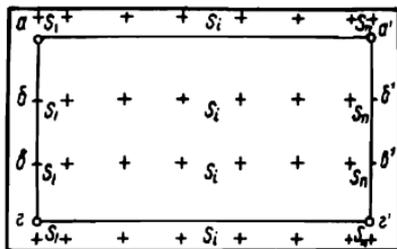


Рис. 6.3. Схема разбивки установочных и контрольных рисок способом створов.

После разбивки установочных и контрольных рисок производится нивелировка монтажного горизонта, а затем и его выравнивание. На каждой панели перекрытия нивелируются 4 точки (рис. 6.4) и не менее двух точек под каждую несущую стеновую панель.

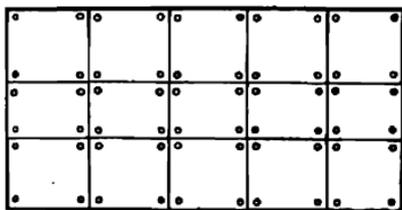


Рис. 6.4. Схема нивелирования панелей перекрытия.

Выравнивание монтажного горизонта производится следующим образом. На схеме нивелирования выбирается наиболее высокая нивелируемая точка (отсчет по рейке наименьший), рейки последовательно устанавливают на остальных точках, под пятку рейки укладывают небольшое количество

бетона и сверху накладывают тонкую металлическую пластину. Легким нажимом рейки выдавливают бетон из-под пятки до тех пор, пока отсчет по рейке не будет равен отсчету на исходной точке.

После затвердения бетонных вкладышей начинают монтировать стеновые панели. Грани панелей ориентируются по установочным рискам, а вертикальность их проверяется при помощи уровней-реек, отвесов или уклономеров. До сваривания закладных деталей осуществляется контроль установки элементов в проектное положение. Контроль соосности панелей

в нижнем сечении осуществляется промерами от контрольных рисков, а в верхнем — при помощи точных уклономеров и маятниковых отвесов. Приемочный контроль после сваривания закладных деталей может быть выполнен методом бокового нивелирования (см. 7.2).

В современных панельных зданиях лифтовые шахты монтируются из объемных блоков. Детальная разбивка шахт и вы-

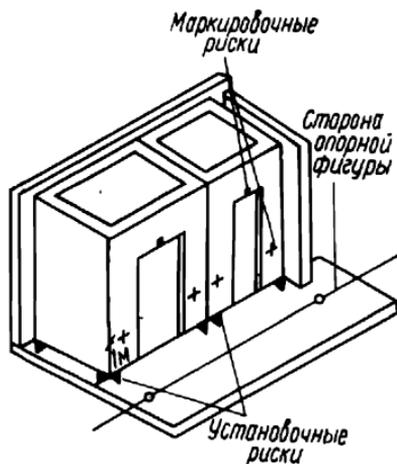


Рис. 6.5. Схема разбивки блоков шахты лифта.

верка объемных блоков должна быть выполнена особенно тщательно. До монтажа объемных блоков производится и их контрольный обмер и маркировка. Контролю подлежат все габаритные размеры блоков: ширина, длина и высота; ширина и высота дверных проемов, прямоугольность боковых граней и параллельность верхней и нижней граней.

При маркировке намечают центры дверных проемов и горизонтальные риски на уровне 1 м от нижней грани. Установочные и контрольные риски разбивают от пунктов и сторон опорной фигуры пространственной сети способом полярных

координат или створов. Схема размещения установочных рисков показана на рис. 6.5. Выверка объемных блоков шахт выполняется при помощи теодолита и нивелира по маркировочным рискам. После монтажа объемного блока шахты на каждом этаже выполняется исполнительная съемка, результаты которой используются при установке лифтового оборудования.

Разбивка сантехнических блоков выполняется аналогично разбивке блоков шахты лифта.

## ГЛАВА 7. МЕТОДЫ КОНТРОЛЬНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ СБОРНЫХ ЖИЛИЩНО-ГРАЖДАНСКИХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

### 7.1. Методы контроля линейных размеров сборных элементов

Основной целью измерения линейных размеров сборных элементов является определение отклонений натуральных размеров от соответствующих проектных.

Кроме того, точность изготовления сборных элементов характеризуется отсутствием искажений конфигурации, шероховатостей и дефектов поверхности. Измерения производят контактным методом при помощи стандартных или специально изготовленных инструментов и приборов. Для уменьшения погрешностей измерений, зависящих от неровностей поверхности измеряемой детали, в местах контакта измерительных средств с поверхностью изделия прокладывают стальную пластину размерами  $(200 \times 200 \times 3)$  мм. Измерению подлежат габаритные и дополнительные размеры элементов, влияющие на их сопряжения при сборке. Схема измерений плит междуэтажных перекрытий и стеновых панелей приведена на рис. 7.1.

Измерения длин до 1 м производятся стандартными штангенциркулями с ценой деления 0,1 мм. Требуемая точность измерения размеров от 500 до 6000 мм может быть получена при помощи линейных или дуговых измерительных скоб с отсчетными устройствами (рис. 7.2).

При отсутствии металлических скоб с отсчетными устройствами измерения можно производить предельными скобами простейшей конструкции. В качестве отсчетного устройства может быть использован обычный микрометрический винт или штангенциркуль.

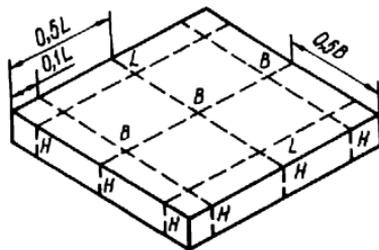


Рис. 7.1. Схема измерений плит междуэтажных перекрытий и стеновых панелей.

Скоба накладывается на измерительную деталь, а величина зазора между ее губками и деталью определяется при помощи микрометричного винта или штангенциркуля. Натурный размер элемента определяется вычитанием зазора из внутреннего размера скобы.

Все указанные измерительные устройства обеспечивают точность определения линейного размера сборного элемента порядка 0,2—0,3 мм.

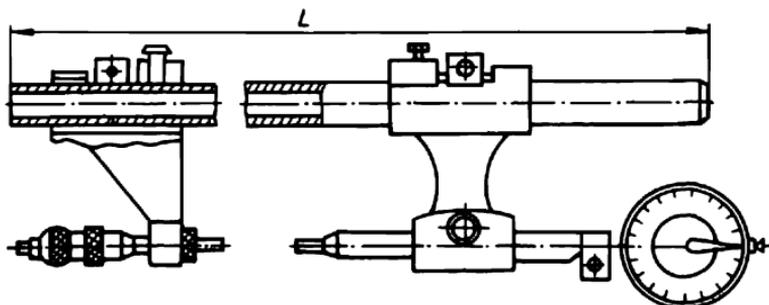


Рис. 7.2. Линейная скоба с отсчетными устройствами.

Для измерения более низкой точности могут быть использованы стальные рулетки со вспомогательными приспособлениями (рис. 7.3). При помощи стальных рулеток можно измерить детали любого размера с точностью 1—2 мм. При этом должно быть обеспечено натяжение рулеток с силой 5 кг. Кроме контрольного измерения основных линейных размеров сборных элементов, необходимо определять конфигурации элементов. Деформации, влияющие на измерение конфигураций элементов, зависят от оборудования и технологии изготовления, а также от внутренних процессов, происходящих в материале изделий.

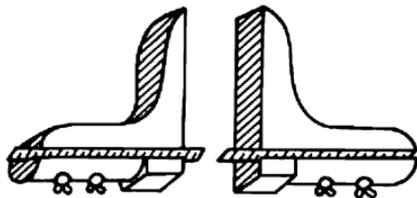


Рис. 7.3. Специальная рулетка для измерения панелей.

Овальность наблюдается чаще всего в железобетонных деталях, изготовленных в горизонтальных формах, и является следствием прогибов бортов этих форм.

Овальность (рис. 7.4) определяется как разность размеров ширины или длины изделия, измеренных по его ребрам ( $l, l_0$ ) и по середине ( $b, b_0$ ). При определении овальности могут быть использованы те же измерительные средства, что и при определении линейных размеров элементов.

Перекос характеризуется неперпендикулярностью пересекающихся граней элемента и может быть определен как разность его диагоналей. Частным случаем перекоса является трапецевидность — случай равных диагоналей. Для установления истинной конфигурации элемента одновременно с измерением диагоналей должны измеряться и его ребра.

При измерении диагоналей геометрическая вершина угла фиксируется с помощью металлического угольника.

Коробление — отклонение одного из углов грани элемента плоскости, проходящей через три

других угла. Величина коробления определяется с помощью измерительного клина при условии совмещения трех углов элемента с поверочной плитой (рис. 7.5).

Клиновидность характеризуется непараллельностью противоположных граней элемента и, следовательно, искажением прямых углов пересекающихся граней и неравенством ребер. Измерить углы пересекающихся граней можно также с помощью универсального угольника или стального угольника и измерительным клином.

Волнистость — искажение грани элемента, характеризующееся величиной  $\delta$ , определяющей расстояние между вершинами и впадинами поверхности. Волнистость может быть определена при помощи установленной по вершинам поверхности стальной 2—3-метровой линейки и микрометрического глубиномера. При отсутствии глубиномера можно использовать штангенциркуль.

Существенное влияние на качество и точность строительно-монтажных работ оказывают околы углов и ребер элементов, наличие наплывов, раковин и трещин в них. Околы углов и ребер измеряют специальным прибором с часовым индикато-

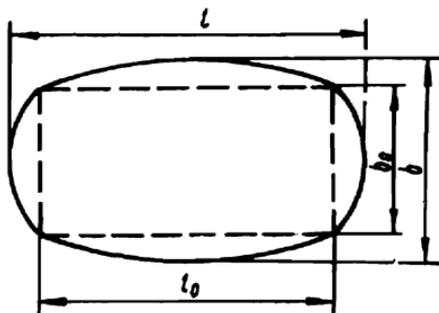


Рис. 7.4. Схема измерения овальности панелей.

ром (рис. 7.6). Наплывы, раковины и трещины измеряют штангенциркулями, глубиномерами и шупами.

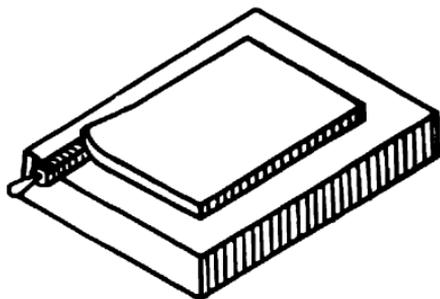


Рис. 7.5. Схема измерения коробления панелей.

гурации и чистоты поверхности на автоматических линиях весьма затруднительно.

При изготовлении железобетонных конструкций на автоматических линиях должно быть обеспечено постоянство размеров формующего оборудования и автоматическая отбраковка готовых изделий при передаче их с цеха на склад, или непосредственно на транспортные средства. Такой автоматический контроль может быть осуществлен с помощью электронных или электрических измерительных устройств.

Разработка таких приборов была выполнена в 1960—1965 гг. в бывшем Ленфилиале АСИА СССР (авторы Л. С. Авир, Е. А. Шилов, А. А. Корбут и Л. Н. Ковалич) и Киевском инженерно-строительном институте (авторы В. М. Сердюков, М. А. Малявко и Т. Т. Чмчян). Имеются соответствующие разработки и за рубежом. Все эти приборы выполняют почти одинаковые операции.

В условиях современного крупнопанельного строительства контролю линейных размеров, конфигурации и чистоты поверхности панелей должно быть отведено значительное место. Заводы — изготовители крупных панелей должны иметь все приборы и инструменты для контроля и постоянно проводить контроль элементов.

Применение инструментов для контроля размеров панелей, их конфи-

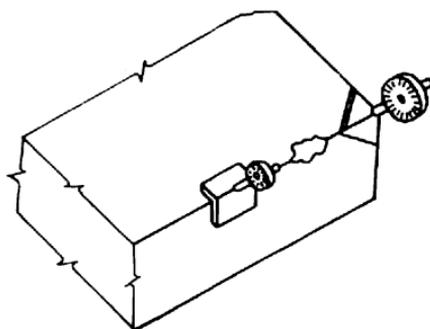


Рис. 7.6. Прибор для измерения околосов углов панелей.

## 7.2. Методы контроля установки сборных элементов в проектное положение

### КОНТРОЛЬ ПРИ ВОЗВЕДЕНИИ ПАНЕЛЬНЫХ И КАРКАСНО-ПАНЕЛЬНЫХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Контроль установки в проектное положение панелей в нижнем сечении осуществляется линейными промерами от разбивочных осей, проходящих параллельно установочным рискам на расстоянии 10—15 см от них. Эти измерения выполняются при помощи специальных линеек с миллиметровыми делениями.

Для контроля вертикальности стеновых панелей применяют отвес, отвес-рейку, уклономеры и маятниковые отвесы. Отвес-рейка (рис. 7.7, а) состоит из деревянной планки с консолью 1, отвеса 5, скобы 4 и шкалы, по которой определяют величину отклонения элемента от вертикали, рейки 3, а также верхнего 2 и нижнего 6 упоров.

Уровень-рейка 1 (рис. 7.7, б) имеет опорные наконечники 4, которыми прикладывается к грани элемента, цилиндрический уровень 3 и ручку 2. Линия, соединяющая концы опорных наконечников, является рабочей осью 5 инструмента, которая должна быть перпендикулярна к оси цилиндрического уровня. Проверка этого условия должна быть периодически выполнена на строго вертикальной стене или на вертикальной линии, заданной теодолитом.

Уклономер конструкции П. И. Барана представляет собой усовершенствованный вариант уровня-рейки. Преимущество этого инструмента состоит в том, что он имеет двусторонний (реверсионный) уровень, позволяющий производить проверку перпендикулярности рабочей оси к оси цилиндрического уровня непосредственно в процессе установки конструкции. Для этого уровень рейки дважды прикладывают к одной и той же грани

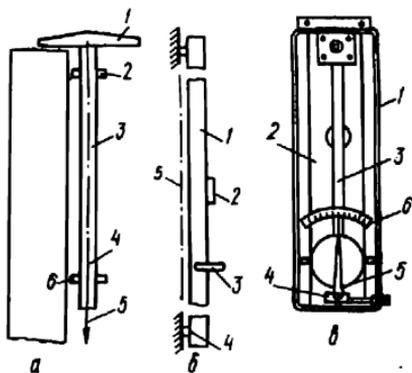


Рис. 7.7. Инструменты для контроля вертикальности стеновых панелей:

а — отвес-рейка; б — уровень-рейка;  
в — маятниковый отвес.

элемента и при повороте рейки на  $180^\circ$  каждый раз берут отсчеты по концам пузырька уровня. При смещении пузырька уровень исправляют юстировочным винтом на половину дуги отклонения.

Маятниковый отвес (рис. 7.7, в) конструкции С. Ф. Чернышева состоит из корпуса 1, несущей рамы 2, штанги с грузом 3 (маятника), которая вращается вокруг оси 4. К оси вращения маятника прикреплена указательная стрелка 5, определяющая отклонение элемента от вертикали. Величину отклонения отсчитывают по шкале 6. Контроль правильности работы маятникового отвеса осуществляется с помощью цилиндрического уровня, прикрепленного к раме.

Существуют и другие конструкции отвесов-реек, уклономеров и маятниковых отвесов, принципиально мало отличающихся от указанных выше.

Расстояния между установленными элементами могут быть проверены при помощи стальных рулеток или телескопических шаблонов.

Установку панелей перекрытий по высоте контролируют геометрическим нивелированием. По результатам такого нивелирования производится выравнивание монтажного горизонта под наибольшую отметку панели перекрытия. Бетонные подушки (высотные маяки), выравненные по указанной отметке, укладывают под каждую стеновую панель в двух крайних и одной средней точках.

Установку колонн каркасно-панельных зданий контролируют определением положения в плане угловых колонн относительно разбивочных осей линейными промерами. Затем между выверенными угловыми колоннами натягивают стальную проволоку и относительно нее проверяют соосность промежуточных колонн вдоль продольной оси. Соосность колонн вдоль поперечной оси контролируют измерением расстояний между ними с помощью стальной рулетки.

Вертикальность колонн проверяют двумя теодолитами по рискам симметрии, предварительно прочерченным в нижней и верхней части колонн. Места установки теодолитов выбирают так, чтобы с одной станции можно было производить наблюдения за колоннами по продольной, а с другой — по поперечной оси.

Отметки консолей колонн определяют геометрическим нивелированием с помощью подвесной рейки или рулетки. Нередко для ускорения процесса контроля отметки консолей до установки на колоннах примерно на высоте инструмента ( $\sim 1,5$  м) проводят горизонтальную риску и измеряют расстояние от нее до верхней грани консоли.

## МЕТОД БОКОВОГО НИВЕЛИРОВАНИЯ

При этом методе предусматривается определение горизонтальных расстояний от вертикальной плоскости до каждой из четырех углов смонтированного элемента. Расстояния эти отсчитывают по горизонтальной рейке, приложенной к углу

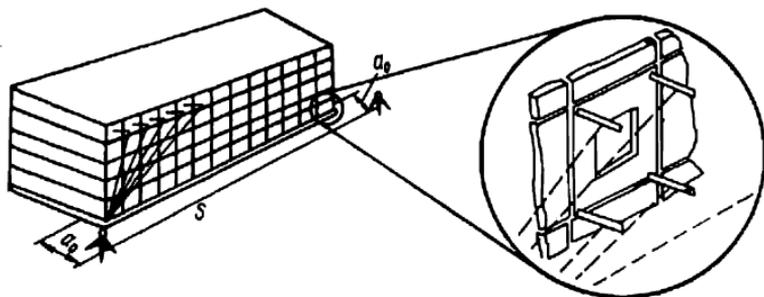


Рис. 7.8. Определение монтажных отклонений методом бокового нивелирования.

