

Данный файл представлен исключительно в ознакомительных целях.

Уважаемый читатель!

Если вы скопируете данный файл,
Вы должны незамедлительно удалить его сразу после ознакомления с содержанием.
Копируя и сохраняя его Вы принимаете на себя всю ответственность, согласно действующему международному законодательству .
Все авторские права на данный файл сохраняются за правообладателем.
Любое коммерческое и иное использование кроме предварительного ознакомления запрещено.

Публикация данного документа не преследует никакой коммерческой выгоды. Но такие документы способствуют быстрейшему профессиональному и духовному росту читателей и являются рекламой бумажных изданий таких документов.



СПРАВОЧНИК

ПО ГЕОДЕЗИЧЕСКИМ
РАЗБИВОЧНЫМ
РАБОТАМ



СПРАВОЧНИК

ПО ГЕОДЕЗИЧЕСКИМ
РАЗБИВОЧНЫМ
РАБОТАМ



МОСКВА «Н Е Д Р А» 1982

Справочник по геодезическим разбивочным работам/
Г. В. Багратуни, В. Ф. Лукьянов, Я. А. Сокольский, А. Н. Сухов. М., Недра, 1982. 128 с.

Приведены в сжатом виде сведения по инженерной геодезии и математической обработке результатов измерений. Изложены все виды и этапы геодезических разбивочных работ, рассмотрены вопросы точности и методика разбивок; даны рекомендации по рациональному использованию техники и методике ведения разбивочных работ на всех стадиях.

Для геодезистов и строителей, работающих в различных областях народного хозяйства. Может быть полезен студентам, обучающимся по специальности «инженерная геодезия».

Табл. 28, ил. 60, список лит. — 8 назв.

Авторы:

Г. В. Багратуни, В. Ф. Лукьянов, Я. А. Сокольский, А. Н. Сухов

Рецензент — канд. техн. наук *Б. Г. Борисенков*
(ЦНИИОМТП)

*Гегам Ваграмович Багратуни, Виктор Федорович Лукьянов,
Александр Николаевич Сухов, Ян Александрович Сокольский*

Справочник по геодезическим разбивочным работам

Редактор издательства *Н. В. Протопопова*
Обложка художника *О. Л. Калинина*
Художественный редактор *Е. Л. Юрковская*
Технический редактор *А. В. Трофимов*
Корректор *Е. В. Мухина*

ИБ № 4370

Сдано в набор 15.03.82. Подписано в печать 29.10.82. Т-20807.
Формат 60×90¹/₁₆ Бумага типографская № 2 Гарнитура «Литературная» Печать высокая
Усл.-печ. л. 8,0. Усл. кр.-отт. 8,37. Уч.-изд. л. 10,0. Тираж 27 000 экз.
Заказ 1383/8423-15 Цена 50 коп.

Ордена «Знак Почета» издательство «Недра», 103633, Москва, К-12,
Третьяковский проезд, 1/19

Московская типография № 6 Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР
по делам издательства, полиграфии и книжной торговли.
109088, Москва, Ж-88, Южнопортовая ул., 24.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящий справочник освещает вопросы переноса проекта инженерного сооружения в натуру или, как принято говорить, геодезических разбивочных работ. Геодезические разбивочные работы являются существенной частью геодезического обеспечения строительства и позволяют эффективно решать вопросы обеспечения качества и долговременности эксплуатации сооружения.

В справочнике уделено достаточное внимание исполнительным съемкам конструкций и наблюдениям за деформациями сооружений.

Изложение материала ведется весьма сжато, но основные вопросы изложены достаточно подробно и последовательно с тем, чтобы справочником могли воспользоваться инженеры строительного профиля.

Справочник составлен коллективом авторов.

Руководство коллективом и общую редакцию осуществлял проф., д-р техн. наук Г. В. Багратуни.

Глава I

ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРИИ ПОГРЕШНОСТЕЙ ИЗМЕРЕНИЙ

§ 1. Общие сведения об измерениях

Измерения есть один из важнейших путей познания окружающего мира человеком. Они дают количественную характеристику изучаемым явлениям, раскрывая действующие в природе и обществе закономерности. Д. И. Менделеев охарактеризовал роль измерений следующим образом: «Наука начинается с тех пор, как начинают измерять. Точная наука немислима без меры».

Измерение есть нахождение значения физической величины с помощью специальных технических средств. Отраслью науки, изучающей измерения, является метрология. Дословный перевод слова «метрология» — учение о мерах. Метрология в ее современном понимании — наука об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности.

В результате измерения получают совокупность величин, обработка которых по определенным правилам дает количественную характеристику физической величины (результат измерения).

В зависимости от способа получения искомого значения измерения делятся на прямые и косвенные. В зависимости от условий, сопутствующих процессу измерения, измерения делятся на равноточные и неравноточные.

Измерение протекает во времени и пространстве при обязательном наличии и взаимодействии следующих факторов: объекта измерения, средств измерения, индивида и внешней среды. Эти факторы в совокупном проявлении образуют условия измерений; отсутствие любого из них делает невозможным измерение как физического процесса.

Поскольку указанные факторы меняются в течение измерения, то, строго говоря, в практике человек имеет дело только с неравноточными измерениями.

Известно, что любое измерение, с какой бы тщательностью не было выполнено, всегда сопровождается погрешностями, т. е. отклонениями наблюдений от истинных значений. Первопричиной появления таких отклонений являются условия измерений.

Изучением погрешностей измерений с точки зрения их вероятностного распределения, разработкой критериев оценки точности, отысканием наиболее надежного значения измеряемой величины с последующей его оценкой занимается теория погрешностей измерений.

§ 2. Классификация погрешностей

Под погрешностью измерения понимается разность наблюдаемого и истинного значений, т. е.

$$\Delta = l - a \quad (1)$$

Δ — истинная погрешность измерения.

Истинная погрешность измерения является следствием совместного действия факторов, являющих собой условия измерений. Каждый из этих факторов оказывает незначительное влияние на искомый результат по сравнению с суммарным действием всех источников.

Можно истинную погрешность представить в виде

$$\Delta = \delta_m + \delta_{\text{и}} + \delta_{\text{л}}, \quad (2)$$

где δ_m , δ_n , δ_l — соответственно методическая, инструментальная, личная погрешности. Каждая из них, в свою очередь, может вызываться рядом причин.

Так, методические погрешности могут возникать вследствие несовершенной теории, положенной в основу наблюдения изучаемого явления. Инструментальные погрешности вызваны несовершенством средств измерений. Личные погрешности являются следствием индивидуальных особенностей человека, выполняющего измерения.

По свойствам погрешности измерения подразделяются на систематические и случайные. Могут появиться грубые ошибки.

Систематической погрешностью называется составляющая общей погрешности, которая в продолжительном ряде измерения остается постоянной или меняется по определенному математическому закону. Такие погрешности при возможном их изучении должны исключаться из результатов измерений.

Грубой называют ошибку, существенно превышающую предел допустимых погрешностей, определяемых условиями измерения. Грубые ошибки являются результатом промаха, просчета.

Если выполненные наблюдения исправить путем введения поправок за систематическую часть, произвести отбраковку грубых ошибок, то полученные результаты, разнящиеся между собой, будут содержать случайную часть погрешности.

Случайные погрешности проявляют свои свойства в большом количестве и подчиняются статистическим закономерностям.

В процессе измерения случайные и систематические погрешности присутствуют одновременно, и тогда

$$\varepsilon = \delta + \lambda,$$

где δ , λ — соответственно случайная и систематическая часть погрешности. Это равенство справедливо, если грубые ошибки исключены.

В общем случае погрешность ε изменяется в процессе измерений, т. е. с течением времени; и совокупность ε_i представляет собой случайную величину. Поэтому можно указать лишь вероятности появления значений случайной функции в том или ином интервале.

Систематические погрешности измерения

При повторных измерениях систематические погрешности остаются постоянными или меняются по определенному закону. Они исключаются путем введения соответствующих поправок. Однако в действительности полностью исключить систематические погрешности не представляется возможным, всегда остается неисключаемая часть. По своей природе систематические погрешности можно подразделить на инструментальные, личные, методические и вызванные влиянием внешних условий.

Инструментальные систематические погрешности могут быть следствием неправильной технологии изготовления отдельных узлов геодезических приборов (погрешность делений лимба, эксцентриситет алидады и т. д.), а также износа и старения частей приборов (укорачивание или растяжение линейных средств измерения, износ осей, винтов теодолитов и нивелиров и т. д.). Погрешности этой категории выявляют путем тщательных исследований приборов в специальных лабораториях, мастерских и на компараторах.

В большей степени геодезические измерения выполняют на открытом воздухе, где внешние условия меняются в широких диапазонах. Источниками воздействий могут быть ветер, неравномерный нагрев прибора солнцем, явление рефракции, освещенность визирных цепей, вибрация прибора, вызванная работой промышленных механизмов или близко идущим транспортом, магнитные поля.

Наибольшую опасность представляют погрешности, действующие непрерывно в течение процесса измерения. Такие погрешности могут остаться незамеченными вследствие их неизменности. Для их обнаружения и исключения рекомендуется составлять программы измерений, вести наблюдения в наибо-

лее благоприятные периоды дня, например в утренние и вечерние часы и т. д. Влияние окружающей температуры сказывается на поведении пузырька уровня, на плавность вращения кругов, трубы. Аномалии магнитного поля Земли влияют на ориентирование прибора, на точность определения направлений меридиана.

Знание законов изменения атмосферного давления, влажности, температуры на линии визирования позволяет прогнозировать влияние горизонтальной и вертикальной рефракции.

Методические систематические погрешности являются следствием упрощений, неправильных допущений в теоретических предпосылках относительно механизма протекания того или иного явления. Такие погрешности, как правило, небольшие. Однако они могут и превосходить погрешности измерения. Обычно такие погрешности возникают при изучении физических процессов, не имеющих строгого теоретического обоснования, где в основе лежат эмпирические зависимости.

Личные систематические погрешности являются следствием индивидуальных физиологических особенностей наблюдателя.

Обнаружение систематических погрешностей представляет собой сложную задачу. Обычно для обнаружения постоянной систематической погрешности измерение выполняют двумя различными методами. Изменяющиеся систематические погрешности обнаруживают известными статистическими приемами, в частности применением критериев Аббе, Стьюдента, Фишера.