панели. Отсчетная вертикальная плоскость обычно задается теодолитом и визирным знаком. Для домов с продольными несущими стенами она должна быть параллельной продольным осям здания (рис. 7.8). Соблюдение этого условия не является обязательным, но оно упрощает вычислительные работы.

Базис, от которого задается вертикальная плоскость, строится отложением отрезков  $a_0$  осевых марок, закрепленных па цоколе здания.

Отклонение оси панели от проектного положения при этом может быть вычислено по формуле

$$\Delta_l = a_0 - a_l - b_l, \quad (7.1)$$

где  $a_0$  — расстояние базиса от проектной оси наружных панелей;  $a_l$  — расстояние от вертикальной плоскости, проходящей через базис  $AB$ , до угла панели;  $b_l$  — половина фактической толщины панели.

Средняя квадратическая погрешность определения величины будет

$$m_{\Delta_l} = \sqrt{m_{a_0}^2 + m_{a_l}^2 + m_{b_l}^2} \quad (7.2)$$

Расстояние  $a_n$  обычно не более 2 м, его можно измерить с достаточной высокой точностью ( $\pm 0,2 + 0,5$  мм). Максимальная точность определения толщины панели составляет  $\pm 1$  мм. Что касается погрешности  $m_{a_1}$ , то она есть результатом влияния большого числа составляющих погрешностей. Наиболее существенные погрешности:  $m_{ц}$  — центрирования теодолита в точке А;  $m_p$  — внецентренности визирного знака в точке В;  $m_{виз}$  — визирования на визирный знак и горизонтальную рейку;  $m_o$  — отсчета по горизонтальной рейке;  $m_n$  — неперпендикулярности рейки к визирному лучу;  $m_{ур}$  — неперпендикулярности оси цилиндрического уровня горизонтального круга к оси вращения теодолита;  $m_{ф}$  — погрешность, вызванная переменной фокусировки трубы;  $m_c$  — погрешность делений рейки.

Таким образом, суммарная погрешность определения горизонтальных расстояний от вертикальной плоскости до углов смонтированных элементов будет

$$m_{a_1} = \sqrt{m_{ц}^2 + m_p^2 + m_{виз}^2 + m_o^2 + m_n^2 + m_{ур}^2 + m_{ф}^2 + m_c^2}. \quad (7.3)$$

Для вычисления величины  $m_{a_1}$  необходимо определить степень влияния каждого из подкоренных компонентов.

Степень влияния погрешности центрирования на точность построения створной плоскости можно выразить формулой

$$m_{ц} = \frac{e}{\sqrt{2}} \left( 1 - \frac{d}{S} \right), \quad (7.4)$$

где  $e$  — линейная величина центрирования прибора;  $d$  — расстояние до горизонтальной рейки;  $S$  — то же до визирной марки.

Среднее квадратическое значение погрешности створа, вызванное внецентренностью визирной марки, вычисляют по формуле

$$m_p = \frac{e_1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{d}{S}. \quad (7.5)$$

Среднюю квадратическую погрешность визирования на четкие визирные цели, расположенные на небольших расстояниях от инструмента, при хорошей освещенности можно принять

$$m_{виз} = \frac{20''}{V}. \quad (7.6)$$

где  $V$  — увеличение зрительной трубы.

Так как при определении монтажных отклонений описываемым методом приходится визировать дважды (вначале визирную цель, установленную в конце створа, а затем горизонтальную рейку), то суммарную погрешность визирования, выраженную в линейной мере, можно представить так:

$$m_{\text{виз}} = \frac{20''}{V_{\rho}''} \sqrt{S^2 + d^2}. \quad (7)$$

Погрешность округлений при отсчете для сантиметровых делений рейки примем равной  $\pm 0,5$  мм. Погрешность в отсчет вызванная неперпендикулярностью горизонтальной рейки к вертикальной створной плоскости, подсчитывают по формуле

$$m_n = \frac{b\varepsilon^2}{2\rho^2}, \quad (7.8)$$

где  $b$  — отсчет по рейке;  $\varepsilon$  — угол наклона рейки по отношению к вертикальной плоскости.

Если предположить, что оси уровней, по которым устанавливается инструмент, составляют с вертикальной осью вращения горизонтального круга угол  $90 - \beta$ , то в результате такой установки ось вращения горизонтального круга будет наклонена к отвесной линии в двух взаимно перпендикулярных плоскостях на угол  $\beta$ . Общий же угол наклона оси вращения алидады к отвесной линии будет

$$\nu = \beta \sqrt{2}. \quad (7.9)$$

В исправном инструменте наклон оси вращения может быть вызван неточностью приведения оси уровня. По данным А. С. Чеботарева, точность приведения оси цилиндрического уровня в горизонтальное положение равна приблизительно  $0,15\tau$ , где  $\tau$  — цена деления уровня.

Исходя из этого выражение (7.9) можно записать

$$\nu = 0,15\tau \sqrt{2} \approx 0,2\tau. \quad (7.10)$$

Вместе с осью вращения алидады на угол  $\nu$  наклоняются и все остальные части инструмента. Суммарная погрешность  $m_{yp}$ , вызванная наклоном оси вращения, выраженной в линейной мере, будет

$$m_{yp} = \frac{0,2\tau}{\rho} \sqrt{S^2 + d^2}. \quad (7.11)$$

Известно, что перемена фокусировки в трубах с внутренним фокусированием приводит к некоторому поперечному перемещению фокусирующей линзы, а это вызывает смещение визирной оси относительно ее первоначального положения. Исследования, проведенные с оптическими теодолитами, показали, что при перемене фокусировки во время визирования на точки створа визирная ось в среднем смещается на 1—2". Отсюда

$$m_{\phi} = \frac{2'' \cdot d}{\rho''} . \quad (7.12)$$

Подставив линейные значения компонентов, образующих погрешность  $m_{a_i}$ , в выражение (7.3), получим

$$m_{a_i} = \sqrt{\frac{e^2(S-d)^2}{2S^2} + \frac{e_1^2 d^2}{2S^2} + \frac{400}{V^2 \rho^2} (S^2 + d^2) + \dots} \rightarrow \\ \rightarrow \dots + \frac{b^2 \epsilon^4}{4\rho^4} + m_0^2 + m_c^2 + \frac{0,04\tau^2}{\rho^2} (S^2 + d^2) + \frac{4d^2}{\rho^2} . \quad (7.13)$$

Параметры  $S$  и  $d$  принимаются в зависимости от типа и размеров крупнопанельного здания.

При определении монтажных отклонений в домах с поперечными несущими стенами наблюдают торцы несущих панелей в нижнем и верхнем сечениях. Наблюдения ведутся с точек базиса, которые лежат в одной створной плоскости с гранями несущих панелей или параллельной им. Величина монтажного отклонения в этом случае также определяется по формуле (7.1).

Средняя квадратическая погрешность определения величины  $m_{a_i}$  в этом случае будет

$$m_{a_i} = \sqrt{m_{исх}^2 + m_{виз}^2 + m_0^2 + m_n^2 + m_c^2 + m_{ур}^2 + m_{\phi}^2} , \quad (7.14)$$

где  $m_{исх}$  — погрешность в положении осевых марок, закрепленных на доколе здания;  $m_{виз}$  — погрешность визирования на марку и горизонтальную рейку;  $m_0$  — погрешность отсчета по рейке;  $m_c$  — случайные ошибки делений рейки;  $m_n$  — погрешность в отсчете, вызванная неперпендикулярностью рейки к визирному лучу;  $m_{ур}$  — погрешность неперпендикулярности оси цилиндрического уровня алидады горизонтального круга к оси вращения теодолита;  $m_{\phi}$  — погрешность, вызванная переменой фокусировки трубы.

Погрешность центрирования в данном случае не влияет на точность определения величины  $m_{a_i}$ . Выражение (7.14) можно представить в виде

$$m_{a_i} = \sqrt{m_{\text{исх}}^2 + \frac{400}{V^2 \rho^2} (S^2 + d^2) + m_0^2 + m_c^2 + \frac{b^2 \epsilon^4}{4 \rho^2} + \dots \rightarrow \dots \rightarrow \frac{0,04 \tau^2}{\rho^2} (S^2 + d^2) + \frac{4d^2}{\rho^2}}$$

При отстоянии теодолита более чем на 50 м от фасада здания величины  $S$  и  $d$  можно считать равными между собой. Тогда

$$m_{a_i} = \sqrt{m_{\text{исх}}^2 + \frac{800d^2}{V^2 \rho^2} + m_0^2 + m_c^2 + \frac{b^2 \epsilon^4}{4 \rho^2} + \frac{0,08 \tau^2}{\rho^2} + \frac{4d^2}{\rho^2}} \quad (7.15)$$

Отклонения, полученные при монтаже крупнопанельных зданий с поперечными несущими стенами, измеренные методом бокового нивелирования, можно считать практически равноточными, чего нельзя сказать об отклонениях в домах с продольными несущими стенами.

### ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКИЙ МЕТОД

Фотограмметрические методы имеют ряд преимуществ, когда необходимо определить координаты большого количества точек и при исследовании недоступных объектов. Однако не следует противопоставлять фотограмметрические и геодезические методы, поскольку геодезические методы организационно более просты и их используют для контрольных измерений при фотограмметрических съемках. Поэтому при выполнении тех или иных работ следует определять возможность и целесообразность применения геодезических и фотограмметрических методов. В целом ряде случаев целесообразно их комбинированное (комплексное) применение.

При решении различного рода измерительных задач непосредственно на строительной площадке, где применение аэрофотосъемки ограничено, в основном используется фототеодолитная съемка. При этом различают: а) плоскую систему координат снимка  $x, z$  (за начало координат принимают точку  $O$  — пересечение осей  $xx$  и  $zz$ ); б) пространственную фотограммет-

рическую систему координат  $X, Y, Z$  (за начало координат принимают переднюю узловую точку объектива фототеодолита при установке его на левом конце базиса; за ось  $Y$  обычно принимают проекцию оптической оси фотокамеры на горизонтальную плоскость; за ось  $X$  — горизонтальную прямую, перпендикулярную к оптической оси; за ось  $Z$  — вертикаль, проходящую через начало координат); в) систему геодезических координат  $X_g, Y_g, Z_g$ , которая может быть государственной или условной и в общем случае не совпадает с фотограмметрической.

Геодезические координаты точек местности по фототеодолитным снимкам могут быть получены двумя способами. Первый основан на непосредственной математической связи между координатами  $x, z$  точек снимка и геодезическими координатами  $X_g, Y_g, Z_g$ , второй дает возможность сначала найти фотограмметрические координаты  $X, Y, Z$  точек местности, а затем перейти от них к геодезическим. Второй способ математически более прост.

Когда требуется найти взаимное положение точек объекта, находят только фотограмметрические координаты, не переходя от них к геодезическим. Обычно так делают при применении фототеодолитной съемки в инженерно-строительном деле (определение деформаций, точность монтажа, объем земляных работ и т. д.).

Фотограмметрические методы контрольных измерений сводятся к определению координат или их разности для точек сооружений и сравнению их с проектными значениями.

Для определения координат точек сооружения необходимо знать элементы ориентирования, которые определяют положение снимков в пространстве в момент съемки. Элементы ориентирования, применительно к фототеодолитной съемке, разделяют на две группы: элементы внутреннего и внешнего ориентирования.

Элементы внутреннего ориентирования определяют положение центра проекции относительно снимка. К ним относятся фокусное расстояние фотокамеры  $f$  и координаты главной точки  $x_0, z_0$ . Элементы внешнего ориентирования определяют положение снимка относительно принятой пространственной системы координат. Положение снимка в пространстве определяется шестью независимыми параметрами, которые в зависимости от принятой системы ориентирования могут иметь разный вид. Обычно в качестве элементов внешнего ориентирования одиночного снимка берут следующие величины: координаты центра проекции  $X_s, Y_s, Z_s$ , дирекционный угол направления оптической оси снимка  $\alpha$ , угол наклона главного луча  $\omega$  и угол по-

ворота снимка в своей плоскости  $x$ . Угол  $x$  определяется в плоскости снимка, он равен углу между осью  $x-x'$  снимка и горизонтальной линией.

Для стереопары выбирают систему элементов внешнего ориентирования, исключая координаты правого конца базиса (центра проекции фотокамеры при установке на правый конец базиса). Элементы внешнего ориентирования будут:

$X_s, Y_s, Z_s$  — координаты левого центра проекции (координаты левого конца базиса);  $A$  — дирекционный угол базиса — горизонтальный угол между базисом и оптической осью левой фотокамеры;  $\omega_l$  — угол наклона оптической оси левой фотокамеры;  $\kappa_l$  — угол поворота левого снимка;  $B$  — горизонтальное положение базиса;  $B_z$  — превышение правого центра проекции относительно левого;  $\gamma$  — угол конвергенции (горизонтальный угол между оптическими осями левого и правого снимков);  $\omega_p$  — угол наклона оптической оси фотокамеры правого конца базиса;  $\kappa_p$  — угол поворота правого снимка.

Выбор такой системы обусловлен тем, что именно эти величины обычно определяются при фототеодолитной съемке.

При съемке оптическая ось фотокамеры может занимать различное положение относительно горизонта и линии базиса. В зависимости от принятых угловых элементов внешнего ориентирования различают следующие случаи съемки: нормально-равномерно-отклоненный, равномерно-наклоненный, конвергентный и общий.

При нормальном случае съемки оптические оси левой и правой фотокамер устанавливают горизонтально и перпендикулярно к базису (рис. 7.9, а); плоскость снимка занимает нормальное положение. Нормальный случай съемки имеет наибольшее применение.

При равномерно-отклоненном случае съемки оптические оси левой и правой фотокамер отклоняются вправо и влево на один и тот же угол (рис. 7.9, б). С одного базиса получают три стереоскопические пары снимков: стереопару для нормального случая, стереопары со скосом влево и вправо.

При конвергентном случае съемки главные лучи левой и правой фотокамер пересекаются (рис. 7.9, в) под углом  $\gamma$

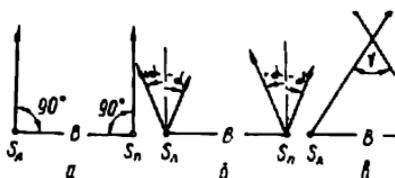


Рис. 7.9. Схема фототеодол съемки фасадов:

а — нормальный случай; б — равномерно-отклоненный случай; в — конвергентный случай.

Равномерно-наклоненный случай съемки получится, если для предыдущих случаев съемки оптические оси левого и правого снимков наклонить на один и тот же угол. Этот случай съемки можно применять при съемке высоких сооружений. И, наконец, при общем случае съемки положение оптических осей снимков может быть самым произвольным.

При съемках сооружений целесообразно применять нормальный случай съемки, поскольку он, как правило, обеспечивает большую точность. Иногда может возникнуть необходимость в применении других случаев съемки.

При измерениях по одиночному снимку координаты точек объекта определяют по формулам:

$$X = Y \frac{x}{f} = x \frac{L}{l} = xM; \quad (7.16)$$

$$Z = Y \frac{z}{f} = z \frac{L}{l} = zM, \quad (7.17)$$

где  $Y$  — отстояние до определяемой точки, которое измеряется в натуре;  $f$  — фокусное расстояние снимка (фотокамеры);  $x$ ,  $z$  — координаты определяемых точек, измеренные по снимку;  $M$  — знаменатель масштаба изображения в точке измерения;  $L$  — расстояние, измеренное на объекте в плоскости, параллельной плоскости снимка;  $l$  — соответствующее расстояние, измеренное на снимке.

Формулы (7.16) и (7.17) показывают, что при использовании одиночного снимка необходимо определять масштаб изображения. Масштаб определяют по измерениям отстояний до определяемых точек или по измерениям расстояний на снимке и объективе.

Формулы для вычисления пространственных координат по стереопаре снимков будут иметь различный вид в зависимости от выбранной системы координат. В приводимых ниже формулах ось  $Y$  пространственной фотограмметрической системы координат перпендикулярна к базису фотографирования и, следовательно, ось  $X$  совмещена с линией базиса.

При нормальном случае съемки пространственные координаты вычисляются по формулам:

$$Y = B \frac{f}{p}; \quad X = B \frac{x}{p}; \quad Z = B \frac{z}{p}, \quad (7.18), (7.19), (7.20)$$

где  $B$  — горизонтальное положение базиса фотографирования, измеряемого при съемке;  $x$ ,  $z$  — координаты определяемой точ-

ки на левом снимке;  $p = x_d - x_n$  — продольный параллакс определяемой точки.

При равномерно отклоненном случае съемки формулы будут иметь вид:

$$Y = B \frac{(f \sin \varphi_n - x_n \cos \varphi_n) (f \cos \alpha - x_n \sin \alpha)}{fp} ; \quad (7.21)$$

$$X = B \frac{(f \sin \varphi_n - x_n \cos \varphi_n) (f \sin \alpha + x_n \cos \alpha)}{fp} ; \quad (7.22)$$

$$Z = B \frac{(f \sin \varphi_n - x_n \cos \varphi_n) z_n}{fp} . \quad (7.23)$$

При конвергентной съемке с горизонтальными осями:

$$Y = B \frac{[f \sin (\varphi_n + \gamma) - x_n \cos (\varphi_n + \gamma)] (f \cos \alpha_n - x_n \sin \alpha_n)}{(f^2 + x_n x_n) \sin \gamma + fp \cos \gamma} , \quad (7.24)$$

$$X = B \frac{[f \sin (\varphi_n + \gamma) - x_n \cos (\varphi_n + \gamma)] (f \sin \alpha_n + x_n \cos \alpha_n)}{(f^2 + x_n x_n) \sin \gamma + fp \cos \gamma} ; \quad (7.25)$$

$$Z = B \frac{[f \sin (\varphi_n + \gamma) - x_n \cos (\varphi_n + \gamma)] z_n}{(f^2 + x_n x_n) \sin \gamma + fp \cos \gamma} . \quad (7.26)$$

При нормальном случае съемки с равномерно наклоненными осями:

$$Y = \frac{(Bf - x_n B_z \sin \omega) (f \cos \omega - z_n \sin \omega)}{fp} ; \quad (7.27)$$

$$X = \frac{(Bf - x_n B_z \sin \omega) x_n}{fp} ; \quad (7.28)$$

$$Z = \frac{(Bf - x_n B_z \sin \omega) (f \sin \omega + z_n) \cos \omega}{fp} . \quad (7.29)$$

На точность определения пространственных координат точек влияют в основном ошибки измерения снимков и ошибки определения элементов внутреннего и внешнего ориентирования. Ошибки элементов внутреннего ориентирования возникают главным образом за счет недостаточного прижима фотопла-

стинки к плоскости прикладной рамки в момент фотографирования и неплоскостности самой фотопластины. Поправки за неприжим можно ввести на основании сравнения расстояний между координатными метками рабочего и эталонного снимков. Однако более точно поправки за неприжим определяют совместно с поправками за нарушение элементов внешнего ориентирования. Влияние неплоскостности фотопластины можно уменьшить путем съемки объекта с одной фотостанции на несколько фотопластинок. Ошибки установки элементов внешнего ориентирования устраняют путем введения соответствующих поправок, определяемых обычно по контрольным точкам, координаты которых вычисляют по геодезическим измерениям.

Исправленные значения координат и продольных параллаксов точек снимка будут получены с суммарными погрешностями, вызванными как погрешностями измерения снимков, так и погрешностями определения поправок. Для средних условий можно принять  $m_x = m_z = 0,02$  мм;  $m_p = 0,01$  мм. В случае маркирования точек точность определения координат повышается и при расчетах можно принять  $m_x = m_z = 0,01$  мм. Для близлежащих точек влияние погрешностей элементов ориентирования имеет примерно равную величину, и поэтому разности координат таких точек получаются более точно, чем между удаленными. Для близлежащих точек (1–5 мм на снимке) при наличии маркировки можно принять  $m_x \approx m_z \approx m_p \approx 0,003$  мм.

Для предварительного расчета точности определения пространственных координат при нормальном случае съемки пользуются формулами:

$$m_y = Y \sqrt{\left(\frac{m_B}{B}\right)^2 + \left(\frac{m_f}{f}\right)^2 + \left(\frac{m_p}{p}\right)^2} \approx \frac{Y^2}{Bf} m_p; \quad (7.30)$$

$$\begin{aligned} m_x &= X \sqrt{\left(\frac{m_B}{B}\right)^2 + \left(\frac{m_x}{x}\right)^2 + \left(\frac{m_p}{p}\right)^2} \approx \\ &\approx \frac{Y}{f} m_x \sqrt{1 + \left(\frac{x m_p}{p m_x}\right)^2}; \end{aligned} \quad (7.31)$$

$$\begin{aligned} m_z &= Z \sqrt{\left(\frac{m_B}{B}\right)^2 + \left(\frac{m_z}{z}\right)^2 + \left(\frac{m_p}{p}\right)^2} \approx \\ &\approx \frac{Y}{f} m_z \sqrt{1 + \frac{z m_p}{p m_z}}. \end{aligned} \quad (7.32)$$

При съемках сооружений целесообразно применять короткофокусные фотокамеры и устанавливать соотношение между базисом и отстоянием

$$\frac{B}{Y} = \frac{\rho_{\text{опт}}}{f} = \frac{x_{\text{макс}}}{f}. \quad (7.33)$$

Такое соотношение базиса и отстояния обеспечивает получение наилучших результатов по точности и производительности работ.

При фототеодолитной съемке отстояния получаются с большей погрешностью, чем координаты  $X, Z$ . Поэтому допустимые отстояния и базис определяют на основании формулы (7.30), по которой рассчитывают среднюю квадратическую ошибку отстояния. При оптимальном значении продольного параллакса  $\rho_{\text{опт}} = x_{\text{макс}}$  отстояние  $Y_{\text{макс}}$ , обеспечивающее получение заданной точности при максимальном продвиге работ, в соответствии с (7.30) будет равно

$$Y_{\text{макс}} = \frac{m_y}{m_p} \cdot \rho_{\text{опт}}, \quad (7.34)$$

а значение базиса

$$B_{\text{опт}} = Y_{\text{макс}} \cdot \frac{\rho_{\text{опт}}}{f}. \quad (7.35)$$

В общем случае при заданном значении отстояния  $Y$  базис рассчитывается по формуле

$$B = \frac{Y^2 m_p}{f m_y}. \quad (7.36)$$

При съемке высоких сооружений отстояние  $Y$  устанавливают исходя из возможности обеспечения захвата здания по высоте

$$Y = \frac{Z_{\text{макс}}}{z_{\text{макс}}} \cdot f, \quad (7.37)$$

где  $Z_{\text{макс}}$  — высота сооружения;  $z_{\text{макс}}$  — максимальное значение координаты  $z$  на снимке.

Если согласно заданной точности по формуле (7.34) отстояние можно взять больше, то следует это сделать, ибо это обеспечит больший захват сооружения по ширине, а следовательно, и больший продвиг работ.

При съемке сооружения целесообразно установить базис параллельно основной плоскости здания. При большой длине сооружения параллельно плоскости здания разбивают створную линию и по теодолиту в створе выставляют точки стояния фототеодолита (рис. 7.10). Точность установки фотостанций в створ не должна быть грубее  $1/5$ — $1/3$  от заданной точности определения отстояния. При контроле всех координат  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$

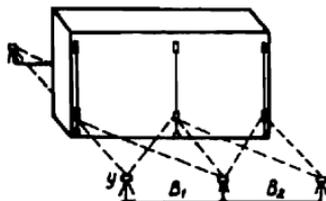


Рис. 7.10. Разбивка базиса и размещение контрольных точек при фототеодолитной съемке фасадов.

точек сооружения для каждой стереопары на сооружении необходимо установить четыре контрольные точки, координаты которых должны быть определены в фотограмметрической системе координат.

Целесообразно контрольные точки устанавливать по так называемой стандартной схеме, когда они находятся на вертикальных и горизонтальных линиях. Наиболее просто это достигается с помощью отвесов, на которых вверху и внизу крепят маркировочные знаки. Последние удобно брать в виде вертикальных полосок или крестов. Ширина знака (полоски) должна быть не менее  $0,02$ — $0,03$  мм в масштабе снимка.

Нижние марки следует по нивелиру установить на одну отметку и определить их превышение относительно координатных меток  $x$  левого и правого фототеодолитов. Отметки верхних марок относительно нижних определяют промером рулеткой. Координаты  $Y$  относительно линии базиса наиболее просто промерить рулеткой. Координаты  $X$  определяют измерением горизонтальных углов с левой фотостанции (если отстояния  $Y$  измерены рулеткой) или измерением горизонтального угла только на левый отвес и расстояния между левым и правым отвесами. Координаты  $X$ ,  $Y$  определяют и другими способами, например, путем только угловых измерений теодолитом с точек стояния фототеодолитов и др. При любом способе точность определения координат контрольных точек должна быть не менее чем в 2—3 раза выше, чем заданная точность контроля сооружения. Базис фотографирования измеряется с точностью  $1/5000$ — $1/10000$ . При повышенных требованиях к точности определения координат  $X$ ,  $Z$  базис целесообразно измерять с точностью до  $1/20000$ .

С каждой фотостанции целесообразно выполнить съемку не менее чем на 2—3 фотопластинки. Измерение первых двух стереопар позволит оценить и повысить точность работ. В случае грубых расхождений после измерения первой и второй стереопар измеряют третью.

Точность работ во многом зависит от качества снимков, поэтому следует особое внимание уделять подбору типа фотопластинок, определению выдержки и режиму фотообработки. Камеральную обработку снимков выполняют по разным схемам в зависимости от заданных требований к контролю сооружения (контролируют только координаты  $Y$  или только  $X$  или  $Z$ ; контролируют координаты только  $Y$ ,  $X$  или  $X$ ,  $Z$  и т. д.); а также в зависимости от количества и расположения контрольных точек и от их координат (известны все координаты  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  для контрольных точек; известны только координаты  $X$ ,  $Z$  и т. д.).

Рассмотрим одну из возможных технологических схем обработки, считая, что четыре или более контрольных точек не расположены строго по стандартной схеме и что для каждой контрольной точки известны все координаты  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  в базисной пространственной системе координат. Порядок камеральной обработки с наиболее полным использованием всех контрольных параметров будет следующий.

1. Измеряют снимки стереопары на стереокомпараторе. Для этого фотопластинки укладывают на каретки стереокомпаратора эмульсией вниз и ориентируют так, чтобы прямые, соединяющие координатные метки снимков, стали параллельными соответствующим осям стереокомпаратора. Затем определяют места нулей шкал стереокомпаратора  $MO_x$ ,  $MO_z$ ,  $MO_p$ ,  $MO_Q$ . Местами нулей шкал будут такие отсчеты, когда измеряемая величина будет равна нулю.

Для определения места нуля шкалы  $z$  левую измерительную марку движениями штурвалов  $x$  и  $z$  наводят на левую и правую координатные метки оси  $xx$  левого снимка и берут отсчеты по шкале  $z$ . Местом нуля  $MO_z$  будет средний из отсчетов.

Для определения  $MO_Q$  штурвалом  $Q$  правую измерительную марку наводят на координатные метки  $xx$  правого снимка в момент, когда левая измерительная марка совмещена с соответствующими координатными метками левого снимка. Местом нуля шкалы  $Q$  будет среднее из отсчетов на две координатные метки.

Для определения места нуля шкалы  $x$  левую марку наводят на координатные метки оси  $zz$  левого снимка и берут отсчеты по шкале  $x$ . Местом нуля  $MO_x$  будет среднее из отсчетов на верхнюю и нижнюю координатные метки.

Для определения места нуля шкалы продольного параллакса правый снимок движениями винтов  $p$  и  $Q$  перемещается так, чтобы правая измерительная марка совместилась с координатными метками оси  $zz$  правого снимка в момент, когда левая измерительная марка совмещена с соответствующими метками левого снимка.

При стереоскопическом измерении снимков движениями штурвалов  $x$  и  $z$  левую измерительную марку необходимо навести на точку левого снимка, а движениями винтов  $p$  и  $Q$  совместить точку правого снимка с правой измерительной маркой. В момент, когда обе марки точно совмещены с идентичными точками левого и правого снимков, делают отсчет по всем четырем шкалам при измерениях на контрольных точках. При измерениях для определяемых точек берут только отсчеты по трем шкалам  $x$ ,  $z$ ,  $p$ .

Измеряемые координаты и параллаксы точки будут равны разности значений между отсчетами по соответствующим шкалам и местами нулей этих шкал, т. е.:

$$\begin{aligned}x'_1 &= x'' - MO_x; & q' &= q'' - MO_Q; \\z'_1 &= z'' - MO_z; & x'_n &= x'_1 - p'; \\p' &= p'' - MO_p; & z'_n &= z'_1 - q',\end{aligned}\quad (7.38)$$

где  $x''$ ,  $z''$ ,  $p''$ ,  $q''$  — отсчеты по шкалам стереокомпаратора.

2. По координатам контрольных точек вычисляют их теоретические значения в плоскости снимка. При нормальном случае съемки вычисления выполняются по формулам:

$$\begin{aligned}p^0 &= B \frac{f}{Y-e}; & z^0_1 &= \frac{p^0}{B} Z = \frac{f}{Y-e} Z; \\q^0 &= B_z \frac{f}{Y-e} = B_z \frac{p^0}{B}; & x^0_n &= \frac{p^0}{B} (X-B) = \frac{f}{Y-e} (X-B); \\x^0_1 &= \frac{p^0}{B} X = \frac{f}{Y-e} X; & z^0_n &= \frac{p^0}{B} (L - B_z) = \frac{f}{Y-e} (L - B_z),\end{aligned}\quad (7.39)$$

где  $e$  — внецентренность передней узловой точки объектива фототеодолита. Для контроля пользуются равенствами:

$$p^0 = x^0_n - x^0_1; \quad q^0 = z^0_n - z^0_1. \quad (7.40)$$

Вычисления следует выполнять с точностью до 0,001 мм.

Для равномерного-отклоненного случая съемки формулы будут иметь вид:

$$\begin{aligned}x_{л}^0 &= f \frac{X \cos \alpha - Y \sin \alpha}{X \sin \alpha + Y \cos \alpha}; \\z_{л}^0 &= f \frac{Z}{X \sin \alpha + Y \cos \alpha}; \\x_{п}^0 &= f \frac{(X - B) \cos \alpha - Y \sin \alpha}{(X - B) \sin \alpha + Y \cos \alpha}; \\z_{п}^0 &= f \frac{Z - B_z}{(X - B) \sin \alpha + Y \cos \alpha}.\end{aligned}\quad (7.41)$$

Для конвергентного случая съемки с горизонтальными оптическими осями получим формулы

$$\begin{aligned}x_{л}^0 &= f \frac{X \cos \alpha_{л} - Y \sin \alpha_{л}}{X \sin \alpha_{л} + Y \cos \alpha_{л}}; \\z_{л}^0 &= f \frac{Z}{X \sin \alpha_{л} + Y \cos \alpha_{л}}; \\x_{п}^0 &= f \frac{(X - B) \cos \alpha_{п} - Y \sin \alpha_{п}}{(X - B) \sin \alpha_{п} + Y \cos \alpha_{п}}; \\z_{п}^0 &= f \frac{Z - B_z}{(X - B) \sin \alpha_{п} + Y \cos \alpha_{п}}.\end{aligned}\quad (7.42)$$

3. Вычисляются поправки в измеренные на снимках значения координат и параллаксов. При малых погрешностях элементов ориентирования уравнения поправок в координаты точек снимка можно представить формулами с учетом членов первого порядка малости. Эти формулы можно представить в виде полиномов:

$$\Delta x_{л} = a_0 + a_1 x_{л}^2 + a_2 x_{л} z + a_3 x_{л} + a_4 z;$$

$$\Delta z_{л} = c_0 + a_1 x_{л} z + a_2 z^2 + a_3 z - a_4 x_{л};$$

$$\Delta x_n = a'_0 + a'_1 x_n^2 + a'_2 x_n z + a'_3 x_n + a'_4 z; \quad (7.43)$$

$$\Delta z_n = c'_0 + a'_1 x_n z + a'_2 z^2 + a'_3 z - a'_4 x_n,$$

где  $x_n = x_n - p$ ;  $z_n \approx z_n \approx z$ .

Свободные члены уравнений (7.43)  $\Delta x$ ,  $\Delta z$  находят как разности теоретических и измеренных значений координат:

$$\Delta x_n = x_n^0 - x'_n; \quad \Delta z_n = z_n^0 - z'_n;$$

$$\Delta x_n = x_n^0 - x'_n = x_n^0 - (x'_n - p'); \quad (7.44)$$

$$\Delta z_n = z_n^0 - z'_n = z_n^0 - (z'_n - q').$$

В уравнениях (7.43) имеем двенадцать неизвестных коэффициентов. Каждая контрольная точка позволяет составить четыре уравнения типа (7.43), поэтому для нахождения всех коэффициентов необходимы три контрольные точки. Однако при трех контрольных точках некоторые определяемые точки будут находиться вне площади, ограниченной контрольными точками, и для этих точек поправки будут находиться с пониженной точностью. Поэтому целесообразно иметь не менее четырех контрольных точек.