Один из способов исключения систематических погрешностей состоит в следующем. Измеряется какая-то величина X . Из ряда наблюдений вычисляется среднее арифметическое значение X' , отягощенное систематическими погрешностями. Приближение к истинному значению определяется интервальной оценкой, т. е.

$$X = X' \pm t_{\alpha} S_{X'},$$

где t_{α} — коэффициент, выбираемый из таблиц распределения Стьюдента при доверительной вероятности α ; $S_{X'}$ — среднее квадратическое отклонение арифметического среднего.

В результате измерения вводится поправка ($q \pm t_{\alpha} S_q$), определяющая систематическую часть погрешности; S_q — среднее квадратическое отклонение определения поправки q . Тогда приближение к истинному значению выразится равенством

$$X = X'' \pm t_{\alpha} S_{X''}.$$

В данном случае

$$X'' = X' + q, \quad S_{X''}^2 = S_{X'}^2 + S_q^2.$$

Замечаем, что систематическая погрешность уменьшилась до величины $\lambda_2 = \lambda_1 - q$. Доверительные границы погрешности результата измерения при фиксированном α определялись до введения поправки пределами $\epsilon_1 = \lambda_1 \pm t_{\alpha} S_{X'}$, а после введения поправки — пределами

$$\epsilon_2 = \lambda_2 \pm t_{\alpha} S_{X''} = \lambda_1 - q \pm t_{\alpha} \sqrt{S_{X'}^2 + S_q^2}.$$

Поправку вводят до тех пор, пока имеет место неравенство $\epsilon_2 < \epsilon_1$, т. е.

$$\lambda_1 - q + t_{\alpha} \sqrt{S_{X'}^2 + S_q^2} < \lambda_1 + t_{\alpha} S_{X'},$$

откуда

$$q > t_{\alpha} S_{X'} \left(\sqrt{1 + \frac{S_q^2}{S_{X'}^2}} - 1 \right).$$

После разложения в степенной ряд выражение упрощается, т. е. имеем

$$q > 0,5t_{\alpha}S_q,$$

откуда следует, что поправку необходимо вводить, если она больше половины доверительной погрешности ее определения.

Грубые погрешности измерения

Грубые ошибки, или промахи, должны быть выявлены перед математической обработкой результатов измерений и исключены. Отбраковка грубых ошибок осуществляется применением статистических критериев, в основе которых, как правило, лежит закон нормального распределения случайных величин.

В практике инженерной геодезии, когда число наблюдений невелико, удобно обнаруживать ошибочные результаты с помощью номограммы. В основе номограммы лежит статистика Диксона

$$r_{ij} = \frac{x_n - x_{n-1}}{x_n - x_{j+1}}. \quad (3)$$

С использованием статистики составлены подробные таблицы, по которым можно определить вероятность неравенства $P(r > r_{\alpha}) = \alpha$. Индекс указывает на положение анализируемого члена в вариационном ряде; так, r_{10} применяется для проверки одного максимального члена.

В основу номограммы положен принцип взаимного расположения четырех осей: I—II, I—III, III—IV, III—V, с которыми совмещают соответствующие шкалы (с осями I—II, III—IV, III—V — шкалы метрические, с осью I—III — логарифмическая). С помощью таблиц статистики Диксона получена заштрихованная область, ограниченная линиями с доверительными вероятностями 0,90 и 0,99.

Пример. Имеется ряд измерения угла: 5,1; 8,5; 8,8; 9,0; 9,1". Требуется установить принадлежность первого наблюдения полученной выборке. Из подсчетов получаем

$$r = \frac{8,5 - 5,1}{9,5 - 5,1} = 0,85.$$

Откладывая полученные величины на соответствующих осях (рис. 1), заключаем, что измерение, подозреваемое в аномальности, должно быть исключено из дальнейшей обработки.

Если же подсчеты приводят в заштрихованную область, то представляется спорный случай, решением которого могут являться дополнительные исследования или же применение того же критерия Диксона, но с определенной доверительной вероятностью.

Случайные погрешности измерения

После исключения систематической части погрешности и отбраковки грубых наблюдений результаты измерения все равно разнятся между собой. Это говорит о присутствии в них оставшихся погрешностей, которые принято называть случайными. Таким образом, случайная погрешность есть разность между исправленными результатами измерения и истинным значением, т. е. $\delta = L - a$, где L — результат измерения, исправленный за систематическую часть.

Анализ большого числа случайных погрешностей дал возможность выявить некоторые закономерности последних, а это, в свою очередь, позволило решить одну из основных задач математической обработки, а именно, выбор наиболее надежного результата измерения и оценки точности произведенных измерений.

Статистические закономерности случайных погрешностей достаточно полно описываются функцией распределения $F(x)$, которая определяет вероят-

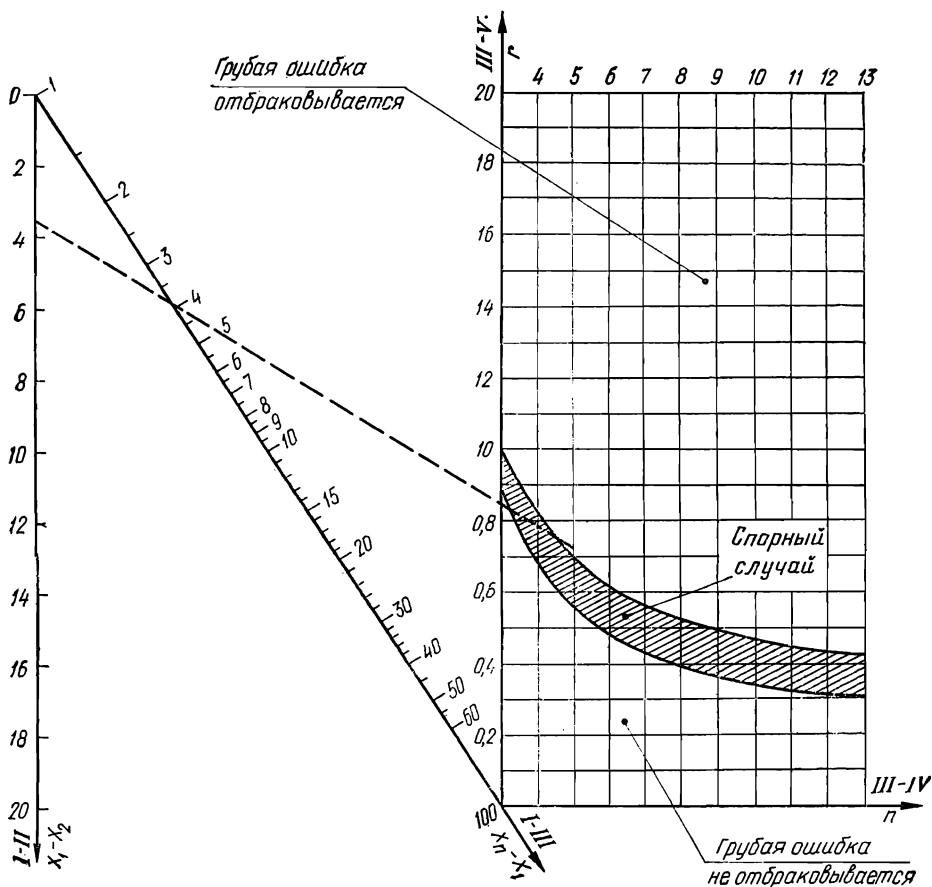


Рис. 1. Номограмма для определения грубой ошибки

ность того, что случайная величина X будет меньше x , т. е. $F(x) = P(X < x)$. Функция распределения — неубывающая функция, так что $F(-\infty) = 0$, $(F + \infty) = 1$. Наряду с этим в теории вероятностей широкое применение находит дифференциальная функция распределения, или как ее называют, плотность распределения

$$f(x) = \frac{dF(x)}{dx}.$$

§ 3. Законы распределения случайных величин

Для теории и практики геодезических измерений определяющее значение имеет закон Лапласа — Гаусса (закон нормального распределения) с плотностью вида

$$f(x) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-a)^2}{2\sigma^2}}. \quad (4)$$

Интегральная функция распределения имеет вид

$$F(x) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{(x-a)^2}{2\sigma^2}} dx. \quad (5)$$

В этих выражениях параметр σ — среднее квадратическое отклонение (σ^2 — дисперсия случайной величины); a — математическое ожидание случай-

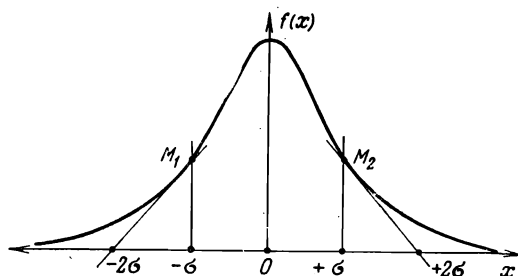


Рис. 2. Свойства кривой нормального распределения

ной величины (истинное значение при условии исключения систематических влияний). На рис. 2 приведена дифференциальная функция распределения.

В практике расчетов удобной формой является нормированная случайная величина

$$z = \frac{x - a}{\sigma}.$$

Тогда

$$f(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{z^2}{2}}; \quad F(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^z e^{-\frac{y^2}{2}} dy. \quad (6)$$

Величина

$$\Phi(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^z e^{-\frac{y^2}{2}} dy$$

табулирована и называется нормированной функцией Лапласа (приложение).

Свойства кривой случайных погрешностей

1. Кривая нормального распределения имеет максимум в точке, соответствующей математическому ожиданию случайных погрешностей измерения. Кривая имеет колоколообразную форму, асимптотически приближаясь своими концами к оси абсцисс.

2. Точки перегиба кривой нормального распределения соответствуют абсциссе, равной среднему квадратическому отклонению.

3. Касательные в точках перегиба кривой погрешностей пересекают ось абсцисс в точке, соответствующей удвоенному среднему квадратическому отклонению (см. рис. 2).

Эти свойства определяют и свойства случайных погрешностей измерения (свойства симметричности, унимодальности, компенсации, ограниченности),

которые подробно рассматриваются во всех элементарных курсах геодезии. Для случайных погрешностей большое значение приобретает свойство компенсации, которое записывается в виде

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{[\delta]}{n} = 0.$$

Иногда в теории погрешностей измерений пользуются понятием «мера точности», что выражается зависимостью

$$h = \frac{1}{\sigma \sqrt{2}}.$$

Отсюда видно, что чем точнее измерение, тем мера точности больше.