При четырех и более контрольных точках, решая систему уравнений по методу наименьших квадратов, получим:

$$na_0 + [x_n^2] a_1 + [x_n z] a_2 + [x_n] a_3 + [z_n] a_4 - [\Delta x_n] = 0;$$

$$[x_n^2] a_0 + [x_n^4 + x_n^2 z^2] a_1 + [x_n^3 z + x_n z^3] a_2 + [x_n^3 + x_n z^2] a_3 - [x_n^2 \Delta x_n + x_n z \Delta z_n] = 0;$$

$$[x_n z] a_0 + [x_n^3 z + x_n z^3] a_1 + [x_n^2 z^2 + z^4] a_2 + [x_n^2 z + z^3] a_3 - [x_n z \Delta x_n + z^2 \Delta z_n] = 0;$$

$$[x_n] a_0 + [x_n^3 + x_n z^2] a_1 + [x_n^2 z + z^3] a_2 + [x_n^2 + z^2] a_3 - [x_n \Delta x_n + z_n \Delta z_n] = 0;$$

$$[z] a_0 + [z^2 - x_n^2] a_4 - [z \Delta x_n - x_n \Delta z_n] = 0;$$

$$na_0 + [x_n z] a_1 + [z^2] a_2 + [z] a_3 - [x_n] a_4 - [\Delta z_n] = 0;$$

$$na'_0 + [x_n^2] a'_1 + [x_n z] a'_2 + [x_n] a'_3 + [z] a'_4 - [\Delta x_n] = 0; \quad (7.45)$$

$$\begin{aligned}
& [x_n^2] a_0' + [x_n^4 + x_n^2 z^2] a_1' + [x_n^3 z + x_n z^3] a_2' + \\
& + [x_n^3 + x_n z^2] a_3' - [x_n^2 \Delta x_n + x_n z \Delta z_n] = 0; \\
& [x_n z] a_0' + [x_n^3 z + x_n z^3] a_1' + [x_n^2 z^2 + z^4] a_2' + \\
& + [x_n^2 z + z^3] a_3' - [x_n z \Delta x_n + z^2 \Delta z_n] = 0; \\
& [x_n] a_0' + [x_n^3 + x_n z^2] a_1' + [x_n^2 z + z^3] a_2' + \\
& + [x_n^2 + z^2] a_3' - [x_n \Delta x_n + z \Delta z_n] = 0; \\
& [z] a_1' + [z^2 - x_n^2] a_4' - [z \Delta x_n - x_n \Delta z_n] = 0; \\
& p a_0' + [x_n z] a_1' + [z^2] a_2' + [z] a_3' - [x_n] a_4' - [\Delta z_n] = 0.
\end{aligned}$$

Полученная система уравнений решается по схеме Гаусса (определяются неизвестные коэффициенты  $a, c$ ). Подставляя коэффициенты в уравнения (7.43), найдем поправки для определяемых точек, а затем исправленные значения координат  $x_n, z_n$  и продольного параллакса  $p$ :

$$x_n = x_n' + \Delta x_n; \quad z_n = z_n' + \Delta z_n; \quad (7.46)$$

$$p = p' + \Delta p = p' + (\Delta x_n - \Delta z_n).$$

4. Подставляя исправленные значения координат и продольных параллаксов в формулы (7.27)–(7.39), найдем пространственные координаты определяемых точек сооружения. По разностям координат можно найти расстояния между различными точками и осями сооружения и сравнить их с проектными значениями.

Координаты  $Z$  для контроля и повышения точности можно определить по измерениям  $z_n$  на правом снимке. Координаты по измерениям правого снимка находим по формуле

$$Z = B \frac{z_n}{p} + B_z, \quad (7.47)$$

где  $z_n = (z_n' - q') + \Delta z_n$ .

Поправка  $\Delta z_n$  определяется в соответствии с (7.43).

Определение коэффициентов  $a, c$  упрощается, если четыре контрольных точки располагаются строго по стандартной схеме.

Примечание. Допустимые отступления от стандартной схемы можно подсчитать по приближенной формуле

$$(\bar{\Delta})_{\text{доп}} = \frac{\delta_{\text{доп}}}{\Delta} \xi,$$

где  $\delta_{\text{доп}}$  — допустимая погрешность при определении поправки в измеренные координаты;  $\Delta$  — максимальное значение невязки в координатах на контрольных точках;  $\xi$  — максимальное значение координат. Так, при  $\delta_{\text{доп}} = 0,002$  мм и  $\xi = 75$  мм получим

$$(\bar{\Delta}) = \frac{0,15}{\Delta}.$$

Следовательно, при невязке  $\Delta = 0,15$  мм отступления от стандартной схемы не должны превышать 1 мм в масштабе снимка. Так, если точки 1, 2 находятся в главных точках левого и правого снимков ( $x_{л1} \approx z_{л2} \approx x_{п2} \approx z_{п1} = 0$ ), то, решая уравнения поправок (7.44), для этого случая получим:

$$\begin{aligned} a_0 &= \Delta x_{л1}; \quad c_0 = \Delta z_{л1}; \quad a_0 = \frac{\Delta x_{л4} - \Delta x_{л2}}{x_{л1}^2} - \frac{\Delta z_{л2} - \Delta z_{л4}}{x_{л2}}; \\ a_1 &= \frac{(\Delta z_{л4} - \Delta z_{л2}) - (\Delta z_{л2} - \Delta z_{л4})}{x_{л2}}; \\ a_2 &= \frac{(\Delta x_{л4} - \Delta x_{л2}) - (\Delta x_{л2} - \Delta x_{л4})}{x_{л2}}; \\ a_3 &= \frac{\Delta z_{л2} - \Delta z_{л4}}{z} - \frac{(\Delta x_{л4} - \Delta x_{л2}) - (\Delta x_{л2} - \Delta x_{л4})}{x_{л}}; \\ a_4 &= \frac{\Delta z_{л1} - \Delta z_{л2}}{z}; \quad a_4 = \frac{\Delta x_{л2} - \Delta x_{л1}}{x_{л}}; \\ a_0 &= \Delta x_{п1}; \quad c_0 = \Delta z_{п1}; \quad a_1' = \frac{(\Delta x_{п2} - \Delta x_{п1})}{x_{п1}^2} - \frac{(\Delta z_{п1} - \Delta z_{п2})}{x_{п2}}; \\ a_1' &= \frac{(\Delta z_{п2} - \Delta z_{п1}) - (\Delta z_{п1} - \Delta z_{п2})}{x_{п2}}; \end{aligned} \quad (7.48)$$

$$a_2' = \frac{(\Delta x_{n_3} - \Delta x_{n_1}) - (\Delta x_{n_4} - \Delta x_{n_2})}{x_{n_2} z};$$

$$a_3' = \frac{\Delta z_{n_4} - \Delta z_{n_2}}{z} - \frac{(\Delta x_{n_3} - \Delta x_{n_1}) - (\Delta x_{n_4} - \Delta x_{n_2})}{x_{n_1}};$$

$$a_4' = \frac{\Delta x_{n_4} - \Delta x_{n_2}}{x_{n_1}}; \quad a_4 = \frac{\Delta z_{n_4} - \Delta z_{n_2}}{z}.$$

Использование формул (7.45) при разности продольных параллаксов в пределах стереопары до 10 мм позволяет определять поправки с точностью до 0,001 мм. При использовании формул (7.48) разность продольных параллаксов между точками для снимков с неприжимом не должна превышать 1—2 мм; для снимков, у которых отсутствуют искажения за неприжим, разности продольных параллаксов могут составить 4—5 мм.

Определение координат точек сооружения по измерениям одной стереопары можно выполнить со средними квадратическими погрешностями порядка:

$$m_y = \left( \frac{1}{5000} + \frac{1}{8000} \right) Y; \quad m_{x,z} = \left( \frac{1}{10\,000} + \frac{1}{20\,000} \right) Y. \quad (7.49)$$

Для повышения точности работ съемку следует производить на две-три фотопластины, а измерения снимков необходимо выполнять в два приема, причем на контрольные точки отсчеты делают перед измерением для определяемых точек и после измерений. При такой методике точность определения координат повышается в 1,5—2 раза.

Рассмотренный выше фотограмметрический метод может быть использован для контроля любого сооружения. В некоторых частных случаях порядок работ можно изменить и упростить. Так, иногда необходимо контролировать только соосность конструкций, тогда определению подлежат только координаты  $X$  и  $Y$ . Некоторые особенности возникают при съемке сооружений, имеющих круглую форму, и т. д.

## ГЛАВА 8. ПРИБОРЫ И ИНСТРУМЕНТЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ПРИ РАЗБИВОЧНЫХ РАБОТАХ В ЖИЛИЩНО-ГРАЖДАНСКОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

### 8.1. Теодолиты

Оптический теодолит типа Т2 (рис. 8.1) предназначен для измерения горизонтальных углов и зенитных расстояний в геодезических сетях 3 и 4-го классов, а также при производстве точных инженерно-геодезических работ.

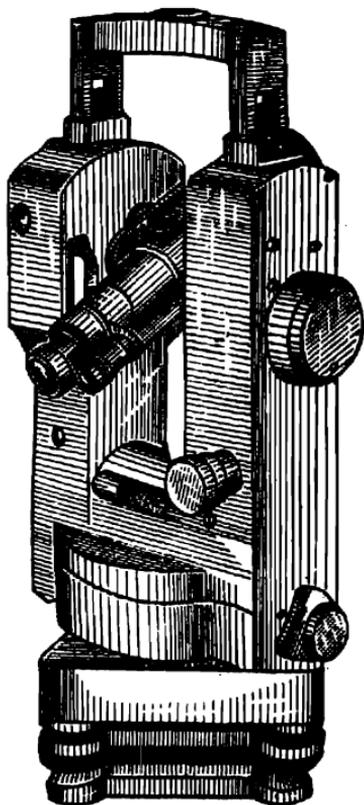


Рис. 8.1. Теодолит Т2.

Зрительная труба теодолита — центральная, она переводится через зенит обоими концами. Посадочный диаметр объектива равен 46 мм. Труба снабжена оптическими визирами для предварительного наведения ее на цель. Предусмотрена подсветка сетки нитей при ночных работах. Сетка нитей, кроме креста, имеет две пары дальномерных штрихов с коэффициентами дальномера 100 и 200; угловая величина биссектора сетки составляет 40".

Телеобъектив зрительной трубы включает четыре линзы объектива и отрицательный компонент фокусирующей линзы. Окуляр трубы — пятилинзовый, с исправленной кривизной поля. По качеству коррекции aberrаций труба теодолита Т2 относится к апохроматам.

Вертикальная ось теодолита — цилиндрическая, полая, жестко связана своим верхним фланцем с алидадной частью теодолита. Внутри оси находится объектив оптического отвеса. Увеличение трубы отвеса  $2,5\times$ , пределы визирования 0,3 м—∞.

Горизонтальная ось жестко связана с корпусом зрительной

трубы. Своими цапфами ось установлена в лагерах. Со стороны колонки, несущей оптический микрометр, можно изменять наклон горизонтальной оси. На одном конце оси укреплен вертикальный круг, на другом расположена втулка с хомутиком, связывающим ось с наводящим винтом трубы.

Вращение алидады по азимуту, а зрительной трубы по высоте обеспечивается с помощью наводящих устройств рычажно-винтового типа при затянутых закрепительных винтах; закрепительные и наводящие винты алидады и трубы расположены соосно. Расход наводящих винтов около  $4,5^\circ$ .

Горизонтальный и вертикальный круги изготовлены из оптического стекла. Наименьшее деление их круговых шкал (лимбов) —  $20'$ . Для отсчитывания по лимбам применен принцип совмещенного отсчета диаметральных штрихов с помощью оптического микрометра с подвижными клиньями и шкалой, содержащей 600 делений. Цена одного деления шкалы  $1''$ .

Переключение изображений штрихов лимбов в поле зрения отсчетного микроскопа осуществляется перемещением призмы, связанной с рукояткой, расположенной на колонке прибора. Подсветка поля зрения микроскопа может выполняться как с помощью электрического фонарика, закрепляемого на колонке — за иллюминатором, так и с помощью зеркала — от дневного света. Перестановку горизонтального круга производят вращением рукоятки, связанной через шестерни с оправой круга, предварительно нажимая на нее вдоль оси и вводя шестерни в зацепление. Вертикальный круг жестко связан с горизонтальной осью и переставляется.

При вертикальном круге теодолита имеется контактный уровень, концы пузырька которого совмещают в поле зрения призмы каждый раз перед взятием отсчета по лимбу.

Результаты испытаний теодолита Т2 показали, что средняя квадратическая погрешность измерения горизонтального угла одним приемом составляет  $2''$ , а зенитного расстояния —  $3''$ .

Теодолит Т2 работоспособен в диапазоне температур от  $-40$  до  $+50^\circ\text{C}$ .

Среди аналогов теодолита Т2 по точности и назначению, выпускаемых за рубежом, следует отметить Theo 010А Народного предприятия «Карл Цейсс» (Йена, ГДР), Те-В1 завода МОМ (ВНР), Тн-2 фирмы «Файнтехник Оптон» (ГДР), ДКМ-2 фирмы «Керн Ааррау» (Швейцария), Т2 фирмы «Вильд Хербруг» (Швейцария).

Оптический теодолит типа Т5 (рис. 8.2) применяется для измерения горизонтальных и вертикальных углов в геодезических построениях 1 и 2-го разрядов и при различного рода инженерно-геодезических работах.

Промышленность выпускает теодолит в двух исполнениях: Т5 с уровнем при вертикальном круге и Т5К — с компенсатором.

Зрительные трубы теодолитов Т5 и Т5К — прямые, астрономические, центральные, с внутренней фокусировкой; переводятся через зенит обонми концами. Посадочный диаметр оправы объектива 46 мм. В центральной части трубы установлены оптические визиры. Крестообразная сетка нитей имеет дальномерные штрихи с коэффициентами нитяного дальномера 100 и 200. Угловая величина биссектора сетки равна 50".

Телеобъектив зрительной трубы включает четыре линзы объектива и отрицательный фокусирующий компонент. Окуляр трубы пятилинзовый с исправленной кривизной поля. По качеству коррекции aberrаций труба теодолита относится к ахроматам. Светопропускание трубы 65—70, светорассеивание 6—10%. Вертикальная ось — цилиндрическая, полукинематического типа, с опорой на подшипник в нижней части. Полость внутри оси использована для оптического отвеса, окулярная часть которого расположена на алидаде прибора. Горизонтальная ось кинематического типа, с эксцентричным расположением лагера относительно наружного отверстия. Внутри полости горизонтальной оси проходит пучок света от лимба к окуляру отсчетного микроскопа.

Для обеспечения возможности измерения углов способом повторений в теодолитах Т5 и Т5К применено повторительное устройство. Соединение с алидадой частью осуществляется с помощью защелки повторительного устройства. При нажатии на клавишу заделка захватывает диск, связанный с осью вращения круга. В этом случае будет также

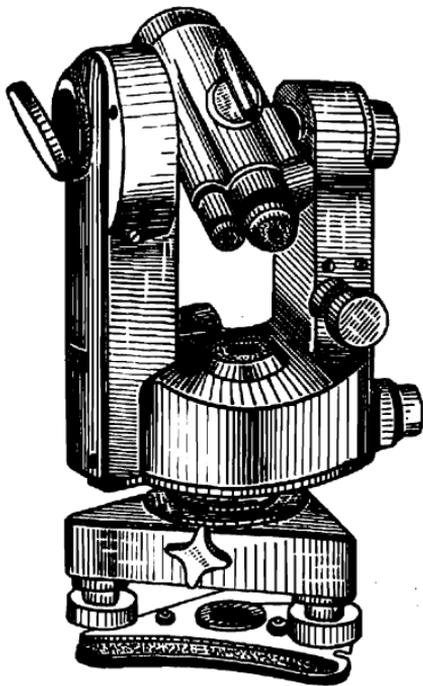


Рис. 8.2. Теодолит Т5.

вращаться и горизонтальный круг. Если нажать на фиксатор, защелка освободит диск, тогда при вращении алидады горизонтальный круг будет неподвижен.

Конструкция закрепительных и наводящих винтов у Т5 и Т5К такая же, как и в теодолите Т2.

Оптическая отсчетная система двухканальная — одна ветвь передает изображение штрихов с горизонтального круга, другая — с вертикального. Подсветка лимбов осуществляется дневным светом с помощью зеркала. Увеличение отсчетного микроскопа 70×. Шкаловой микроскоп теодолитов Т5 и Т5К позволяет производить отсчеты по лимбам до 0,1'. Различие теодолитов Т5 и Т5К состоит в том, что у теодолита Т5К одна из призм оптической системы вертикального круга, подвешенная на плоской пружине, выполняет роль компенсатора. Диапазон действия подвесной системы  $\pm 3'$ , точность установки 1,5—2". С применением компенсатора осуществлен самоустанавливающийся отсчетный индекс вертикального круга. В Т5 при вертикальном круге имеется уровень контактного типа.

**Оптические теодолиты типа Т15** (рис. 8.3) предназначены для измерения углов в теодолитных и тахеометрических ходах, триангуляционных построениях, применяемых при создании съёмочных сетей, а также для выполнения различного рода инженерно-геодезических разбивочных работ.

Т15 относится к теодолитам повторительного типа с односторонним отсчетом по лимбам.

Зрительная труба теодолита Т15 — астрономическая, прямая, центральная, с внутренней фокусирующей; переводится через зенит обоими концами. Оптическая схема трубы содержит три несклеенные линзы объектива, двухлинзовый склеенный фокусирующий компонент, сетку нитей с дальномерными штрихами и симметричный окуляр. Коэффициент дальности  $100 \pm \pm 0,5\%$ , постоянное слагаемое — 0. Посадочный диаметр объектива 46 мм. Головка фокусирующей линзы выведена на боковую крышку одной из колонок. Труба имеет два оптических визира. Светопропускание трубы 65, светорассеивание — 8%.

Вертикальная ось цилиндрическая, полая, конструктивно оформлена так же, как ось теодолита Т5. Повторительное устройство также унифицировано, заимствовано от теодолита типа Т5.

Зрительная труба и алидада горизонтального круга имеют закрепительные устройства с головками куркового типа, на одной оси с которыми располагаются головки наводящих устройств пычажно-винтового типа.

Оптическая отсчетная система теодолита Т15 одноканальная. Испытания теодолита Т15 показали, что средняя квадра-

тическая погрешность измерения горизонтальных углов способом круговых приемов составляет  $10''$ , способом повторений —  $5''$ , а погрешность измерения вертикальных углов —  $20''$  (при введении поправки, вызванной эксцентриситетом, погрешность можно уменьшить до  $10''$ ).

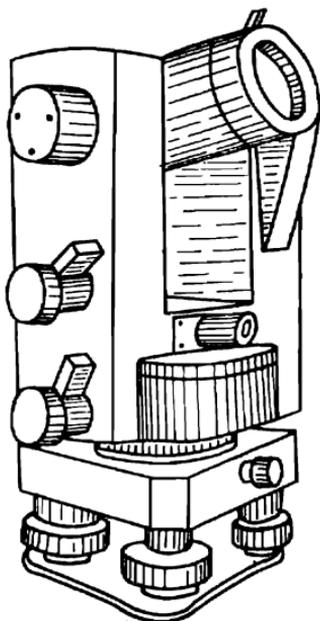


Рис. 8.3. Теодолит Т15.

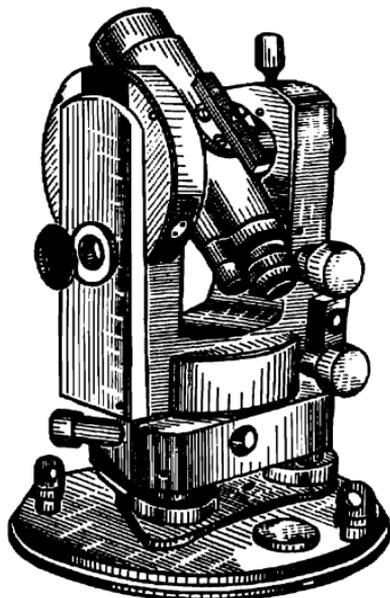


Рис. 8.4. Теодолит Т30.

Среди аналогов теодолита Т15 по назначению и точности следует указать Те-Е5 завода МОМ (ВНР), Т-1 фирмы «Миллер Инсбрук» (Австрия), теодолит FTS фирмы «Отто Фенель» (ФРГ), Микгортис I фирмы «Хилгер и Ваттс» (Англия).

Теодолиты типа Т30 (рис. 8.4) предназначены для топографической съемки небольших участков местности, а также для выполнения измерений углов в геодезических построениях низших порядков с точностью около  $30''$ . Относятся к оптическим теодолитам повторительного типа с односторонней системой отсчитывания по кругам.

Зрительная труба астрономическая, прямая, с внутренней фокусировкой, осуществляемой вращением головки, вынесенной на одну из колонок. Посадочный диаметр объектива трубы 38 мм. Зрительная труба снабжена оптическими визирами для удобства предварительного наведения на цель. Через зенит труба может переводиться обоими концами. При центрировании над точкой может использоваться как оптический отвес; для этого ее устанавливают вертикально объективом вниз и визируют на точку через отверстие в полой вертикальной оси (отсчет по вертикальному кругу при этом должен быть  $270 \pm \pm 2^\circ$ ). Объектив трубы двухлинзовый; фокусирующая линза состоит из двух склеенных компонентов, окуляр симметричного типа, сетка нитей с перекрестием, вертикальным биссектором и дальномерными штрихами. Коэффициент дальномера 100, постоянное слагаемое равно 0.

Вертикальная ось цилиндрическая, несколько упрощенной конструкции, чем в теодолитах Т2 и Т5: из-за небольшой массы алидады в качестве опорных поверхностей использованы торцы втулки и оси. Оправа, несущая горизонтальный круг, укреплена на втулке вертикальной оси; втулка может свободно вращаться внутри баксы как от руки, так и с помощью наводящего винта круга. Если закрепительный винт горизонтального круга затянут, то хомутик, расположенный на втулке, окажется соединенным со втулкой. Поэтому, при работе наводящим винтом круга будут вращаться втулка, скрепленный с ней круг и вся алидадная часть теодолита. При этом отсчет по лимбу будет неизменным. Если действовать наводящим винтом алидады, то алидадная часть теодолита будет вращаться вокруг вертикальной оси относительно неподвижного лимба.

Оптическая отсчетная система теодолита Т30 одноканальная, отсчет производится с помощью индекса по одному концу диаметра лимба. Подсветка кругов осуществляется от зеркала.

Подставка теодолита Т30 неотделима, нижняя ее часть служит поддоном металлического футляра.

Среди аналогичных зарубежных теодолитов следует указать Theo 120, Theo 080 (ГДР), Те-Е4 (ВНР), Th-5 (ФРГ) и 4138-С (Италия).

## 8.2. Поверки и исследования теодолитов

Теодолиты в соответствии с их геометрической конструкцией должны удовлетворять следующим условиям:

1. Ось цилиндрического уровня на алидаде горизонтального круга должна быть перпендикулярна, а ось сферического уровня — параллельна вертикальной оси инструмента.

2. Плоскость горизонтального лимба должна быть перпендикулярна к вертикальной оси инструмента, а вертикального — к оси вращения трубы.

3. Ось вращения алидады горизонтального и вертикального кругов должна проходить соответственно через центры горизонтального и вертикального лимбов.

4. Визирная ось трубы должна быть перпендикулярна к ее горизонтальной оси вращения.

5. Ось вращения трубы должна быть перпендикулярна к вертикальной оси инструмента.

6. Вертикальная визирная нить должна быть перпендикулярна к оси вращения трубы.

7. Окулярное или объективное фокусирующее колено или патрубков с фокусирующей линзой должны иметь правильный ход.

8. Место нуля  $M_0$  или место зенита  $M_Z$  должно быть равно или близко к нулю.

9. Визирная ось оптического отвеса должна совпадать с вертикальной осью инструмента.

Поверки и исследования рекомендуется производить в последовательности, приведенной ниже.

**Исследования условия 2.** Если плоскость лимба неперпендикулярна к оси инструмента, то при вращении алидады вокруг ее оси между лимбом и верньером будет появляться вертикальный зазор, влекущий за собой параллакс в отсчитывании по верньеру.

В инструментах с микроскопами при вращении алидады будет происходить расфокусировка и изменение цены деления шкалы отсчетного приспособления.

**Поверка условия 1.** Цилиндрический уровень устанавливают по направлению, параллельному двум подъемным винтам, и вращением их во взаимно противоположных направлениях устанавливают пузырек уровня на середину. Поворачивают алидаду на  $180^\circ$  вокруг вертикальной оси и наблюдают положение пузырька. Если пузырек окажется не на середине, то условие нарушено и в этом случае делают исправление: исправительным винтом при уровне перемещают пузырек к середине наполовину его схода.

Круглый уровень можно выверять так же, как и цилиндрический, но обычно это делают при помощи цилиндрического выверенного уровня.

По цилиндрическому уровню вертикальную ось инструмента устанавливают отвесно, а пузырек круглого уровня, если он окажется не на середине, исправительными винтами совмещают с нуль-пунктом.

**Проверка условия 6.** Трубу перекрестием сетки наводят на точку, а затем наклоняют ее вокруг вертикальной оси так, чтобы изображение точки оказалось на краю поля зрения. Изображение точки не должно сходиться с вертикальной нитью сетки. Если оно сходится, то делают исправление: ослабляют винты, соединяющие окулярный патрубок с корпусом трубы, и поворачивают его так, чтобы изображение точки оказалось на вертикальной нити.

**Проверка условия 4.** Если визирная ось неперпендикулярна к оси вращения трубы, то возникает коллимационная погрешность ( $c$ ), величина которой обратно пропорциональна косинусу вертикального угла. При горизонтальном положении трубы погрешность ( $c$ ) =  $c$ , а погрешность ( $i$ ) от неперпендикулярности оси к вертикальной оси инструмента равна нулю. Чтобы погрешность ( $i$ ) не оказала влияния на результаты определения коллимационной погрешности, проверку следует производить при горизонтальном положении трубы.

Перекрестием сетки трубу наводят на удаленную точку, находящуюся приблизительно на горизонте инструмента, вначале при одном положении круга, затем при другом, и после каждого наведения берут отсчеты по обоим отсчетным приспособлениям. Разность между отсчетами не должна быть более допуска, установленного инструкцией по производству геодезических работ. При наличии недопустимой коллимационной погрешности делают исправление, т. е. алидаду горизонтального круга устанавливают на средний отсчет, свободный от погрешности, и боковыми исправительными винтами при сетке смещают ее так, чтобы точка визирования оказалась на вертикальной нити.

**Проверка условия 5.** Погрешность в отсчете по лимбу от неперпендикулярности оси вращения трубы к вертикальной оси инструмента при горизонтальном положении трубы равна нулю, а при наклонном — пропорциональна тангенсу угла наклона. Поэтому проверку условия 5 следует производить по возможности при больших углах наклона трубы.

Трубу перекрестием сетки наводят на точку, находящуюся под большим углом наклона. Закрепив в таком положении алидаду горизонтального круга, приводят трубу в горизонталь-

ное положение и проектируют след  $m_1$  визирной оси на стене, если поверка производится у здания, или на рейку, закрепленную перпендикулярно к коллимационной плоскости. Переводя трубу через зенит, повторяют проектирование точки и получают второй след  $m_2$ . Если расстояние между точками  $m_1$  и  $m_2$

$$l > 4\tau'' \operatorname{tg} \alpha \frac{d}{\rho} \quad (8.1)$$

( $d$  — расстояние от оси вращения трубы до стены или рейки;  $\alpha$  — угол наклона линии визирования на точку;  $\tau$  — цена деления установочного уровня), то делают исправление. Точно посередине между  $m_1$  и  $m_2$  намечают третью точку и перекрестием сетки наводят на нее трубу. Затем наводят трубу на точку визирования и исправительными винтами при одной из подставок трубы наклоняют горизонтальную ось вращения ее на такой угол, чтобы изображение точки визирования оказалось на вертикальной нити сетки.

Теодолиты оптического типа исправительных винтов не имеют, поэтому их исправление производится в мастерской.

**Исследование условия 3 (эксцентриситета алидады).** В инструментах с двумя отсчетными приспособлениями или с двусторонним оптическим микрометром погрешность эксцентриситета исключается в среднем арифметическом из отсчетов по диаметрально противоположным отсчетным приспособлениям.

**Исследование условия 7.** На удаленную точку, находящуюся на горизонте инструмента, наводят трубу перекрестием сетки вначале при одном, потом при другом положении круга и после каждого наведения берут отсчеты по лимбу. Составляют разность между отсчетами и получают двойную коллимационную погрешность  $2c_1$ . Повторяют аналогичные наблюдения на точку, находящуюся вблизи инструмента, разность отсчетов составит второе значение коллимационной погрешности  $2c_2$ . Эти разности не должны значительно отличаться между собой.

Для оптических теодолитов типа Т2 исследование этого условия рекомендуется производить совместно с поверкой условия 4. Коллимационную погрешность определяют при расстояниях до точек визирования в 20, 40, 100, 200, 400 и 1000 м. Колебание между  $2c$  не должно быть более  $10''$ .

**Поверка условия 8 (места нуля).** В теодолитах и тахеометрах место нуля или место зенита должно быть равно нулю или незначительно отличаться от нуля.

Из измерений вертикального угла при двух положениях круга КП и КЛ вычисляют место нуля М<sub>0</sub> (зенита). Если М<sub>0</sub> не равно нулю, то делают исправление.

Вычисляют вертикальный угол (зенитное расстояние) и определяют соответствующий ему отсчет по лимбу, который бы получился, если бы М<sub>0</sub> было равно нулю. Не нарушая положения трубы, наведенной на точку, вращением микрометрического винта алидады вертикального круга устанавливают ее на полученный отсчет и исправительными винтами при уровне смещают пузырьки на середину.

Если отсчетным приспособлением является винтовой или оптический микрометр, то указанный отсчет устанавливают вначале микрометром, а потом на алидаде.

В инструментах с компенсатором вместо уровня, М<sub>0</sub>, если оно более 4—5', исправляют с помощью вертикальных исправительных винтов при сетке. Зрительную трубу устанавливают на отсчет по вертикальному лимбу, равный измеренному углу, и изображение точки визирования исправительными винтами совмещают с горизонтальной нитью сетки.

**Исследование условия 9.** По хорошо выверенному уровню на алидаде горизонтального круга устанавливают вертикальную ось инструмента в отвесное положение и, закрепив зажимным винтом алидаду, поворачивают ее вместе с лимбом вокруг вертикальной оси на 180°. Пузырек уровня не должен уходить из среднего положения более чем на одно деление.

Периодически, а также после получения инструмента с завода или из ремонта дополнительно исследуют зрительную трубу на качество изображения, отсчетное приспособление на соответствие длины шкалы цене деления лимба (определение рена), уровень на чувствительность. Определяют также цену деления уровня. Проверяют правильность работы подъемных микрометрических и наводящих винтов.

**Проверка оптического отвеса.** Отвес прикреплен к подставке. Условие проверяют проектированием следа коллимационной плоскости зрительной трубы угломерного инструмента в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Трубу хорошо выверенного инструмента, установленного в рабочее положение, наводят на колышек, находящийся на расстоянии 2,5—3 м от инструмента, и острым карандашом отмечают на нем след коллимационной плоскости (вертикальной нити). Переводят трубу через зенит и так же проектируют и отмечают карандашом след коллимационной плоскости на втором колышке.

Вращают алидаду вокруг вертикальной оси на 90° и отмечают следы коллимационной плоскости на двух других колышках, закрепленных на таком же расстоянии, как и первый.

Между накрест расположенными кольшками, в створе мегок, на них натягивают тонкие нити и смотрят, совпадает ли изображение точки пересечения нитей с перекрестием сетки. При несовпадении исправительными винтами при диафрагме совмещают перекрестие сетки с изображением точки.

### 8.3. Нивелиры

Для производства высотных разбивок в жилищно-гражданском строительстве применяются в основном точные и технические нивелиры.

В настоящее время в нашей стране и за рубежом изготовляют большое количество точных и технических нивелиров как с уровнями при трубе и элевационными винтами, так и авторедукционных. Подробные сведения о них приведены в специальной геодезической литературе. Поэтому ниже рассматриваются только некоторые точные и технические нивелиры, выпускаемые нашей промышленностью и наиболее часто применяемые в строительстве.

Точный нивелир НЗ (рис. 8.5) предназначен для нивелирования III класса и производства высотных разбивок со сред-

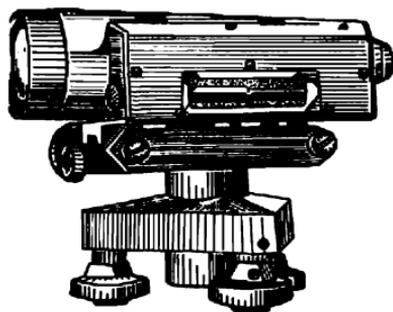


Рис. 8.5. Нивелир НЗ.

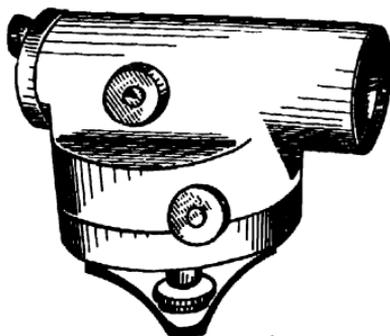


Рис. 8.6. Нивелир НСЗ.

ней квадратической погрешностью не более 4 мм на 1 км двойного хода.

Приведение визирной линии в горизонтальное положение в этом нивелире осуществляется с помощью контактного ци-

линдрического уровня, жестко скрепленного со зрительной трубой. Для предварительного горизонтирования служит установочный (круглый) уровень. Цилиндрический уровень приводится в действие элевационным винтом.

Юстировку выполняют с помощью исправительных винтов. Юстировку визирной линии выполняют исправительными винтами сетки нитей.

Для изменения фокусировки зрительной трубы служит кремальерка. Точное наведение по азимуту осуществляется наводящим винтом. Положение зрительной трубы фиксируется закрепительным винтом.

Точный нивелир НСЗ (рис. 8.6) относится к типу авторедукционных точных нивелиров. Для приближенного горизонтирования нивелир снабжен круглым уровнем с зеркальным отражателем и исправительными винтами. Подъемные винты нивелира имеют укрупненный шаг резьбы (1,25 мм), что позволяет приводить нивелир в рабочее положение с минимальной затратой времени. Изменение фокусировки осуществляется кремальеркой.

Труба нивелира вращается относительно подставки на цилиндрической оси с разгружающим подпятником. Изготовление оси и втулки из одного материала исключает заклинивание оси при низких температурах.

Для юстировки линии визирования (угла  $i$ ) в опрае сетки нитей нивелира имеются два винта, позволяющие перемещать сетку нитей в вертикальном положении.

Точное наведение трубы нивелира на рейку осуществляется вращением одной из двух головок бесконечно наводящего винта. При грубом наведении нивелира на рейку труба достаточно легко вращается и надежно фиксируется в нужном положении без зажимного винта.