Параметры нормального закона распределения

В формулу функции распределения нормального закона входят два параметра, которые определяют собой $M(X) = a$ — математическое ожидание и

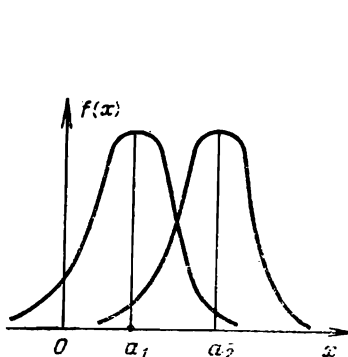


Рис. 3. Параметр a

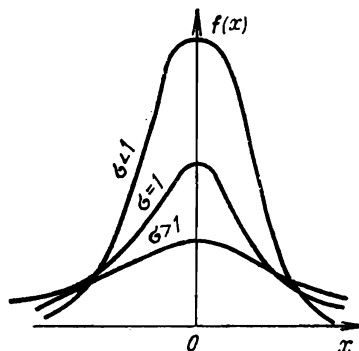


Рис. 4. Параметр σ

$D(X) = \sigma^2$ — дисперсию случайной величины. Размерность их та же, что и размерность случайной величины. Математическое ожидание характеризует положение центра группирования на оси абсцисс, дисперсия характеризует меру рассеивания случайной величины относительно математического ожидания. Параметр σ определяет форму кривой распределения. Рис. 3 и 4 иллюстрируют параметры a и σ .

В теории математической статистики широкое применение имеют так называемые моменты, которые довольно подробно описывают случайную величину.

Первый начальный момент совпадает с математическим ожиданием случайной величины, т. е.

$$\nu_1(X) = M(X) = \int_{-\infty}^{\infty} x f(x) dx. \quad (7)$$

Второй центральный момент есть квадрат среднего квадратического отклонения, т. е.

$$\mu_2(X) = D(X) = \int_{-\infty}^{\infty} (x - a)^2 f(x) dx. \quad (8)$$

где $f(x)$ — плотность нормального распределения случайной величины.

Не прибегая к несложным выкладкам, можно заметить, что центральные моменты нечетного порядка равны нулю, что следует из симметричности кривой нормального распределения. Выражения центральных моментов четного порядка имеют вид

$$\mu_2(X) = \sigma^2;$$

$$\mu_4(X) = 3\sigma^4;$$

$$\mu_6(X) = 15\sigma^6.$$

Для более полной характеристики случайной величины вычисляют параметры, характеризующие меру косости и крутости распределения.

Коэффициент асимметрии для нормального распределения определяется как

$$A = \frac{\mu_3(X)}{\sigma^3} = 0.$$

Коэффициент эксцесса для нормального распределения определяется как

$$E = \frac{\mu_4(X)}{\sigma^4} - 3 = 0.$$

В практике число наблюдений всегда ограничено, поэтому для оценки параметров распределения применяют выборочные характеристики.

Так, для оценки математического ожидания вычисляют среднее арифметическое значение по формуле $X = \frac{[l]}{n}$,

где l_i — наблюдения, выполненные в процессе измерения.

Из теории метода наименьших квадратов следует, что среднее арифметическое значение является наилучшим приближением к истинному значению, что следует из следующих рассуждений:

$$X - l_i = V_i,$$

где X — наиболее надежное значение измеряемой величины; l_i — отдельные наблюдения; V_i — уклонения.

Определим значение X под условием

$$Q = [VV] = V_1^2 + V_2^2 + \dots + V_n^2 = \min$$

или

$$Q = [VV] = (X - l_1)^2 + (X - l_2)^2 + \dots + (X - l_n)^2 = \min;$$

$$\frac{\partial Q}{\partial X} = 2(X - l_1) + 2(X - l_2) + \dots + 2(X - l_n) = 0,$$

откуда получим

$$X = \frac{l_1 + l_2 + \dots + l_n}{n} = \frac{[l]}{n}. \quad (9)$$

Вторая производная $\frac{\partial^2 Q}{\partial X^2} = 2n > 0$, что является признаком минимума функции $[VV]$ при значении $X = [l]/n$.

Для оценки стандарта в практике обработки технических измерений вычисляется средняя квадратическая погрешность либо по формуле Гаусса

$$S = \sqrt{\frac{[\Delta\Delta]}{n}}, \quad (10)$$

либо по формуле Бесселя

$$S = \sqrt{\frac{[VV]}{n-1}}. \quad (11)$$

При $n \rightarrow \infty$ величина S будет стремиться к своему пределу, который обусловлен сложившимися условиями измерения. Таким пределом является стандарт измерения σ .

Наряду со средней квадратической погрешностью для оценки точности применяются такие критерии, как средняя погрешность и вероятная погрешность. Однако критерий S обладает определенными преимуществами перед названными оценками, а именно, критерий S более чувствителен к крупным по абсолютной величине погрешностям измерения; средняя квадратическая погрешность является величиной достаточно устойчивой уже при числе наблюдений порядка 20—30; точность определения самой средней квадратической погрешности зависит от числа выполненных наблюдений, т. е.

$$S_S = \frac{S}{\sqrt{2n}}.$$

Весьма важным свойством критерия S является простота связи его с предельной погрешностью измерения, что выражается зависимостью $\Delta_{\text{пред}} = 3\sigma$, полагая $S \approx \sigma$.

Подтверждение этой зависимости находится в основном положении

Рис. 5. Вероятность попадания точки в область произвольной формы

теории вероятностей — законе больших чисел. Установлено, что погрешность измерения может превосходить стандарт в 32 случаях из 100, в 50 случаях из 1000 погрешность измерения будет превосходить удвоенный стандарт и лишь в 3 случаях из 1000 будет превосходить утроенный стандарт.

Переводя все сказанное на язык теории вероятностей, можно резюмировать так: вероятность того, что случайная величина погрешности измерения не выйдет за пределы утроенного стандарта, равна 0,997. Это значение практически близко к единице, поэтому оговоренное событие можно считать достоверным и принять область, ограниченную пределами $\pm 3\sigma$, за область доброкачественных наблюдений. Результаты, выходящие за область критических значений, принято считать грубыми, и в обработку они не включаются.

Закон распределения Релея

Если известно распределение случайного вектора, то можно найти вероятность попадания конца этого вектора R в область произвольной формы B . Эта вероятность определяется интегралом

$$P(R \in B) = \iint_B f(x, y) dx dy.$$

Найдем вероятность того, что точка S конца вектора находится в пределах кольца, образованного окружностями радиуса R и $R+dR$ (рис. 5). Имеем в виду, что проекции случайного вектора на оси координат суть случайные, взаимно независимые величины, подчиняющиеся нормальному закону распределения с одинаковыми дисперсиями. Тогда плотность вероятностей примет вид

$$P(X) = P(R \cos \varphi) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{R^2 \cos^2 \varphi}{2\sigma^2}};$$

$$P(Y) = P(R \sin \varphi) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{R^2 \sin^2 \varphi}{2\sigma^2}}.$$

Введем вместо переменных X, Y, R безразмерные величины x, y, r , которые определяются как

$$x = \frac{X}{\sigma},$$

$$y = \frac{Y}{\sigma},$$

$$r = \frac{R}{\sigma}.$$

Очевидно, $x^2 + y^2 = r^2$.

Из теории распределения двумерной величины известна вероятность попадания случайной точки в прямоугольник со сторонами $\cos \varphi dR$ и $\sin \varphi dR$. Согласно выражению $P(x, y) = P(x)P(y)$, где $P(x)$ и $P(y)$ — вероятности, определяемые нормальными законами распределения, находим

$$P(R \cos \varphi) \cos \varphi dR P(R \sin \varphi) \sin \varphi dR = \frac{1}{2\pi} \cos \varphi \sin \varphi e^{-\frac{r^2}{2}} (dR)^2. \quad (12)$$

Вместе с тем вероятность того, что конец вектора R лежит в пределах площади $Rd\varphi dR$, равна выражению (12), умноженному на отношение площадей $Rd\varphi dR$ и $\cos \varphi \sin \varphi \times (dR)^2$.

Опуская элементарные преобразования, получим

$$P(R, \varphi) dR d\varphi = P(r, \varphi) dr d\varphi = \frac{r}{2\pi} e^{-\frac{r^2}{2}} dr d\varphi,$$

что равнозначно следующему выражению:

$$P(r, \varphi) = \frac{r}{2\pi} e^{-\frac{r^2}{2}}. \quad (13)$$

Полученная формула известна в статистической теории распределений как плотность распределения Релея.

§ 4. Погрешности функций случайных величин

Дана функция в общем виде

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n),$$

где $x_1, x_2, \dots, x_n$ — независимые величины, для определения которых производятся многократные равноточные наблюдения.

Абсолютные погрешности аргументов $x_1, x_2, \dots, x_n$ представляются как бесконечно малые приращения $\pm dx_1, \pm dx_2, \dots$, имеющие своим пределом нуль. В таком случае и абсолютная погрешность функции y будет также величиной бесконечно малой. Тогда

$$y \pm dy = f(x_1 \pm dx_1, x_2 \pm dx_2, \dots, x_n \pm dx_n).$$

В действительности же погрешности аргументов хотя и малые, но конечные величины и их можно представить как частные значения аргументов

$$y \pm \Delta y = f(x'_1 \pm \Delta x_1, x'_2 \pm \Delta x_2, \dots, x'_n \pm \Delta x_n).$$

Раскладывая функцию в ряд Тейлора и ограничиваясь первыми производными и первыми степенями погрешностей Δx_i , получим

$$y \pm \Delta y \approx f(x'_1, x'_2, \dots, x'_n) \pm \frac{\partial y}{\partial x'_1} \Delta x_1 \pm \frac{\partial y}{\partial x'_2} \Delta x_2 \pm \dots \pm \frac{\partial y}{\partial x'_n} \Delta x_n.$$

Далее имеем

$$\Delta y = \pm \frac{\partial y}{\partial x'_1} \Delta x_1 \pm \frac{\partial y}{\partial x'_2} \Delta x_2 \pm \dots \pm \frac{\partial y}{\partial x'_n} \Delta x_n.$$

Таких уравнений будет столько, сколько произведено измерений аргумента. Будем иметь

$$\frac{[\Delta y^2]}{n} = \left(\frac{\partial y}{\partial x_1} \right)^2 \frac{[\Delta x_1^2]}{n} + \left(\frac{\partial y}{\partial x_2} \right)^2 \frac{[\Delta x_2^2]}{n} + \dots + \left(\frac{\partial y}{\partial x_n} \right)^2 \frac{[\Delta x_n^2]}{n}.$$

Иначе выражение для средней квадратической погрешности функции общего вида запишется в виде

$$S_y^2 = \left(\frac{\partial y}{\partial x_1} \right)^2 S_1^2 + \left(\frac{\partial y}{\partial x_2} \right)^2 S_2^2 + \dots + \left(\frac{\partial y}{\partial x_n} \right)^2 S_n^2. \quad (14)$$

Применяя формулу (14), можно найти средние квадратические погрешности для любого множества функций, заданных в явном виде.