Зрительная труба имеет трехлинзовый объектив, фокусирующую линзу, сетку нитей, нанесенную на стеклянной пластинке, и окуляр. Устанавливают окуляр по глазу наблюдателя в пределах 5 диоптрий. Между фокусирующей линзой и сеткой нитей расположен призменный компенсатор, устанавливающий визирную линию в горизонтальное положение при наклоне подставки прибора в пределах  $\pm 15'$ .

Компенсатор нивелира НСЗ расположен в сходящемся пучке лучей. Он состоит из двух прямоугольных призм и служит для передачи изображения в плоскость сетки нитей. Призма подвешена к верхней части корпуса нивелира на двух парах скрещивающихся стальных нитей диаметром 0,075 и длиной 26 мм. Система подвески умножительная: отношение верхней и нижней сторон трапеции, образованной нитями подвески

равно 1 : 3. Для предохранения нитей от обрыва подвески компенсатора имеют специальные ограничительные штифты. Успокоение колебаний маятника компенсатора производится воздушным поршневым демпфером.

Отличительной особенностью компенсатора является то, что в нем мгновенный полюс вращения призмы совмещен с се-

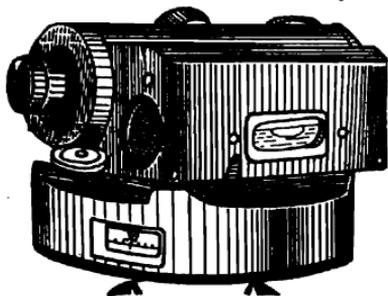


Рис. 8.7. Нивелир НТ.

рединой отражающей грани призмы и центром тяжести подвески, находящимся на пересечении нитей. Такое устройство компенсатора обеспечивает постоянство фокусировки и повышение точности работы компенсатора, так как в этом случае сохраняется постоянство расстояния от отражающей грани призмы до сетки нитей при наклонах трубы нивелира.

Технический нивелир НТ (рис. 8.7) изготавливается оптико-механической промышленностью, начиная с 1970 г. Нивелир имеет горизонтальный круг, элевационный винт и контактный цилиндрический уровень. Обеспечивает выполнение технического нивелирования со средней квадратической погрешностью порядка 6—8 мм на 1 км одностороннего хода. Зрительная труба нивелира с внутренней фокусировкой, дает обратное изображение. Все оптические детали трубы имеют просветляющее покрытие.

Изображение концов пузырька контактного цилиндрического уровня, освещаемого зеркалом, с помощью специального призмного устройства переносится в поле зрения зрительной трубы. Точное совмещение концов его осуществляется элевационным винтом, расположенным между зрительной трубой и основанием прибора. Нивелир не имеет обычных зажимного и микрометричного винтов. Грубое наведение трубы на рейку производится непосредственно от руки по мушке, укрепленной на оправе зрительной трубы, точное визирование осуществляется также вращением зрительной трубы от руки.

Вместо подставки нивелир имеет шаровую пьату, так что общее горизонтирование инструмента осуществляется по шаровой пьате штатива и круглому уровню, установленному на приборе. Нивелир снабжен горизонтальным кругом. Горизонтальные углы измеряют по индексу, расположенному в окне алидады. Малая масса, компактность и наличие горизонталь-

ного круга обеспечивают широкое применение инструмента в геодезических работах при строительстве зданий и сооружений, при изысканиях железных и шоссейных дорог, в мелиорации и т. д., а также при развитии высотного обоснования топографических съемок крупного масштаба.

Нивелир НТС (рис. 8.8) с самоустанавливающейся линией визирования позволяет выполнять нивелирование со средней квадратичной погрешностью порядка 8—10 мм на 1 км одностороннего хода.

Пучок лучей света, пройдя объектив, попадает на отражающие грани большой пентапризмы и, изменив направление на  $90^\circ$ , поступает на прямоугольную призму, являющуюся чувствительным элементом компенсатора. Претерпев в ней двукратное отражение, луч попадает на малую пентапризму и, вторично изменив в ней направление на  $90^\circ$ , проходит через сетку нитей и окуляр.

Таким образом, компенсатор у этого нивелира состоит из двух пентапризм, склеенных между собой и укрепленных неподвижно на мостике (площадке), наглухо скрепленном с корпусом зрительной трубы, и подвижной прямоугольной равнобедренной призмы, заключенной в подвижную прямоугольную рамку, подвешенную на двух свободно посаженных шарикоподшипниках. Место подвески выбрано так, чтобы оптическое расстояние от главной задней плоскости объектива до призмы компенсатора было равно оптическому расстоянию от этой призмы до сетки нитей нивелира. Таким образом, чувствительный элемент компенсатора в этом нивелире располагается на расстоянии  $f/2$  от главной плоскости объектива.

Рамка, в которую заключена призма, может перемещаться в вертикальной плоскости сверху вниз (и наоборот) в специальных салазках при помощи головки фокусирующего устройства зрительной трубы, изменяя тем самым положение указанной выше подвижной призмы компенсатора.

Следовательно, изменение фокусировки зрительной трубы данного нивелира осуществляется той же призмой, которая является и чувствительным элементом компенсатора.

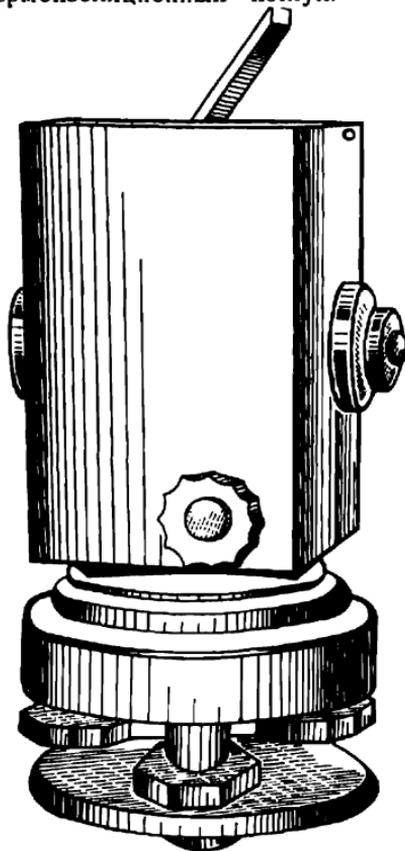
Поскольку при перефокусировке расстояние от объектива до граней подвижной призмы компенсатора и от них до сетки нитей зрительной трубы остается неизменным, то при любом положении фокусирующего элемента основное условие компенсации не нарушается.

Колебания подвижной призмы компенсатора гасятся воздушным демпфером.

Зрительная труба нивелира дает прямое изображение шкалы рейки. Все детали ее, соприкасающиеся с воздухом, про-

светлены, т. е. покрыты защитным слоем, препятствующим отражению лучей света.

Сама зрительная труба, включая компоненты компенсатора и все другие оптические детали, заключена в специальный термозоляционный кожух.



Нивелир снабжен горизонтальным кругом, который может переставляться, если вращать головку винта с накаткой, расположенную в нижней части прибора. Прибор не имеет наводящего азимутального винта, поэтому наводить зрительную трубу на рейку приходится, вращая нивелир рукой.

Предварительное горизонтирование нивелира осуществляется установочным (круглым) уровнем, который имеет юстировочные винты. Юстировка положения визирной линии зрительной трубы (исправление угла  $i$ ) может быть выполнена юстировочными винтами сетки нитей. Наклон ее исправляют разворотом всей окулярной части прибора после ослабления закрепительных винтов. В случае необходимости может быть произведе-

Рис. 8.8. Нивелир НТС.

дена юстировка компенсатора путем перемещения блока пентапризмы вдоль визирной оси в нужном направлении

#### 8.4. Проверка и юстировка нивелиров

Основное требование, которое предъявляется к нивелирам, — горизонтальность оси визирования в момент снятия отсчета

по рейке.— вытекает из сущности метода геометрического нивелирования.

Для нивелиров с цилиндрическим уровнем это требование сводится к обеспечению параллельности визирной оси трубы и оси цилиндрического уровня.

Для соблюдения основного требования и обеспечения стабильности работы глухих нивелиров выполняются следующие проверки.

1. *Ось цилиндрического уровня должна быть перпендикулярна к оси вращения инструмента.* Эту проверку выполняют у глухих нивелиров, не имеющих элевационного винта. Устанавливают уровень по направлению двух подъемных винтов и их вращением в разные стороны приводят пузырек ампулы на середину, потом поворачивают трубу на  $90^\circ$  и третьим подъемным винтом вновь приводят пузырек на середину. Далее инструмент поворачивают на  $180^\circ$ ; если пузырек уровня не сместится, то условие выполнено. В противном случае исправительными винтами уровня перемещают его к середине на половину дуги отклонения. Окончательное приведение пузырька на середину ампулы осуществляется подъемными винтами. Проверку выполняют многократно до полного соблюдения условия.

2. *Ось круглого уровня должна быть параллельна оси вращения инструмента.* Подъемными винтами выводят пузырек круглого уровня на середину и поворачивают верхнюю часть нивелира на  $180^\circ$ . Если пузырек останется на середине, то условие выполнено. В противном случае при помощи исправительных винтов его смещают к середине на половину пути отклонения. Исправление достигается в два-три приема.

3. *Ось цилиндрического уровня и геометрическая ось зрительной трубы должны находиться на параллельных отвесных плоскостях.* На расстоянии 50—70 м от рейки устанавливают нивелир так, чтобы один из его подъемных винтов был расположен по направлению на рейку. Приводят нивелир в рабочее положение. Элевационным винтом выводят пузырек на середину и снимают отсчет по рейке. Затем, действуя подъемными винтами, расположенными справа и слева от трубы, придают нивелиру небольшой наклон, отсчет по рейке при этом не должен меняться. Запоминают, на сколько делений и в какую сторону сместился пузырек уровня. Далее приводят инструмент в начальное положение, проверяют отсчет по рейке и наклоняют нивелир теми же подъемными винтами в противоположную сторону, сохраняя отсчет по рейке неизменным. Если пузырек уровня не смещается или в обоих случаях смещается в одну сторону, то условие выполнено. При смещении:

пузырька в разные стороны больше, чем на одно деление, положение оси уровня исправляют боковыми исправительными винтами.

4. *Визирная ось зрительной трубы должна быть параллельна оси цилиндрического уровня.* Эту поверку выполняют двойным нивелированием, для чего в землю забивают два нивелирных костыля на расстоянии 80 м друг от друга. Потом между костылями устанавливают нивелир так, чтобы его окуляр находился за 2—3 см от лицевой плоскости одной из реек. При каждой установке нивелира измеряют высоту инструмента и снимают отсчет по дальней рейке. Погрешность, вызванная непараллельностью визирной оси и оси цилиндрического уровня, вычисляется по формуле

$$x = \frac{(a_1 + a_2) - (i_1 + i_2)}{2} \rho, \quad (8.2)$$

где  $a_1$  и  $a_2$  — отсчеты по рейкам при первой и второй установках нивелира;  $i_1$  и  $i_2$  — высоты инструмента при тех же установках.

Для технических и точных нивелиров эта погрешность не должна превышать  $\pm 4$  мм. Если  $x > \pm 4$  мм, то с помощью элевационного винта горизонтальную нить сетки устанавливают на отсчет по рейке, равный  $(a_2 - x)$ . Сместившийся при этом пузырек устанавливают на середину исправительными винтами цилиндрического уровня.

В высокоточных нивелирах угол  $i$  между визирной осью и осью цилиндрического уровня не должен быть меньше  $20''$ . Его определяют по формуле

$$i = \frac{(i_1 + i_2) - (a_1 + a_2)}{2d} \rho, \quad (8.3)$$

где  $d$  — расстояние между рейками.

Если угол  $i > 20''$ , то трубу нивелира с помощью элевационного винта устанавливают на отсчет по рейке, равный  $(a_2 + d \frac{i}{\rho})$ , и вертикальными исправительными винтами уровня выводят пузырек на середину ампулы. Определение угла  $i$  выполняют не менее трех раз. За окончательное значение берут среднее.

5. *Одна из нитей сетки должна быть перпендикулярна к оси вращения инструмента.* На рейку, установленную на расстоянии 20—30 м от нивелира, наводят зрительную трубу. Наводящим винтом плавно вращают трубу в горизонтальной плоскости. Если при этом отсчет по горизонтальной нити не

будет изменяться, то условие выполнено. В противном случае ослабляют винты, скрепляющие окулярный патрубок, и поворотом его устанавливают горизонтальную нить на средний отсчет. После установки винты закрепляют.

Проверка и исследование нивелиров с самоустанавливающимися визирными осями. Основное требование для нивелиров этого типа заключается в следующем. При наклонах вертикальной оси вращения нивелира, не превышающих расчетные, линия визирования должна быть горизонтальной. Прежде чем приступить к работе с нивелиром, необходимо выполнить такие проверки и исследования:

оси установочных цилиндрических уравнений должны быть перпендикулярны, а круглых уровней — параллельны вертикальной оси вращения нивелира;

горизонтальная нить сетки должна быть перпендикулярна к вертикальной оси вращения инструмента; эти две проверки производятся так же, как первые две проверки глухого нивелира;

линия визирования должна быть горизонтальной при наклонах оси вращения нивелира в пределах рабочих углов компонента.

Прежде чем производить эту проверку, необходимо исследовать правильность работы компенсатора. Для этого нивелир по установочным уровням приводят в рабочее положение. На расстоянии 80 м по направлению одного из подъемных винтов на забитый в землю кол устанавливают рейку. Вращением подъемного винта вначале в одном, а затем в противоположном направлении наклоняют трубу и берут отсчеты по рейке. Все отсчеты должны быть одинаковыми.

Если отсчеты меняются, то исправление может быть выполнено опытным механиком в условиях мастерской.

После этого проверка условия 3 производится так же, как и аналогичная проверка 4 глухого нивелира без элевационного винта.

## 8.5 Оптические отвесы

По методике проектирования опорных точек на монтажные горизонты оптические отвесы, выпускаемые отечественной промышленностью и зарубежными фирмами, подразделяются на три вида: зенит-лоты, надир-лоты и зенит-надир-лоты.

К первому виду относятся: ОЦП-2 — оптический центрирующий прибор конструкции Н. Н. Лебедева и А. В. Мещерякова; PZL — прецизионный зенит-лот фирмы К. Цейсс (Йена).

Ко второму виду оптических отвесов, осуществляющих вертикальное проектирование вниз, можно отнести надир-лот фирмы Брейтгаупт, *ZBL* и *GQL* фирмы Вильд, американский высокоточный авторедукционный надир-лот и малый оптический отвес конструкции В. М. Сердюкова и Т. Т. Чмчяна.

К третьему наиболее совершенному виду оптических отвесов, осуществляющих вертикальное проектирование одновре-

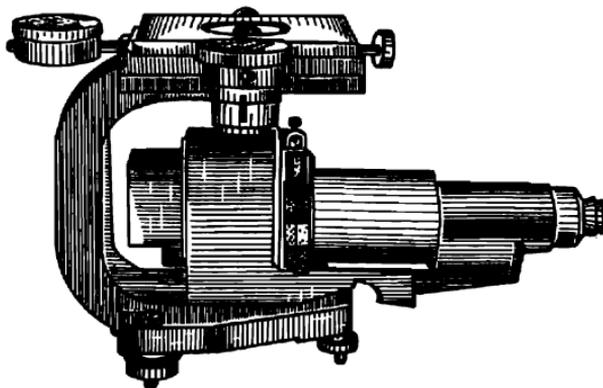


Рис. 8.9. Зенит-лот ОЦП.

менно вверх и вниз, относятся зенит-надир-лоты ПОВП (СССР); *ZNL* — фирмы Вильд (Швейцария); *OPL* — фирмы Кечи (Швейцария).

В настоящее время в нашей стране и в ряде зарубежных стран разработаны высокоточные оптические отвесы, отличительной особенностью которых является высокоточное автоматическое построение вертикали.

ОЦП-2 (рис. 8.9) относится к типу высокоточных зенит-лотов. При конструировании прибора была использована труба нивелира НСМ-2, в которой стабилизация линии визирования достигается линзовым компенсатором. Особенностью прибора является пентапризма, с помощью которой осуществляется переход от горизонтальной линии визирования к вертикальной.

Вертикальная ось вращения инструмента жестко связана с опорной площадкой, на которую опирается зрительная труба, снабженная противовесом. На опорной площадке имеется прокладка из фольги, с помощью которой зрительную трубу можно наклонять в продольном и поперечном направлениях

на малый угол. Прибор нивелируют подъемными винтами, на которые опирается рама. Для приближенной установки оси вращения трубы в вертикальное положение служат два цилиндрических уровня с ценой деления  $20''$ . Верхняя часть прибора заканчивается столиком, который с помощью двух взаимно перпендикулярных микрометрических винтов может перемещаться в пределах 5 мм. В центре столика укреплена втулка, предназначенная для механического центрирования теодолита. Центр втулки лежит на продолжении вертикальной линии визирования, чем обеспечивается высокая точность центрирования теодолита.

Увеличение зрительной трубы ОЦП-2 —  $31\times$ ; точность установки компенсатора  $0'',2$ ; предел работы компенсатора  $2'$ . Точность вертикального проектирования опорных точек прибором ОЦП-2 составляет  $0,5H \cdot 10^{-5}$  ( $H$  — высота проектирования).