П р и м е р ы.

$$1. y = ax; \quad S_y^2 = \left(\frac{\partial y}{\partial x} \right)^2 a^2 S_x^2 = a^2 S_x^2.$$

$$2. y = x_1 + x_2, \quad S_y^2 = \left(\frac{\partial y}{\partial x_1} \right)^2 S_1^2 + \left(\frac{\partial y}{\partial x_2} \right)^2 S_2^2, \quad S_y^2 = S_1^2 + S_2^2.$$

$$3. y = x_1 \pm x_2 \pm \dots \pm x_n, \quad S_y^2 = S_1^2 + S_2^2 + \dots + S_n^2.$$

$$4. y = a_1 x_1 \pm a_2 x_2 \pm \dots \pm a_n x_n; \quad S_y^2 = a_1^2 S_1^2 + a_2^2 S_2^2 + \dots + a_n^2 S_n^2.$$

Примеры на применение приведенных формул можно найти в учебниках по геодезии и методу наименьших квадратов.

Средняя квадратическая погрешность арифметического среднего при равно- точных измерениях

Дана функция в форме среднего арифметического

$$X = \frac{[l]}{n} = \frac{1}{n} l_1 + \frac{1}{n} l_2 + \dots + \frac{1}{n} l_n,$$

где $\frac{1}{n}$ — постоянный коэффициент.

Применяя формулу средней квадратической погрешности для функции линейного вида, получим

$$S_X^2 = M^2 = \frac{1}{n^2} \left(\frac{\partial x}{\partial l_1} \right)^2 S_1^2 + \frac{1}{n^2} \left(\frac{\partial x}{\partial l_2} \right)^2 S_2^2 + \dots + \frac{1}{n^2} \left(\frac{\partial x}{\partial l_n} \right)^2$$

Средние квадратические погрешности наблюдений $S_1, S_2, \dots, S_n$ равны, так как наблюдения равноточны. Поэтому получим

$$M^2 = \frac{nS^2}{n^2} = \frac{S^2}{n} \text{ или } M = \frac{S}{\sqrt{n}}.$$

Наблюдения, выполненные при меняющихся условиях измерения, будут неравноточными. В этом случае необходимо учитывать надежность каждого отдельного результата при выборе окончательного результата и при оценке его точности. Принято надежность наблюдения характеризовать его весом, т. е. величиной, обратно пропорциональной квадрату средней квадратической погрешности,

$$p = \frac{c}{S^2}, \quad (15)$$

где c — постоянная, устанавливаемая специальными приемами.

Если обозначить через P вес арифметического среднего, то по аналогии с формулой (15) можно написать

$$P = \frac{c}{M^2} = \frac{cn}{S^2}.$$

Сравнивая эту формулу с формулой (15), можно заметить, что вес арифметического среднего больше веса одного наблюдения в n раз, т. е. в число выполненных наблюдений.

При обработке ряда неравноточных наблюдений получают следующие характеристики:

общее арифметическое среднее

$$X_0 = \frac{[p'l]}{[p]}.$$

средняя квадратическая погрешность единицы веса

$$\mu = \sqrt{\frac{[p\Delta\Delta]}{n}}; \quad \mu = \sqrt{\frac{[pVV]}{n-1}};$$

средняя квадратическая погрешность общего арифметического среднего

$$M_0 = \frac{\mu}{\sqrt{[p]}}.$$

§ 5. Точечное и интервальное оценивание

В § 4 рассмотрена так называемая точечная оценка случайной величины, при которой находят математическое ожидание в виде среднего арифметического и стандарт в виде средней квадратической погрешности арифметического среднего.

К оценкам, выраженным одним числом, предъявляется ряд требований, характеризующих их пригодность для практики математической обработки результатов измерений.

1. Требование состоятельности. Оценка удовлетворяет этому требованию, если при увеличении числа наблюдений она приближается к оцениваемому параметру.

2. Требование эффективности. Оценка удовлетворяет этому требованию, если ее дисперсия остается меньше дисперсии любой другой оценки данного параметра.

3. Требование несмещенности. Оценка удовлетворяет этому требованию, если ее математическое ожидание равно оцениваемому параметру.

Оценки, выраженные одним числом, являются наилучшими в классе точечных оценок, если они удовлетворяют приведенным требованиям.

Используя формулы обработки неравноточных наблюдений, можно записать конечный результат задачи по нахождению наилучшего значения измеряемой величины $a = X \pm M$.

Это равенство можно интерпретировать следующим образом: истинное значение измеряемой величины попадает в интервал $X \pm M$, обусловленный сложившимися условиями измерения.

Поскольку X , а следовательно, и M зависят от комбинации случайных погрешностей измерения, то сам интервал по своей природе случаен. А раз так, то значение a попадает в случайный интервал с какой-то вероятностью. Однако точечные оценки ничего определенного не говорят о значении этой вероятности.

Оценка параметров с помощью интервалов заключается в нахождении интервалов, называемых доверительными, в которых с наперед заданной доверительной вероятностью находятся истинные значения оцениваемых параметров.

Для геодезической практики характерен случай, когда дисперсия измерения неизвестна; распределение наблюдений предполагается нормальным. Для этой цели используется случайная величина

$$t = \frac{X - a}{M},$$

распределенная по закону Стьюдента с плотностью вида

$$S(t, k) = \frac{\left(\frac{k+1}{2}\right)!}{\sqrt{\pi k} \left(\frac{k}{2}\right)!} \left(1 + \frac{t^2}{k}\right)^{-\frac{k+1}{2}}, \quad (16)$$

где $k = n - 1$ — число степеней свободы; X и M вычисляются по данным выборки.

Вероятность того, что величина t попадает в интервал, ограниченный значениями $\pm t_\alpha$, определяется по формуле

$$P(-t_\alpha < t < t_\alpha) = \int_{-t_\alpha}^{t_\alpha} S(t, k) dt$$

или

$$P(-t_\alpha M < X - a < t_\alpha M) = \alpha.$$

По выбранной доверительной вероятности α устанавливают доверительные границы, отвечающие конкретным условиям измерения.

Таким образом, с помощью распределения Стьюдента находится вероятность того, что выборочное среднее арифметическое отклоняется от истинного значения не более чем на $\pm t_\alpha M$. Коэффициент t_α принимает значения в зависимости от α ($\alpha = 0,99; 0,95; 0,90 \dots$). Тогда окончательный результат решения задачи по нахождению наилучшего значения запишется в виде

$$a = X \pm t_\alpha M; (\alpha = \dots).$$

§ 6. Нахождение искомой величины по методу наименьших квадратов

Для анализа результатов измерений важным элементом является соблюдение количественных соотношений между измеренными величинами.

Используя способы теории погрешностей, можно было бы математическую обработку измеренной информации определить исчерпывающим образом, если бы анализировались только необходимые результаты измерений.

Однако в практике измерений и, в частности, в геодезической, процесс измерения зачастую планируется так, чтобы получились избыточные результаты. Они-то и позволяют, с одной стороны, контролировать непосредственные наблюдения и, с другой, осуществить оценку точности измеренных величин.

В общем случае задача формулируется так: произведено большое число наблюдений над несколькими неизвестными величинами, требуется определить наиболее надежные значения неизвестных.

Так как наблюдения неизбежно сопровождаются случайными погрешностями, а избыточные измерения сами являются причиной несогласованности результатов между собой, то очевидно задача уравнивания измеренных величин.

В результате уравнивания определяются такие поправки к измеренным значениям, которые бы обращали в нуль невязки, возникающие вследствие погрешностей измерений. Иными словами, необходимо получить систему

$$\begin{aligned} f_1(x_1 + V_1, x_2 + V_2, \dots, x_n + V_n) &= 0; \\ f_2(x_1 + V_1, x_2 + V_2, \dots, x_n + V_n) &= 0; \\ \dots \dots \dots \end{aligned}$$

Задача по отысканию наиболее надежных результатов решается методом наименьших квадратов, в основе которого лежит принцип Лежандра, а именно $[\sum v^2] = \min$.

Совершенно ясно, что прежде чем применять аппарат метода наименьших квадратов, необходимо оценить величины от уклоняющихся результатов, т. е. произвести отбраковку, а также установить и исключить влияние систематических погрешностей. Другими словами, применению метода наименьших квадратов предшествуют приемы и способы математической статистики и теории погрешностей.

Дадим обоснование метода наименьших квадратов, исходя из нормального закона распределения погрешностей измерений. Известно, что любую совокупность результатов измерения и всякое множество искомых величин всегда можно выразить зависимостью $y = \varphi(x)$.

Рассмотрим фиксированное значение y_i , распределенное по закону Гаусса с параметрами a и σ . Плотность нормального распределения запишется в виде

$$f(y) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(y-a)^2}{2\sigma^2}}. \quad (17)$$

В результате измерения получен ряд значений функции $f_1(y)$, $f_2(y)$, ..., $f_n(y)$. Необходимо найти вероятнейшие значения a_1 , a_2 , ..., a_n под условием того, что вероятность совместного появления измеренных значений будет максимальной. Определим вероятность того, что все значения y_i попадут в бесконечно малые пределы $(y_i, y_i + dy_i)$. По теореме умножения вероятностей искомая вероятность равна

$$P = \left(\frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \right)^n e^{-\frac{1}{2\sigma^2} \sum_{i=1}^n (y_i - a)^2} \cdot e^{-\frac{1}{2\sigma^2} \sum_{i=1}^n (y_i - a)^2}.$$

Величина

имеет наибольшее значение, когда показатель минимален, т. е.

$$\frac{1}{2\sigma^2} \sum_{i=1}^n (y_i - a)^2 = \min.$$

Это и есть математическое условие, под которым осуществляется выбор вероятнейших значений искомых величин.

§ 7. Техника вычислений

Приближенные числа

Приближенным числом a называют число, незначительно отличающееся от точного значения A и заменяющее его в вычислениях.

Погрешность приближенного числа — это разность между точным и приближенными числами $\Delta a = A - a$.

Для оценки точности приближенного числа используют относительную погрешность

$$\delta = \left| \frac{\Delta a}{A} \right|.$$

Под предельной погрешностью понимают любое положительное число, которое не меньше абсолютной величины погрешности $\Delta a > |\Delta a|$.

Предельная относительная погрешность δ_a приближенного числа — это любое положительное число, удовлетворяющее условию $\delta_a > \delta$.

Из всех возможных значений Δa и δ_a обычно стремятся найти наименьшее из известных. В качестве предельной относительной погрешности часто применяют величину

$$\delta_a = \frac{\Delta a}{|a| - \Delta a}.$$

В позиционной системе записи приближенное число может быть представлено в виде конечной десятичной дроби

$$a = \alpha_m 10^m + \alpha_{m-1} 10^{m-1} + \dots + \alpha_{m-n+1} 10^{m-n+1} = \sum_{i=m-n+1}^m \alpha_i 10^i. \quad (18)$$

Значащими цифрами называют все цифры приближенного числа, отличные от нуля, и нули, если они представляют число единиц сохраненного разряда. Нули в начале и конце числа, показывающие разрядность приближенного числа, значащими цифрами не считаются. Например, $52\,000 = 52 \times 10^3$ или $0,00052 = 52 \times 10^{-5}$ (значащие цифры 5 и 2).

Десятичный знак называют верным, если абсолютная величина погрешности не превышает половины единицы рассматриваемого разряда. Если $\alpha_m \neq 0$ и $|\Delta a| \leq 0,5 \times 10^{m-n+1}$, то первые n значащих цифр приближенного числа a в формуле (18) считают верными.

При округлении в приближенном числе обычно сохраняют только верные значащие цифры. При этом округление осуществляют к ближайшему приближенному числу. Если округляемая цифра равна пяти, то последняя цифра округленного числа должна быть четной.

Если приближенное число a имеет n верных знаков, то предельная относительная погрешность числа при $n \geq 2$ равна

$$\delta_a = \frac{1}{2\alpha_m} \left(\frac{1}{10} \right)^{n-1}.$$

Погрешности функций приближенных чисел (табл. 1).

Таблицы и интерполирование

В таблицах для дискретных значений аргументов $x_1, x_2, x_3, \dots$ с шагом $h = x_1 - x_0 = x_2 - x_1 = \dots$ даны значения функций $y_0 = f(x_0), y_1 = f(x_1), y_2 = f(x_2),$

$\dots$ и разности первого порядка $\Delta'_{y_0} = y_1 - y_0, \Delta'_{y_1} = y_2 - y_1, \dots$

Т а б л и ц а 1

Вид функции	Погрешность функции	Вид функции	Погрешность функции,
$y = x_1 \pm x_2 \pm \dots \pm x_n$	$\Delta_y = \sum_{i=1}^n \Delta x_i$	$y = \lg x$	$\Delta_y = M \frac{\Delta x}{x}; \quad M = 0,43$
$y = x_1 - x_2$	$\delta_y = \frac{\Delta x_1 + \Delta x_2}{ x_1 - x_2 }$	$y = \sin x$	$\Delta_y = \cos x \frac{\Delta x}{\rho}$
$y = x_1 x_2 \dots x_n$	$\delta_y = \sum_{i=1}^n \delta_{x_i}$	$y = \lg x$	$\Delta_y = \sec^2 x \frac{\Delta x}{\rho}$
$y = \frac{x_1}{x_2}$	$\delta_y = \delta_{x_1} + \delta_{x_2}$	$y = \lg \sin x$	$\Delta_y = M \operatorname{ctg} x \frac{\Delta x}{\rho}$
$y = x^m$	$\delta_y = m \delta_x$	$y = \lg \lg x$	$\Delta_y = \frac{2M}{\sin 2x} \frac{\Delta x}{\rho}$
$y = \sqrt[m]{x}$	$\delta_y = \frac{1}{m} \delta_x$	$y = f(x_1, x_2, \dots)$	$\Delta_y = \sum_{i=1}^n \left \frac{\partial y}{\partial x_i} \Delta x_i \right $

Все значащие цифры функций в таблицах верны, т. е. погрешности значений не превышают половину единицы последней значащей цифры.

Для нахождения значений $y=f(x)$ при $x_0 < x < x_1$ используют интерполяционную формулу Ньютона

$$y = f(x) = y_0 + t\Delta'y_0 + \frac{t(t-1)}{1 \cdot 2} \Delta''y_0 + \frac{t(t-1)(t-2)}{1 \cdot 2 \cdot 3} \Delta'''y_0 + \dots, \quad (19)$$

где

$$\Delta''y_0 = \Delta'y_1 - \Delta'y_0, \quad \Delta'''y_0 = \Delta''y_1 - \Delta''y_0 -$$

разности второго и третьего порядков; $t = \frac{x - x_0}{h}$ —

разность значений аргумента, выраженная в долях шага таблицы.

При $|\Delta'''y_0| < 4$ единиц последнего знака ограничиваются вычислением первых двух, а при $|\Delta'''y_0| < 7$ единиц — первых трех членов правой части равенства (19).

Общие правила вычислений

Перед вычислением необходимо разработать схему (бланк), в которой должен быть указан порядок выполнения работы, предусмотрен контроль и оценка точности.

На основе расчета погрешностей вычислений определяют необходимое число значащих цифр в таблицах, промежуточных и окончательных результатов. Если такой расчет не выполняется, то при вычислениях соблюдают следующие правила:

в промежуточных результатах удерживают одну или две дополнительные значащие цифры;

при сложении и во всех числах удерживают на одну значащую цифру больше, чем в наименее точном слагаемом, а результат округляют;

при вычислении произведения результат округляют до наиболее грубого из сомножителей;

результат возведения в степень или извлечения корня округляют до числа верных знаков в аргументе;

таблицы логарифмов должны содержать столько знаков, сколько верных знаков в аргументе.

Все цифры в схему вычислений должны записываться аккуратно и четко, разряд под разрядом. При записи чисел с большим числом нулей надо использовать нормальную форму с выделением целых степеней десятков, например $0,000752 = 7,52 \times 10^{-4}$.

§ 8. Расчеты погрешностей измерений и построений

При измерениях или построениях появление погрешностей обусловлено влиянием ряда факторов. Каждый из них порождает элементарную погрешность. Состояние фактора при измерениях характеризуют числовым параметром a , а элементарную погрешность η рассматривают как функцию этого параметра $\eta = \varphi(a)$.

Оценка элементарной погрешности сводится к определению закона распределения вероятностей или к получению числовых характеристик. Эту часть расчета осуществляют в три этапа.

1. Определяют закон распределения параметра экспериментальным путем, используя результаты выполнения аналогичных работ в сходных условиях, или определяют его исходя из некоторых априорных положений. Последний, наиболее распространенный в расчетах путь поясним на нескольких примерах.

Возьмем округленное число, например 8. Мы не знаем, какая цифра была округлена. Это может быть последняя цифра чисел от 7,5 до 8,5. У нас нет оснований отдать предпочтение ни одной из них. Поэтому всем значениям

погрешности округления в интервале от $-0,5$ до $+0,5$ приписывают одинаковые вероятности и говорят о законе равномерной плотности.

Аналогичные положения распространяют и на другие случаи, например на угловую величину погрешности центрирования.

Если параметр получен по результатам измерений, а случайный характер результата обусловлен влиянием ряда равнозначных факторов, то считают, что параметр подчиняется закону нормального распределения.

2. Определяют функциональную зависимость между параметром и погрешностью так же, как и поправки в результаты измерений, например, как поправки за наклон измеряемой линии.

3. Определяют закон распределения погрешности измерения по результатам выполнения двух предшествующих этапов. Задача сводится к определению закона распределения функции. Результаты решения задачи для наиболее распространенных видов функций даны в табл. 2.

Общая погрешность ε измерения является суммой элементарных погрешностей

$$\varepsilon_i = \eta_{i1} + \eta_{i2} + \dots + \eta_{ik} = \sum_{j=1}^k \eta_{ij}, \quad (20)$$

где $i=1, 2, \dots$ — номер измерения; $j=1, 2, \dots$ — номер элементарной погрешности.

Рассмотрим основные классы элементарных погрешностей.

1. Если во всех n измерениях параметр a элементарной погрешности остается неизменным, т. е. $a_{1j}=a_{2j}=\dots=a_{nj}=a_j$, то элементарная погрешность не изменяет своего значения и в результаты измерения войдет величина $\Phi(a_j)=\eta_{ij}=\eta_j$. Это приведет к смещению центра рассеивания от фактического значения измеряемой величины. Такую погрешность называют систематической, обозначают буквой λ_j и оценивают при помощи математического ожидания

$$\lambda_j = M(\eta_{ij}) = S_{\eta_{ij}} = \eta_j.$$

2. Пусть элементарная погрешность является нечетной функцией параметра a . Если в процессе измерений параметр изменяется в определенном интервале с центром рассеивания в точке a_0 , удовлетворяющей условию

$$\Phi(a_0) = S_{\eta_{ij}} = \lambda_j = 0,$$

то погрешность

$$\eta_{ij} = \eta_{ij} - S_{\eta_{ij}} = \eta'_{ij}$$

является центрированной случайной величиной. Такую погрешность, обуславливающую разброс результатов измерений вокруг центра рассеивания, называют случайной, обозначают буквой δ_{ij} и оценивают при помощи дисперсии или стандарта.

3. Если параметр принимает случайные значения с центром рассеивания в точке a_0 , а элементарная погрешность является четной функцией параметра, то математическое ожидание такой погрешности всегда положительно. Эту элементарную погрешность представляют в виде суммы постоянной

$$S_{\eta_{ij}} = \Theta_j$$

и случайной δ_{ij} частей, т. е. $\eta_{ij} = \Theta_j + \delta_{ij}$.