Высокоточный авторедукционный зенит-лот *PZL* (рис. 8.10) отличается сравнительно большим увеличением зрительной трубы ( $31\times$ ) и автоматической стабилизацией линии визирования. Стабилизация линии визирования достигается с помощью маятникового компенсатора большой конструктивной длины.

Демпфирование маятника воздушное, механическое. Маятник соединен с трегером вставной цапфы. Центрирование трегера над пунктом осуществляется с помощью вставляемого в него лот-аппарата. Автоматическое центрирование обеспечивают соединением с трегером как оптического лот-аппарата, так и *PZL*. После выполнения центрирования лот-аппарат вынимают из трегера и вместо него вставляют *PZL*. Для высокоточного автоматического центрирования прибор можно снабдить встроенным оптическим центриром.

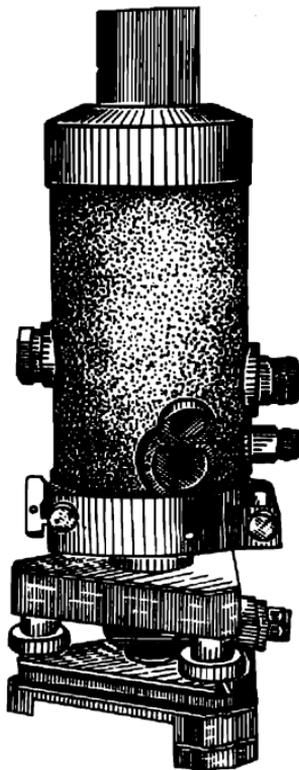


Рис. 8.10. Зенит-лот *PZL*.

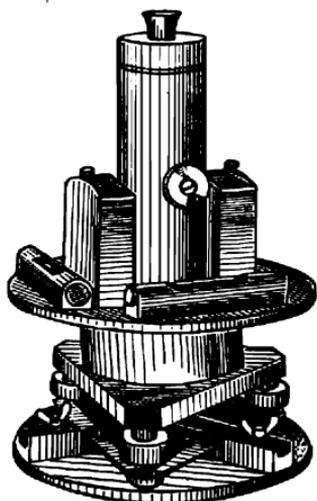


Рис. 8.11. Надир-лот фирмы Брейтгаупт.

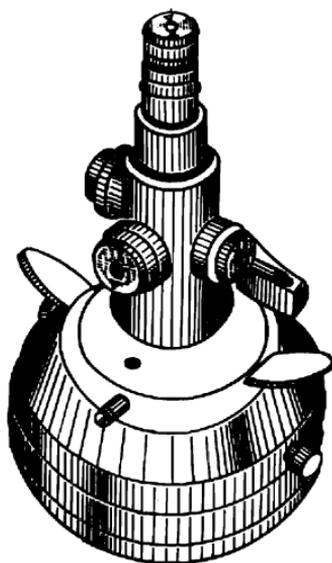


Рис. 8.12. Высокоточный надир-лот (США).

Принципиальное отличие *PZL* от обычного оптического отвеса, устанавливаемого по уровню, состоит в том, что визирную линию устанавливают вертикально с помощью маятника, действующего под влиянием силы тяжести. Предел работы маятника  $\pm 10'$ , погрешность установки вертикали  $\pm 0'',15$ .

Оптический надир-лот фирмы Брейтгаупт (рис. 8.11) состоит из вмонтированной трубы с увеличением  $42\times$ , установленной объективом вниз таким образом, что вертикальная ось вращения находится в подставке. Подставка обеспечивает установку трубы и вертикальное положение оси вращения. Ось вращения приводят в отвесное положение совместно с визирной осью трубы. На круглой площадке установлены два взаимно перпендикулярных цилиндрических уровня ценой деления  $20''$  на  $2\text{ мм}$ , соединенные с трубой. С помощью отрицательной линзы трубу можно отфокусировать на различные расстояния до цели. В картинной плоскости установлена пластина с сет-

кой нитей. Для работы ночью и в темноте в приборе предусмотрено искусственное освещение поля зрения. Наблюдения в трубу выполняют сверху или сбоку с помощью вставного окуляра. На окуляр трубы насажена мушка, которая облегчает визирование на глубоко расположенные пункты.

Визирование выполняется на специальную марку квадратной формы, на которой нанесены шашечные черно-белые деления. Деления размещены таким образом, что независимо от положения трубы можно отсчитывать по черной и белой части отсчетной марки. Визирование может быть выполнено и на круглые марки, снабженные специальными отсчетными линейками.

Кратчайшее расстояние лотирования составляет 2 м. Практически наибольшая дальность лотирования 600 м. Точность лотирования  $\pm 1$  мм на 100 м высоты.

Американский высокоточный авторедукционный надир-лот (рис. 8.12) имеет вертикально расположенную трубу со специальной системой крепления, которая удерживает ее в строго вертикальном положении. Инструмент можно применять во всех случаях, когда возникает необходимость весьма высокоточной установки отвесной линии (0,5 мм на 100 м высоты).

Малый оптический надир-лот КИСИ (рис. 8.13) конструкции В. М. Сердюкова и Т. Т. Чмчяна имеет вертикально установленную в

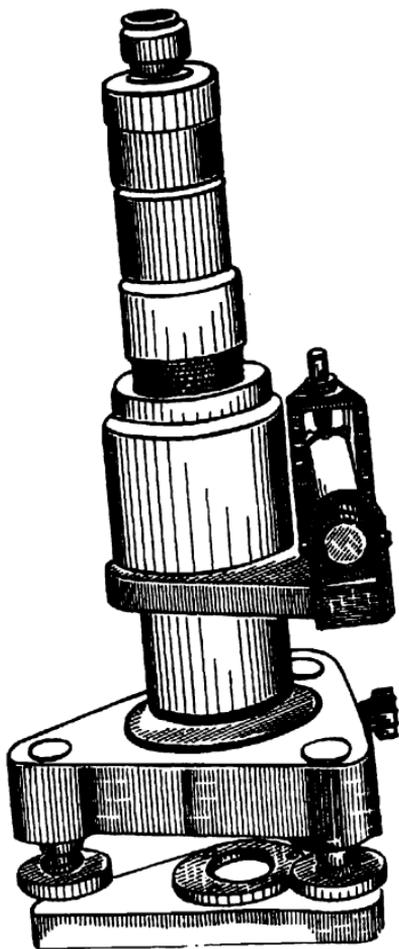


Рис. 8.13. Надир-лот КИСИ.

цилиндрической оси зрительную трубу с увеличением в  $30\times$ . Труба закреплена наглухо в специальном корпусе. Прибор снабжен двумя взаимно перпендикулярно расположенными цилиндрическими уровнями. Цена деления уровней  $10''$  на  $2$  мм. Точность лотирования малым надир-лотом составляет  $1,5\text{--}2$  мм на  $100$  м высоты.

ПОВП — прибор отвесного вертикального проектирования (рис. 8.14) относится к авторедукционным зенит-надир-лотам.

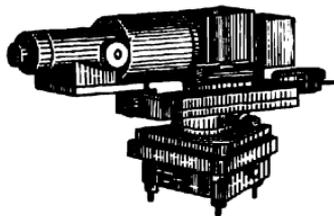


Рис. 8.14. Зенит-надир-лот ПОВП.

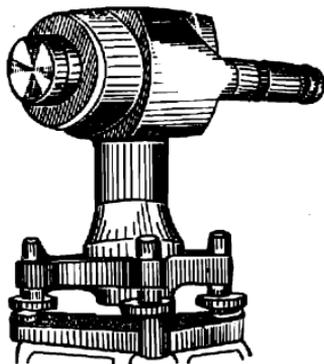


Рис. 8.15. Зенит-надир-лот ZNL.

Отличается он от своего предшественника ОЦП-2 тем, что пентапризма, преломляющая горизонтальный луч в вертикальном направлении, может вращаться вокруг горизонтальной оси на  $180^\circ$ , благодаря чему линия визирования может быть направлена не только в зенит, но и в надир. Точность проектирования этим прибором составляет  $0,5 \text{ Н} \cdot 10^{-5}$ .

Зенит-надир-лот ZNL фирмы Вильд (рис. 8.15) предназначен для точного проектирования точек вниз и вверх по вертикали. Прибор имеет горизонтальную трубу с увеличением  $10\times$  и полем зрения  $5^\circ$ . Кратчайшее расстояние визирования  $0,6$  м, цена деления цилиндрического уровня  $20''$  на  $2$  мм. Для визирования вверх и вниз в приборе предусмотрены отдельные оптические системы.

Расположенная в ходе лучей ромбовидная реверсионная призма для переключения направления проектирования не влияет на положение линии визирования. Для ее выверки в каждом ходе лучей имеется специальная призма с юстировочными винтами. Точность проектирования точек составляет примерно  $1 : 25\,000$  высоты.

ОПЛ — оптический прецизионный зенит-надир-лот фирмы

Кечи (рис. 8.16), позволяет выполнить лотирование на значительные высоты и глубины быстро и с высокой точностью.

Он состоит из двух смещенных на  $90^\circ$  систем зрительных труб одинаковой точности. Зрительные трубы центрированы. Система осей покоится на подставке, которая может быть установлена на штативе, туре или сигнале.

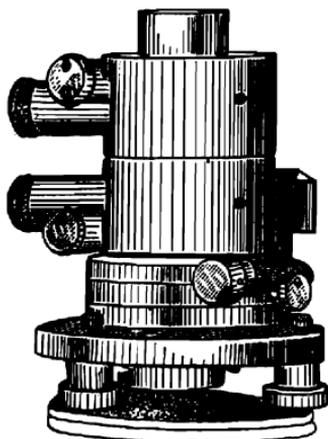


Рис. 8.16. Зенит-надир-лот *OPL*.

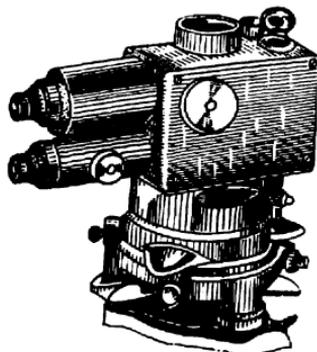


Рис. 8.17. Высокоточный авторедукционный зенит-надир-лот «Autoplumb».

Применение отдельных труб для вертикального проектирования вверх и вниз исключает применение специальных устройств, отклоняющих оптический ход лучей.

Обе трубы имеют горизонтальные окуляры. Визирная ось пройдя через фокусирующую линзу и объектив, попадает на неподвижное зеркало и отклоняется вверх и вниз. Трубы съемные, так что при проектировании только в одном направлении может быть использована только одна труба.

Увеличение зрительных труб  $22,5\times$ . Кратчайшее расстояние проектирования  $0,8$  м. Наибольшее расстояние проектирования при оценке миллиметровых делений на глаз  $125$  м. Цена деления уровня  $20''$  на  $2$  мм. Точность проектирования  $1$  мм на  $100$  м высоты.

Авторедукцированный зенит-надир-лот (рис. 8.17) «Autoplumb» имеет две зрительные трубы. В трубу, предназначенную для визирования в зенит, вмонтирован компенсатор, при помощи которого визирная ось после четырехкратного преломления

в призмах устанавливается в отвесном положении. В «Auto-ripib» имеется микрометрическое устройство, позволяющее измерять отклонения от вертикали. Точность построения вертикали с помощью этого прибора составляет 1 : 200 000 высоты проектирования.

## 8.6. Поверка и юстировка оптических отвесов

Оптические отвесы, в которых визирная линия в отвесное положение устанавливается с помощью точных цилиндрических уровней, должны удовлетворять следующим условиям:

1. Ось цилиндрического уровня должна быть перпендикулярна к вертикальной оси вращения инструмента.

2. Вертикальная ось вращения инструмента должна совпадать с визирной осью.

Первая поверка производится аналогично соответствующим поверкам уровней теодолита, но особо тщательно. Вторую поверку целесообразно выполнять с помощью поверочной призмы, поворачивающей визирный луч на  $90^\circ$  (горизонтально).

Поверочную призму устанавливают над объективом трубы оптического отвеса. На расстоянии 100—150 м от инструмента устанавливается визирная марка. Для поверки обычно используют специальные марки, которые могут быть перемещены в двух направлениях с помощью микрометрических винтов. Положение центра такой марки фиксируется отсчетами по двум шкалам, одна из которых расположена по вертикали, а вторая — по горизонтали.

После приведения прибора в рабочее положение центр марки совмещают с линией визирования и определяют его положение отсчетами по шкалам. Такое совмещение производится при повороте прибора на  $90$ ,  $180$  и  $270^\circ$ . Разница в отсчетах не должна превышать  $0,5$  мм. В противном случае при помощи юстировочных винтов исправляют положение сетки.

Для поверок авторедукционных оптических отвесов также целесообразно применять поверочную призму. Для этого на расстоянии  $L_1$  и  $L_2$  от прибора устанавливают штативы с марками. Визирование на марку выполняют при двух положениях трубы и при каждом визировании берут отсчеты по шкалам.

Угол отклонения визирной оси от вертикали вычисляют по формуле

$$\alpha = \frac{(O_1 - O_2)}{L_2 - L_1} \rho, \quad (8.4)$$

где  $O_1$  — средний из отсчетов при двух положениях трубы по одному и тому же штриху ближней марки;  $O_2$  — то же дальней марки. Для данного расстояния линейное отклонение составит

$$\Delta = \frac{\alpha L_2}{\rho}. \quad (8.5)$$

После определения угла  $\alpha$  и линейного отклонения  $\Delta$  вычисляют отсчет, соответствующий вертикальному положению визирной оси

$$O_{\text{верт}} = O_2 - \Delta.$$

У большинства авторедукционных оптических отвесов имеются индикаторы или специальные юстировочные винты, с помощью которых можно изменить положение визирной оси. Пользуясь ими, устанавливают отсчет  $O_{\text{верт}}$ , соответствующий вертикальному положению визирной оси. Дальнейшая юстировка заключается в перемещении сетки нитей до точного совпадения с целью. Так выполняется поверка оптических отвесов ОЦП и ПОВП. Поверки авторедукционных отвесов других конструкций существенно не отличаются от описанных выше.

## 8.7. Приборы для линейных измерений

Для производства основных и детальных разбивочных работ при строительстве жилищно-гражданских зданий и сооружений наиболее широко применяют такие приборы и инструменты, как базисный прибор БП-2, БП-3, дальномеры АД1М и стальные рулетки РС, РЗ, РЖ, РВ, РК и др.

Базисные приборы БП-2 и БП-3 применяются, как правило, для высокоточных разбивок, например, для измерения сторон опорной фигуры пространственной разбивочной сети. В комплект базисного прибора входят: четыре инварные проволоки длиной 24 м в БП-2 и две — в БП-3, два блочных станка с гириями весом 10 кг для подвешивания проволок; 30—40 штативов с целиками, фиксирующими пролеты базиса; инварная ленточка длиной 4—12 м для измерения остатка базиса, не равного длине проволоки; термометр-пращ для измерения температуры воздуха; два оптических центрира (лот-аппарата), которые устанавливают над центрами базисных пунктов; нивелир повышенной точности с двусторонней рейкой длиной 1,5—2,0 м для нивелирования штативов базиса; теодолит (же-

лательню с накладным уровнем) для провешивания линии базиса и расстановки штативов.

На концах проволок, имеющих диаметр 1,65 мм, закреплены шкалы длиной по 8 см, с делениями через 1 мм (рис. 8.18). Деления обеих шкал возрастают в одну сторону.

Длина проволок, равная расстоянию между нулевыми делениями шкал, составляет 24 м для удобства сечения проволок

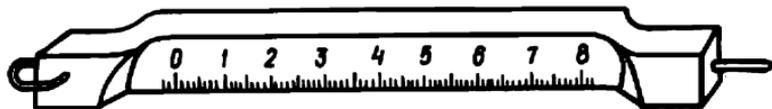


Рис. 8.18. Шкала инварной проволоки.

при их компарировании с трехметровым жезлом. Проволоки изготовляют из особого сплава инвара, обладающего весьма малым температурным коэффициентом линейного расширения, устойчивым в интервале температур от  $-30$  до  $+100^{\circ}\text{C}$ , что особо важно для мерных приборов, предназначенных для высокоточных линейных измерений.

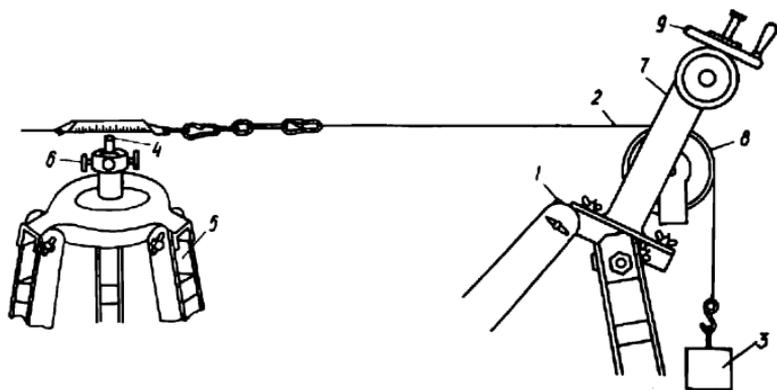


Рис. 8.19. Рабочее положение базисной проволоки, подвешенной к блочным станкам:

1 — блочный станок; 2 — тросик; 3 — гиря; 4 — целик; 5 — штатив; 6 — винты; 7 — металлическая рама; 8 — висящий блок; 9 — штурвал.