Если в данных условиях измерений на результаты влияют r погрешностей четных функций, q систематических и $k-q-r$ случайных элементарных погрешностей, то погрешность i измерения равна

$$\varepsilon_i = \sum_{j=1}^q \lambda_j + \sum_{j=q+1}^{q+r} \Theta_j + \sum_{j=q+1}^k \delta_{ij}.$$

Таблица 2

Вид функции	Закон распределения		Числовые характеристики погрешности	
	параметра	погрешности	Математическое ожидание	Дисперсия
1	2	3	4	5
$\eta = ka$	$f(a) = \frac{1}{2\alpha}$ $-\alpha < a < +\alpha$	$f(\eta) = \frac{1}{2 k \alpha}$ $-ka < \eta < +ka$	0	$\frac{k^2\alpha^2}{3} = k^2\sigma_a^2$
	$f(a) = \frac{1}{\sigma_a\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{a^2}{2\sigma_a^2}}$	$f(\eta) = \frac{1}{ k \sigma_a\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{\eta^2}{2k^2\sigma_a^2}}$	0	$k^2\sigma_a^2$
$\eta = ka^2$	$f(a) = \frac{1}{2\alpha}$ $-\alpha < a < +\alpha$	$f(\eta) = \frac{1}{2\alpha\sqrt{k\eta}}$ $0 < \eta < k\alpha^2$	$k\sigma_a^2$	$\frac{4k^2\alpha^4}{45} = \frac{4k^2\sigma_a^4}{5}$
	$f(a) = \frac{1}{\sigma_a\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{a^2}{2\sigma_a^2}}$	$f(\eta) = \frac{1}{\sigma_a\sqrt{2\pi k\eta}} e^{-\frac{\eta}{2k\sigma_a^2}}$	$k\sigma_a^2$	$2k^2\sigma_a^4$

Продолжение табл. 2

Вид функции	Закон распределения		Числовые характеристики погрешности	
	параметра	погрешности	математическое ожидание	дисперсия
1	2	3	4	5
$\eta = \sin a$ $\eta = \cos a$	$f(a) = \frac{1}{2\alpha}$ $0 < a < 2\pi$	— —	0	0,5
$\eta = a(k_1 \sin \theta + k_2 \cos \theta)$	$f(a) = \frac{1}{\sigma_a \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{a^2}{2\sigma_a^2}}$ $f(\theta) = \frac{1}{2\pi}$ $0 < \theta < 2\pi$	— —	0	$(k_1^2 + k_2^2) \frac{\sigma_a^2}{2}$

При оценке погрешностей раздельно учитывают смещение центра и случайный разброс результатов измерений.

Применяя для оценки случайной части погрешностей измерений дисперсии D_j элементарных погрешностей, получим

$$D_\varepsilon = \sum_{j=q+1}^k D_j + 2 \sum_{l+m}^k r_{lm} \sigma_l \sigma_m, \quad (21)$$

где D_ε — дисперсия погрешности измерений; r_{lm} — коэффициент корреляции между l и m слагаемыми.

При последовательном измерении группы однородных величин, например сторон полигонометрического хода, между результатами измерений возникает корреляционная зависимость, обусловленная наличием общих элементарных погрешностей. В этом случае для определения r_{lm} используют следующую теорему: если случайные переменные L и M являются суммами независимых величин и имеют общие слагаемые V_p , то коэффициент корреляции между ними равен отношению алгебраической суммы дисперсий общих слагаемых к произведению стандартов переменных:

$$r_{lm} = \frac{\sum_{p=1}^s D_{V_p}}{\sigma_l \sigma_p}.$$

Перед D_{V_p} ставят знак плюс, если p — общее слагаемое входит в L и M с одинаковыми знаками, и минус — если с разными.

При многократных измерениях одной величины элементарные погрешности практически независимы и формула (21) принимает вид

$$D_\varepsilon = \sum_{j=q+1}^k D_j.$$

Если среди элементарных погрешностей нет погрешностей с резко выраженной асимметрией или заведомо преобладающими значениями, то случайная часть δ_ε погрешности измерений подчиняется закону нормального распределения. Для определения допустимого отклонения Δ_δ случайной погрешности измерения при доверительной вероятности P используют формулу

$$\Delta_\delta = t \sigma_\varepsilon, \quad (22)$$

где $t = \arg \Phi(p)$ — нормированный стандарт погрешности.

Оценка систематической части

$$\lambda_\varepsilon = \sum_{j=1}^q \lambda_j$$

погрешности измерений сводится к определению систематических элементарных погрешностей.

Значения λ_j нетрудно определить, если известны отличные от нуля значения математических ожиданий параметров. Но в этих случаях обычно вводят соответствующие поправки и необходимость в учете этих погрешностей практически отпадает.

Часто приходится оценивать систематические элементарные погрешности, обусловленные влиянием случайного разброса параметра. Поясним это на примере погрешности за компарирование мерного прибора. Погрешность определения длины мерного прибора при компарировании является случайной и характеризуется стандартом σ_k . В результате измерений эта величина входит как систематическая погрешность, зависящая от числа отложений мерного прибора, т. е.

$$\sigma_{\lambda_k} = n \sigma_k.$$

Если в результаты измерений входят q таких погрешностей, то допустимое отклонение Δ_{λ_e} систематической части погрешности измерений определяют по формуле

$$\Delta_{\lambda_e} = t \sqrt{\sum_{j=1}^q \sigma_{\lambda_j}^2}. \quad (23)$$

Для погрешностей четных функций по известным значениям стандартов σ_a параметра вычисляют по формулам табл. 2 случайные и постоянные θ_j части элементарной погрешности. Постоянная θ_e часть погрешности измерений определится из выражения

$$\theta_e = \sum_{j=q+1}^{q+r} \theta_j.$$

При многократных измерениях одной величины систематическая и постоянная часть погрешности измерений входит во все результаты и смещает среднее значение на величину $\lambda_c = \lambda_e + \theta_e$.

При последовательном измерении однородных величин с последующим суммированием результатов, например при вычислении продольной невязки полигонометрического хода, смещение результата определится по формуле

$$\lambda_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n \lambda_c$$

или при равных значениях систематических и постоянных частей $\lambda_{\Sigma} = n\lambda_c$.

Таким образом, по известным оценкам параметров элементарных погрешностей можно оценить значения систематических и случайных частей погрешности окончательных результатов измерений. В расчетах точности такую задачу называют прямой.

Если даны допустимые отклонения окончательных результатов измерений и требуется найти соответствующие значения параметров элементарных погрешностей, то такая задача называется обратной задачей расчета. Рассмотрим ход решения этой задачи.

Для определения предельных значений Δ_{η_j} элементарных погрешностей по известному предельному значению Δ_e погрешности измерений используют принцип равных влияний

$$\Delta_{\eta_1} = \Delta_{\eta_2} = \dots = \Delta_{\eta_k} = \frac{\Delta_e}{k}$$

и вычисляют предельно допустимые значения параметров элементарных погрешностей при измерениях

$$\Delta_{a_j} = \arg \Phi (\Delta_{\eta_k}).$$

При таком методе решения утрачиваются различия между систематическими и случайными погрешностями, завышаются требования к точности и существенно нарушаются оптимальные соотношения между элементарными погрешностями. Поэтому в разбивочных работах этот метод расчета применяется для ориентировочных прикидок.

При строгом решении задачи в качестве дополнительного используют условие минимума затрат с применением методов линейного программирования. Однако из-за отсутствия объективных экономических показателей такой путь не нашел широкого применения.

В качестве дополнительного условия целесообразно использовать пропорциональное изменение элементарных погрешностей. Для этого берут известные из практики, приблизительно равноценные по трудозатратам и реальные

для данных условий измерений, предварительные значения η' элементарных погрешностей и вычисляют предварительное значение ϵ' погрешности. Затем вычисляют элементарные погрешности $\eta = k\eta'$. Такой метод решения задачи достаточно прост и дает хорошие результаты; $k = \epsilon/\epsilon'$.

При раздельном учете случайных и систематических погрешностей выявляют элементарные погрешности, устанавливают характер их влияния и составляют уравнения вида (20). Далее от значений λ_c , $\Delta\delta$ и P по формулам (22) и (23) переходят к величинам λ_c , D_ϵ . Числовые характеристики элементарных погрешностей находят из решения системы уравнений

$$\left. \begin{aligned} \lambda_c &= \sum_{j=1}^q \lambda_j + \sum_{i=q+1}^{q+r} \theta_j; \\ D_\epsilon &= \sum_{j=q+1}^{k-q-r} D_j + \sum_{j=q+1}^{q+r} D_j. \end{aligned} \right\} \quad (24)$$

Вторые члены правых частей равенств содержат зависимые постоянные и дисперсии четных функций параметров. Используя зависимости

$$D_j = 2\theta_j^2$$

для закона нормального распределения и

$$D_j = \frac{4}{5} \theta_j^2$$

для равномерного распределения, получают систему уравнений с $k-2$ неизвестными. Для упрощения вычислений прибегают к раздельному решению системы (24). Так как наиболее жесткие требования предъявляют к систематическим погрешностям, то сначала решают первое уравнение.

По полученным оценкам элементарных погрешностей определяют значения параметров и назначают допуски на расхождение в промежуточных результатах измерений.

Глава II

ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ И ИНСТРУМЕНТЫ

§ 9. Теодолиты

Классификация современных теодолитов

Теодолиты предназначены для измерения и построения на местности горизонтальных и вертикальных углов. Теодолиты различают по материалам изготовления лимбов (с металлическими и со стеклянными лимбами), по устройствам отсчетных приспособлений (верньер, штриховой микроскоп, шкаловой микроскоп, оптический микрометр), по точности отсчитывания по кругам (высокоточные, точные, технические).

К высокоточным теодолитам относятся теодолиты Т1 (ГОСТ 10529—79) (средняя квадратическая погрешность измерения горизонтального угла 0,5—1,0"). К точным теодолитам относятся теодолиты Т2, Т5 (средняя квадратическая погрешность измерения горизонтального угла 2"—10"). К техническим теодолитам относятся теодолиты Т15, Т30 (средняя квадратическая погрешность измерения горизонтального угла 15—30"). Последняя группа теодолитов находит широкое применение в современном строительстве.

Технические показатели современных теодолитов приведены в табл. 3.

В настоящее время достаточно широкое распространение в практике инженерно-геодезических работ имеют теодолиты старых конструкций с метал-

Таблица 3

Показатель	T2	T2A	2T2	T5	T5K	T5A	2T5	2T5K	T15	T15K	T30
Увеличение зрительной трубы, крат	25	25	27,5	25	27,5	25	27,5	27,5	25	25	20
Поле зрения трубы	1°30'	1°30'	1°30'	1°30'	1°30'	1°30'	1°30'	1°30'	1°30'	1°30'	1°30'
Фокусное расстояние объектива, мм	250	250	250	250	218,5	250	218,5	200	200	200	157
Пределы фокусирования, м	1,5	1,5	2	1,5	2	1,5	2	1,2	1,2	1,2	1
Коэффициент нитяного дальномера	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Цена деления лимба: горизонтального круга	20'	20'	20'	1°	1°	1°	1°	1°	1°	1°	1°
вертикального круга	20'	20'	20'	1°	1°	1°	1°	1°	1°	1°	1°
Цена наименьшего деления шкалы микроскопа	—	—	—	1'	1'	1'	1'	1'	1'	1'	—
Цена деления шкалы микрометра	1"	1"	1"	—	—	—	—	—	—	—	—
Точность отсчета	0,1"	0,1"	0,1"	0,1'	0,1'	0,1'	0,1'	0,1'	0,1'	0,1'	1'
Цена деления уровня при алидаде горизонтального круга	15"	15"	15"	45"	30"	45"	30"	30"	45"	45"	60"
Средняя квадратическая погрешность измерения угла одним приемом	3"	3"	2"	6"	5"	6"	5"	5"	15"	15"	30"
Масса теодолита, кг	5,2	5,2	4,8	3,5	3,5	3,6	3,7	3,5	3,0	3,2	2,2

лическими кругами — повторительный теодолит ТТ-5, сконструированный на базе 30-секундного теодолита ТТ-50, и тахеометр проектировочный ТТП.

Теодолит ТТ-5 имеет уровень при трубе с ценой деления 20", что позволяет применять его при нивелировании невысокой точности.

Теодолит ТТП имеет общие характеристики с теодолитом ТТ-5. Этот прибор применяется на различных инженерно-геодезических работах: проектирование точки при углах наклона до 75°, контроль установки строительных конструкций в вертикальном положении, производство нивелирования горизонтальным лучом. В связи с этим в комплект теодолита входят съемочный уровень на трубе (цена деления 20"), накладной уровень с ценой деления 20", окулярная насадка.

Все современные теодолиты снабжены зрительными трубами с внутренней фокусировкой. Зрительные трубы теодолитов устроены по принципу астрономических труб, дающих обратное и мнимое изображение.

Труба состоит из объектива и окуляра. Так как наблюдаемый предмет удален на большое расстояние, то с помощью окуляра наблюдатель видит изображение увеличенным и мнимым.

Плоскость, в которой получается изображение предмета, называется фокальной; здесь помещается диафрагма с сеткой нитей. Диафрагма может перемещаться по усмотрению наблюдателя с помощью исправительных винтов сетки нитей. Сетка нитей предназначена для точного и однообразного наведения на визирную цель.

В зрительной трубе различают следующие оси: оптическую, геометрическую и визирную.

Оптической осью называется прямая, соединяющая оптический центр объектива с оптическим центром окуляра трубы.

Геометрической осью называется прямая, проходящая через центры поперечных сечений объективной и окулярной части трубы.

Для инженерной практики особое значение имеет визирная ось, проходящая через оптический центр объектива и центр сетки нитей.

Следует иметь в виду, что у современных оптических теодолитов, в частности у 2Т2, 2Т5, 2Т5К, зрительная труба конструктивно отличается от зрительных труб других теодолитов. Так, сетка нитей у этих теодолитов установлена неподвижно и перекрестно центрирована относительно оптической оси зрительной трубы. Это позволяет обеспечить стабильное положение визирной оси при перефокусировании зрительной трубы на разноудаленные точки.

Зрительная труба теодолита должна давать ясные и правильные изображения предметов. Явление сферической и хроматической аберрации должно быть сведено к минимуму.

Качество зрительной трубы характеризуется увеличением трубы, углом поля зрения и др.

Увеличение трубы есть отношение угла зрения, под которым видно изображение предмета в трубе, к углу зрения, под которым предмет виден невооруженным глазом. Увеличение трубы определяют по формуле

$$V = f_{об}/f_{ок}.$$

Поле зрения трубы — пространство, видимое глазом при неподвижном положении трубы. Угол поля зрения определяют по формуле

$$\alpha = \rho^0 \frac{n}{S},$$

где n — число делений рейки, видимое в трубу, выражено в м; S — расстояние от объектива трубы до рейки.

Разрешающая способность трубы — наименьший угол, под которым можно видеть в трубу раздельно два ближайших штриха рейки. Это будет критический угол зрения трубы, вычисляемый по формуле $\beta_{крит} = 60''/V$.

$\beta_{крит}$ называется также точностью визирования зрительной трубой, где 60'' — критический угол зрения невооруженного глаза.

При наведении зрительной трубы на предмет необходимо сначала навести трубу по глазу, а затем по предмету. При установке трубы по глазу вращени-

ем окулярной трубки добиваются отчетливого изображения сетки нитей. Получение отчетливого изображения предмета добиваются путем вращения кремальеры. После этих действий необходимо устранить параллакс сетки нитей путем легких вращений кремальеры и окулярного кольца.

Для приведения основной оси теодолита в отвесное положение на горизонтальном круге помещаются два взаимно перпендикулярных цилиндрических уровня.

Цилиндрический уровень представляет собой стеклянный баллон, внутренняя поверхность которого отшлифована под большим радиусом. Баллон заполняется нагретым спиртом или эфиром и при остывании в нем образуется безвоздушное пространство, называемое пузырьком уровня. Пузырек оказывается легче окружающей среды и поэтому стремится занять самое высокое положение в ампуле.

На внешней поверхности ампулы нанесены деления через 2 мм. Наивысшая точка ампулы градуирована через «0»; относительно этой точки пузырек располагается симметрично, если ось уровня горизонтальна.

Касательная к кривой, получаемой от продольного сечения ампулы, в точке нуль-пункта уровня называется осью цилиндрического уровня.

Характеристикой уровня является цена его деления. Цена деления уровня есть угол, на который наклоняется ось уровня, если пузырек перемещается на одно деление. Цена деления обратно пропорциональна радиусу кривизны внутренней поверхности ампулы. В современных теодолитах цена деления уровня находится в пределах 60". Уровни при вертикальных кругах теодолитов обычно бывают более чувствительные, поэтому цена деления их находится в пределах 25—35".

В теодолитах с металлическими кругами отсчетным приспособлением является верньер. Точность верньера определяется по формуле

$$t = \frac{l}{n},$$

где l — цена деления лимба; n — число делений на алидаде между крайними подписанными штрихами.

Отсчет берут по индексу, которым служит нулевой штрих верньера.

Во всех оптических теодолитах используют стеклянные угломерные круги. В поле зрения отсчетного приспособления, как правило, выведены изображения штрихов горизонтального и вертикального кругов. С помощью отсчетных приспособлений берут отсчеты на измеряемые направления. В современных оптических теодолитах распространенным является штриховой микроскоп (отсчет по штриху-индексу; Т30, точность отсчета 30"—60"). На рис. 6 приведены поле зрения штрихового микроскопа и оптическая схема теодолита Т30.

Формулы для вычисления углов наклона имеют вид

$$\nu = \frac{Л - П - 180^\circ}{2}; \quad \nu = Л - МО; \quad \nu = МО - П - 180^\circ. \quad (25)$$

При измерении вертикальных углов необходимо следить за положением пузырька уровня при алидаде горизонтального круга и при необходимости подъемными винтами теодолита приводить его на середину.

В теодолите Т15, как и в теодолите Т30, применена одноканальная оптическая схема отсчетной системы с отсчитыванием по одной стороне угломерных кругов. В поле зрения микроскопа видны одновременно изображения штрихов обоих угломерных кругов, разделенных через 1°. Отсчетные шкалы разделены на 60 делений, так что каждое деление соответствует 1'. Доли делений оцениваются на глаз. Погрешность отсчета составляет 0,1'. Теодолит Т15К имеет те же технические характеристики, что и теодолит Т15, но является более высокопроизводительным прибором благодаря самоустанавливающемуся оптическому компенсатору, заменившему уровень при алидаде вертикального круга, зрительной трубе прямого изображения и секторной оцифровке вертикального круга.

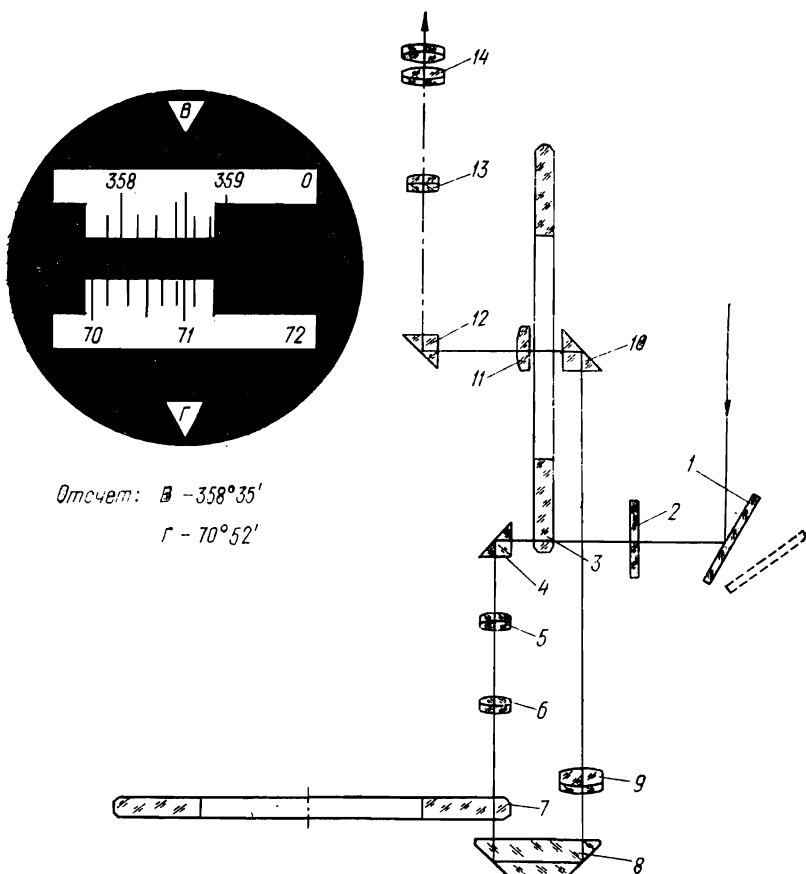


Рис. 6. Схема оптики отсчетной системы:

1 — зеркало подсветки; 2 — иллюминатор, 3 — вертикальный круг, 4 — призма, 5, 6 — линзы объектива, 7 — горизонтальный круг, 8 — призма, 9 — объектив горизонтального круга, 10 — призма, 11 — конденсатор, 12 — призма, 13 — объектив микроскопа, 14 — окуляр микроскопа.