В период хранения и перевозок инварные проволоки наматывают на алюминиевый барабан диаметром 0,5 м, помещаемый в специальный ящик. В каждом ящике хранится по две проволоки.

В рабочем положении проволоку подвешивают к блочным станкам 1 (рис. 8.19) с помощью карабинов и тонкой стальной струны или тросика 2, на другом конце которого прикреплена гиря 3. Шкала проволоки должна находиться точно над целиком 4, установленным на штативе 5 и имеющим на полусферической поверхности крестообразную насечку, фиксирующую концы измеряемого отрезка. С помощью винтов 6 целики штативов можно перемещать в двух взаимно перпендикулярных направлениях.

Блочные станки снабжены специальным устройством, позволяющим регулировать в небольших пределах положение шкал относительно целиков штативов. Металлическая рама 7 этого устройства скреплена с головкой блочного станка, а свободно висящий блок 8 может перемещаться с помощью штурвала 9 в вертикальном направлении и с помощью штурвала 10 в направлении, перпендикулярном к линии базиса.

Инварная ленточка, служащая для измерения пролетов, имеющих длину менее 24 м, разделена на диаметры и возле каждого дециметрового деления в обе стороны нанесено по одному миллиметровому делению. На концах ленточки имеются дециметровые шкалы, разделенные через 1 мм.

Длиномер АД1М (рис. 8.20) предназначен для измерения расстояний с предельной относительной погрешностью не более 1:10 000 при использовании груза 15 кг для натяжения проволоки и 1:5000 для натяжения проволоки динамометром. Длинномер АД1М является модернизированным вариантом АД1. Измерение расстояний АД1М заключается в определении с помощью мерного диска длины стальной проволоки, натянутой между концами измеряемой линии.

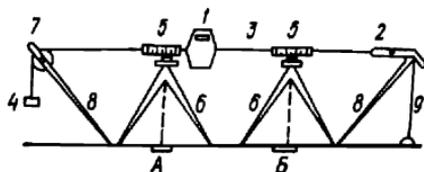


Рис. 8.20. Схема измерения линии длинномером.

Комплект длинномера состоит из измерительного блока (мерный диск со счетным механизмом 1), бобины 2 с проволокой 3, двух раздвижных стоек 8 со стременом 9, блока 7, двух съем-

ных шкал 5 и гири 4 массой в 15 кг. В комплекте поставляется стальная проволока диаметром 0,8 мм и длиной 500 м. По особому заказу изготавливают динамометр и раздвижные стойки со стремнем для динамометра.

Измерительный блок длиномера АД1М состоит из мерного диска, заключенного в дюралюминиевый кожух, счетного механизма и тормозного устройства. Проволока в натянутом состоянии направляется на мерный диск по двум направляющим роликам. Надежная фрикционная связь мерного диска с проволокой обеспечивается большим углом обхвата ( $220^\circ$ ).

Контактирование длиномера с точками, между которыми производится прокат диска, обеспечивается двумя фиксаторами. По круговой шкале отсчитывают сантиметры и миллиметры, а дециметры, метры, десятки и сотни метров отсчитывают по счетчику. Для торможения мерного диска в момент отсчитывания служит тормозное устройство, которое включается поворотом ручки.

Хранят проволоку в бобине, имеющей диаметр барабана 160 мм. При измерениях бобину закрепляют в одной из раздвижных стоек, устанавливаемой на одном из концов измерительной линии. Схема измерения длины линии длиномером АД1 приведена на рис. 8.20. Измерения производят в следующей последовательности: с помощью оптического отвеса центрируют штативы над точками А и Б местности; у переднего штатива б размещают на стойке бобину, а у заднего штатива, придерживая груз, вводят проволоку в длиномер; закрепляют на проволоке две шкалы в, располагая их над целиками нулями навстречу друг другу, и производят предварительную прокатку мерного диска по проволоке; фиксатор длиномера совмещают с нулем передней шкалы и берут начальный отсчет по длиномеру; прокатывают диск по проволоке до совмещения фиксатора с нулем задней шкалы и берут второй отсчет по длиномеру; берут отсчет по передней и задней шкале, фиксируя их положение относительно центров пунктов А и Б; смещают шкалы и измеряют линию в обратном ходе.

Приведенная последовательность операций — один из приемов измерения расстояния длиномером АД1М.

На ровных участках местности при измерении линий длиной более 250 м свободный провес проволоки не обеспечивается. В этом случае в створе линии с отклонением не более 1:500 длины устанавливают промежуточный штатив для поддержания проволоки. Методика измерений не меняется. Поправки за провес проволоки для каждой секции определяют отдельно. Для определения длины секции у промежуточного штатива берут отсчет по длиномеру с точностью до 0,1 м.

Расстояния через препятствия или неприступные расстояния, когда проход вдоль проволоки прокатного мерного диска затруднителен, измеряют с помощью закрепленного на скобе дальномера шнура.

Для введения поправок за наклон линий измеряют углы наклона хорд теодолитом с погрешностью не более  $30''$  (при  $\alpha \leq 6^\circ$ ) или превышения между их концами. Измерение высот целиков над пунктами должно производиться с погрешностью не более  $1 \text{ см}$ .

Длину линии, измеренной дальномером, вычисляют как среднее значение из  $q$  полуприемов:

$$S = \frac{1}{q} \sum_1^q (N_2 - N_1 + n_1 + n_2) + c + \Delta S_r + \Delta S_t + \Delta S_h + \Delta S_f \quad (8.6)$$

Здесь  $N$  — отсчеты по счетному механизму дальномера;  $n$  — отсчеты по шкалам;  $c$  — постоянная дальномера, определяющая расстояние между фиксаторами;  $\Delta S_r$ ,  $\Delta S_t$ ,  $\Delta S_f$  — поправки за компарирование, температуру и провес проволоки.

Поправку за компарирование вычисляют по формуле

$$\Delta S_r = S(k - 1). \quad (8.7)$$

Коэффициент  $k$ , определяемый из компарирования, выражает отношение действительной длины проволоки к ее длине, измеряемой дальномером. Компарирование производится многократным (не менее чем десятью приемами) измерением линии длиной  $80$ — $150 \text{ м}$  на полевом компараторе. Средняя квадратическая погрешность линий компаратора должна быть не более  $1 : 100\,000$ . Значение коэффициента  $k$  из одного определения вычисляют по формуле

$$k = \frac{S_0 - n_1 - n_2 - c - \Delta S_f - \Delta S_h}{N_2 - N_1}, \quad (8.8)$$

где  $S_0$  — известная длина линии компаратора.

При обработке результатов компарирования отдельно вычисляют  $k'$  для прямых измерений,  $k''$  для обратных измерений и среднее значение  $k$  для всех измерений. Если величина

$$\tau = (k' - k'') > 1 : 30\,000,$$

то при полевом сопоставлении прямых и обратных измерений их необходимо исправлять на величину  $\pm \frac{\tau}{2S}$ .

Компарирование производят каждый раз после полной замены используемой проволоки, а также для контроля в начале и в конце производства работ.

Рулетка РС относится к типу самосвертывающихся стальных рулеток. Выпускают их с длиной шкалы 1 и 2 м. Цена деления на всем протяжении шкалы 1 мм. Соответствуют эти рулетки третьему классу точности.

Рулетка РЗ в закрытом корпусе выпускается с длиной шкалы 2, 5, 10, 20, 30 и 50 м. Цена деления шкалы на первом дециметре 1 мм, на остальной части 1 и 10 мм. Рулетки РЗ со шкалой 2 и 5 м соответствуют первому, 10 и 20 м — второму и 30 и 50 м — третьему классу точности.

Рулетка РЖ — желобчатая. Выпускается с длиной шкалы 1 м. Соответствует третьему классу точности.

Рулетка РВ с вилочным барабаном выпускается с длиной шкалы 20, 30 и 50 м. Цена деления на первом дециметре 1 мм, на остальной части 1 или 10 мм. 20-метровая РВ соответствует первому, 30-метровая второму и 50-метровая — третьему классу точности.

Рулетка РК с барабаном в виде крестовины выпускается с длиной шкалы 50, 75 и 100 м. Цена деления шкалы на первом дециметре 1 мм; на остальной части 1 или 10 мм.

50-метровая РК соответствует первому, 75-метровая — второму и 100-метровая — третьему классу точности. Все указанные приборы для линейных измерений перед производством разбивочных работ подлежат компарированию.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Антоноженко В. Ф. О вычислении коэффициентов условных уравнений в трилатерационной сети. — В кн.: Инженерная геодезия. К., Будівельник, 1965, вып. 1.

2. Большаков В. Д., Левчук Г. П., Багратуни Г. В. и др. Справочник геодезиста. М., Недра, 1975.

3. Видуев Н. Г. и др. Геодезические работы при крупнопанельном строительстве. К., Госстройиздат УССР, 1963.

4. Видуев Н. Г., Баран П. И., Войтенко С. П. и др. Геодезические разбивочные работы. М., Недра, 1976.

5. Видуев Н. Г., Чмчян Т. Т. Теория размерных цепей. Изд. КИСИ. К., 1965.

6. Григоренко А. Г., Сердюков В. М., Чмчян Т. Т. Геодезическое обслуживание строительно-монтажных работ. К., Будівельник, 1973.

7. Гусев Н. А. Маркшейдерско-геодезические инструменты и приборы. М., Недра, 1968.

8. Даниленко Т. С. Геодезическое обеспечение строительно-монтажных работ. М., Недра, 1971.

9. Эданович В. Г. и др. Высшая геодезия. М., Недра, 1970.

10. Иордан В., Эггерт О., Кнейсель М. Руководство по высшей геодезии. М., Госгеолтехиздат, 1963.

11. *Красовский Ф. Н.* Избранные соч., т. III. М., Геодезиздат, 1966.
12. *Лебедев Н. Н., Новак В. Е., Левчук Г. П.* Практикум по курсу прикладной геодезии. М., Недра, 1977.
13. *Левчук Г. П.* Курс инженерной геодезии. М., Недра, 1970.
14. *Лютц А. Ф.* Разбивка крупных сооружений. М., Недра, 1968.
15. *Панкратев Ю. П., Пузанов Б. С., Сердюков В. М.* Инженерная фотограмметрия, Львов. Изд-во ЛПИ, 1964.
16. *Рытов А. В., Спиридонов А. И.* Геодезические приборы для крупномасштабных топографических съемок. М., Недра, 1977.
17. *Сердюков В. М.* Фотограмметрия в промышленном и гражданском строительстве. М., Недра, 1977.
18. *Сердюков В. М.* Фотограмметрия в инженерно-строительном деле. М., Недра, 1970.
19. *Сундаков Я. А.* Геодезические работы при возведении крупных промышленных сооружений и высотных зданий. М., Недра, 1972.
20. *Сытник В. С.* Строительная геодезия. М., Недра, 1974.
21. *Сытник В. С.* О точности геодезических построений при возведении многоэтажных зданий. — Промышленное строительство, 1972, № 11.
22. *Чмчян Т. Т.* О точности перенесения в натуру осей крупнопанельных зданий методом створной засечки. — В кн.: Инженерная геодезия. К., Будівельник, 1968, вып. 5.
23. *Чмчян Т. Т.* Определения монтажных отклонений методом отсчетов от вертикальной плоскости. — Промышленное строительство и инженерные сооружения, 1969, № 1.
24. *Чмчян Т. Т.* Опыт применения пространственных сетей при строительстве высотных крупнопанельных зданий. — В кн.: Инженерная геодезия. К., Будівельник, 1971, вып. 10.
25. *Чмчян Т. Т.* Трехфакторный дисперсионный анализ точности возведения высотных сборных зданий. — В кн.: Инженерная геодезия. К., Будівельник, 1972, вып. 12.
26. *Чмчян Т. Т.* О нормировании геодезических работ в высотном крупнопанельном строительстве. — В кн.: Инженерная геодезия. К., Будівельник, 1973, вып. 13.
27. *Чмчян Т. Т.* Расчет точности угловых и линейных измерений при построении базисных фигур пространственных сетей высотных сборных сооружений. — В кн.: Инженерная геодезия. К., Будівельник, 1973, вып. 14.
28. *Чмчян Т. Т., Лысов Г. Б., Морозов С. П.* О точности разбивочных работ при строительстве сборных сооружений, имеющих форму тела вращения. — В кн.: Инженерная геодезия. К., Будівельник, 1975, вып. 15.
29. *Чеботарев А. С.* Геодезия. М., Геодезиздат, 1962, ч. 2.
30. *Чеботарев А. С.* Способ наименьших квадратов с основами теории вероятностей. М., Геодезиздат, 1958.

## О Г Л А В Л Е Н И Е

Предисловие . . . . .	3
<b>Глава 1. Сборные жилищно-гражданские сооружения и методы их монтажа . . . . .</b>	<b>4</b>
1.1. Состав процессов монтажа сборных элементов . . . . .	4
1.2. Классификация методов монтажа и видов монтажного оснащения . . . . .	6
<b>Глава 2. Методы расчета допусков замыкающих звеньев размерных цепей сборных жилищно-гражданских зданий и сооружений . . . . .</b>	<b>11</b>
2.1. Виды размерных цепей . . . . .	11
2.2. Расчет простой линейной размерной цепи . . . . .	12
2.3. Расчет коррелированной линейной размерной цепи . . . . .	17
2.4. Расчет плоской размерной цепи . . . . .	24
2.5. Расчет пространственной размерной цепи . . . . .	28
2.6. Расчет систем пространственных размерных цепей . . . . .	32
<b>Глава 3. Нормы точности геодезических разбивочных работ . . . . .</b>	<b>37</b>
3.1. Расчет точности пространственной разбивочной основы . . . . .	37
3.2. Расчет точности базисных фигур пространственной разбивочной основы . . . . .	40
3.3. Расчет точности детальных разбивочных работ . . . . .	50
<b>Глава 4. Геодезические работы при строительстве подземной части жилищно-гражданских зданий и сооружений . . . . .</b>	<b>54</b>
4.1. Разбивочные работы при устройстве котлованов . . . . .	54
4.2. Разбивочные работы при устройстве фундаментов . . . . .	57
4.3. Разбивочные работы при устройстве свайных фундаментов . . . . .	58

<b>Глава 5. Основные геодезические работы при строительстве надземной части жилищно-гражданских зданий и сооружений</b>	59
5.1. Построение и измерение базисных фигур пространственной разбивочной основы	59
5.2. Уравнивание базисных фигур пространственной разбивочной основы	65
Коррелятный способ уравнивания	65
Параметрический способ уравнивания	72
5.3. Методы проектирования координат пунктов базисной фигуры пространственной разбивочной основы на монтажные горизонты	78
Метод наклонного проектирования	78
Метод механического вертикального проектирования	82
Метод оптического вертикального проектирования	84
<b>Глава 6. Детальные разбивочные работы при строительстве подземной части жилищно-гражданских зданий и сооружений</b>	87
6.1. Разбивочные работы при монтаже каркасных зданий	87
6.2. Разбивочные работы при монтаже панельных зданий	89
<b>Глава 7. Методы контрольных измерений при строительстве сборных жилищно-гражданских зданий и сооружений</b>	93
7.1. Методы контроля линейных размеров сборных элементов	
7.2. Методы контроля установки сборных элементов в проектное положение	97
Контроль при возведении панельных и каркасно-панельных зданий и сооружений	97
Метод бокового нивелирования	99
Фотограмметрический метод	103
<b>Глава 8. Приборы и инструменты, применяемые при разбивочных работах в жилищно-гражданском строительстве</b>	118
8.1. Теодолиты	118
8.2. Поверки и исследования теодолитов	124
8.3. Нивелиры	128
8.4. Поверка и юстировка нивелиров	132
8.5. Оптические отвесы	135
8.6. Поверка и юстировка оптических отвесов	142
8.7. Приборы для линейных измерений	143
Список литературы	148

**СПРАВОЧНАЯ КНИЖКА  
РАБОЧЕГО-СТРОИТЕЛЯ**

*Том Торгомович Чмчян*

**ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ  
НА СТРОИТЕЛЬНОЙ ПЛОЩАДКЕ  
(ЖИЛИЩНО-ГРАЖДАНСКИЕ ЗДАНИЯ  
И СООРУЖЕНИЯ)**

**Редактор А. И. Соловьева**  
**Художественный редактор Н. Г. Аникина**  
**Технический редактор Н. С. Подоляк**  
**Корректор Я. Я. Чигрина**

Информ. бланк № 723. Сдано в набор 31.10.78. Подписано к печати 13.04.79. БФ 10662. Формат 70×100<sup>1/32</sup>. Бумага типографская № 1. Гарнитура литературная. Печать высокая. Усл. печ. л. 6,13. Уч.-изд. л.7,26. Тираж 18 000 экз. Изд. № 97—78. Зак. № 8—2839. Цена 30 к.

Издательство «Будівельник». 252601. Киев, ГСП, Владимирская, 24.  
Киевская фабрика печатной рекламы РПО «Полиграф-книга» Госкомиздата УССР, 252067, Киев-67, Выборгская, 84.