Отсчеты: по вертикальному кругу $358^{\circ}35'$, по горизонтальному кругу $70^{\circ}52'$

На рис. 7 приведен общий вид теодолита Т15К и поля зрения микроскопа.

За основное положение принят вертикальный круг слева. Углы наклона вычисляются по формулам

$$v = \frac{Л - П}{2}; \quad v = Л - МО; \quad v = МО - П. \quad (26)$$

Теодолит Т5 служит для измерения горизонтальных и вертикальных углов, измерения расстояний по нитяному дальномеру и с помощью дальномерных пасадов. Теодолит применяют для построения аналитических сетей, при проложении полигонометрических ходов 1 и 2 разрядов, при разбивочных работах по переносу проектов сооружений в натуру, при городских съемках и т. д.

Отсчитывание по угломерным кругам производится с помощью шкалового микроскопа по одной стороне круга.

Теодолит снабжен оптическим центриром, для чего использована полая вертикальная ось.

Теодолит Т5А с автоколлимационной зрительной трубой служит для измерения углов между автоколлимационными изображениями, полученными

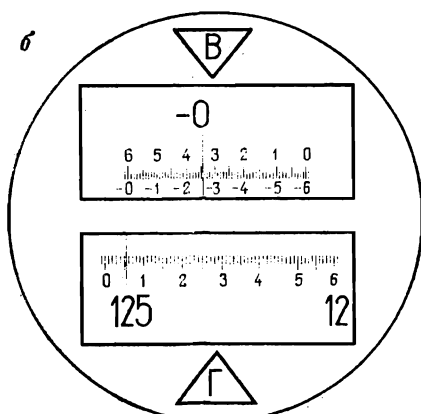
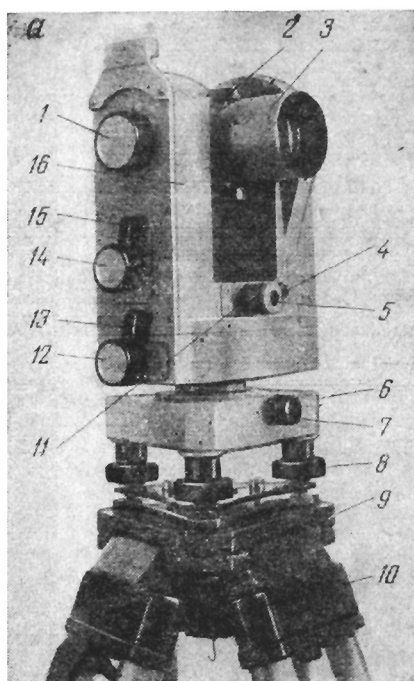


Рис. 7. Теодолит Т15К

а — общий вид: 1 — кремальера 2 — оптические визиры, 3 — зрительная труба, 4 — юстировочный винт места, нуля, 5 — окуляр оптического центрира, 6 — подставка теодолита, 7 — винт, закрепляющий теодолит в подставке, 8 — подъемные винты, 9 — головка штатива, 10 — становой винт, 11 — крышка оптического центрира, 12 — наводящий винт алидады, 13 — курковый зажим алидады, 14 — наводящий винт зрительной трубы, 15 — курковый зажим зрительной трубы, 16 — стойки колонки; б — поле зрения микроскопа теодолита Т15К. Отсчеты: по горизонтальному кругу $127^{\circ}05,2'$, по вертикальному кругу $0^{\circ}34,4'$

от отражающих поверхностей. Выполнение таких работ бывает необходимо при монтаже и наладке оборудования, при строительстве уникальных сооружений. Основные параметры те же, что и у теодолита Т5, но отсутствует нитяной дальномер. Зрительная труба теодолита Т5А имеет автоколлимационный окуляр, обладающий высокими светотехническими характеристиками.

Система отсчета по кругам такая же, как и у теодолита Т5. За основное положение в теодолите Т5А принят вертикальный круг справа. Углы наклона вычисляются по формулам (25). К отсчетам, меньшим 90° , прибавляют 90° . Перед снятием отсчетов по вертикальному кругу необходимо привести пузырек уровня при вертикальном круге в нуль-пункт.

Теодолит Т5К снабжен оптическим компенсатором взаимен уровня при алидаде вертикального круга, который позволяет использовать прибор в качестве нивелира при нивелировании IV класса.

Средняя квадратическая погрешность измерения горизонтального угла составляет $5''$, вертикального — $8''$; погрешность определения превышения составляет ± 2 см на 1 км хода. Вид поля зрения шкалового микроскопа не отличается от поля зрения теодолита Т15К.

Теодолит Т215К относится к группе унифицированных теодолитов, в ко-

торой принадлежат теодолиты серии 2Т (2Т5, 2Т5А, 2Т2, 2Т2А). Прототипом 2Т5К служит теодолит Т5К; он имеет самоустанавливающуюся систему оптического компенсатора при вертикальном круге.

Диапазон действия компенсатора $\pm 3,5'$; точность компенсации $2''$.

За основное положение принят вертикальный круг слева; для вычисления углов наклона применяются формулы (26).

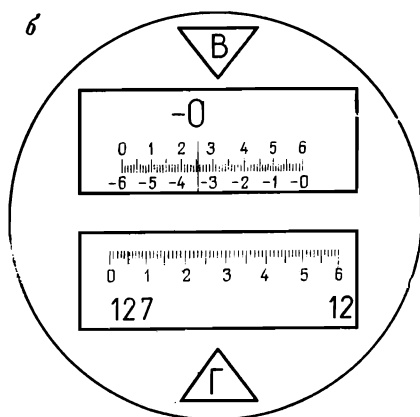
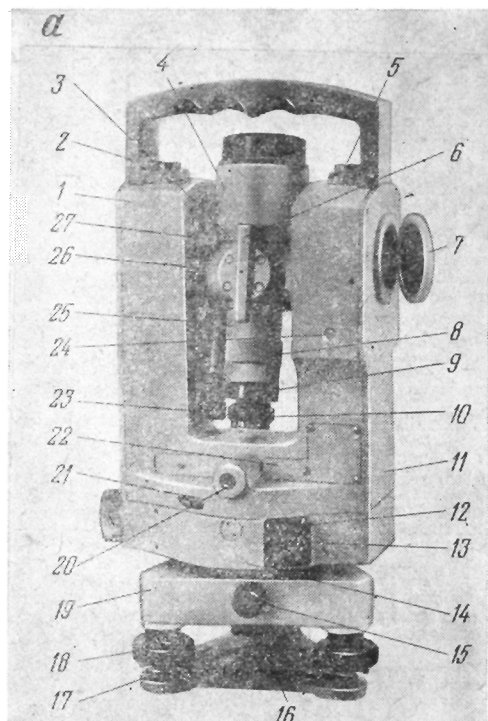


Рис. 8. Теодолит 2Т5К

а — общий вид: 1 — колонка, 2 — ручка, 3 — клиновое кольцо, 4 — корпус трубы, 5 — винт ручки 6 — коллиматорный визир, 7 — зеркало подсветки, 8 — кремальера, 9 — колпачок, 10 — окуляр зрительной трубы, 11 — боковая крышка, 12 — винт, 13 — рукоятка повторительного устройства, 14 — корпус низка, 15 — закрепительный винт подставки, 16 — юстировочные винты оптического центра, 17 — пружинящая пластина, 18 — подъемные винты, 19 — подставка, 20 — окуляр оптического центра, 21 — иллюминатор круга-искателя, 22 — крышка, 23 — окуляр микроскопа, 24 — винт установки места нуля, 25 —

микроскоп, 26 — горизонтальная ось зрительной трубы, 27 — ключ вращения клинового кольца; б — поле зрения микроскопа теодолита 2Т5К. Отсчеты: по горизонтальному кругу $125^{\circ}05,03'$, по вертикальному кругу $0^{\circ}25,5'$

На рис. 8 показан общий вид теодолита 2Т5К и поле зрения шкалового микроскопа.

Оптический теодолит Т2 предназначен для измерения горизонтальных углов и зенитных расстояний в сетях триангуляции и полигонометрии 3 и 4 классов, для монтажа и наладки уникального оборудования.

К теодолиту Т2 выпускается ряд вспомогательных приспособлений и устройств, расширяющих область его применения. Угломерные круги теодолита разделены с высокой точностью; наличие микроскопа с микрометром позволяет повысить точность отсчитывания до $0,1''$.

В поле зрения отсчетного микроскопа видны два окошка — большое и маленькое. Большое окошко разделено пополам; в верхней половине показано изображение штрихов основной стороны круга, а в нижней половине — противоположной стороны. В малом окошке показаны штрихи шкалы микрометра.

На горизонтальном круге штрихи двойные (бифилярные), на вертикальном круге — одинарные.

Конструкция микрометра у теодолита Т2 аналогична теодолиту ТБ-1.

Переключение изображений штрихов горизонтального и вертикального кругов достигается специальной рукояткой переключателя кругов, расположенной на подставке зрительной трубы. Оптическая схема снятия отсчетов двухканальная, т. е. двусторонняя.

Теодолит Т2А с автоколлимационной зрительной трубой, как и теодолит Т5А, служит для измерения углов методом автоколлимации. По сравнению с теодолитом Т5А, углы теодолитом Т2А измеряются с большей точностью, а двусторонняя система отсчитывания позволяет исключить влияние эксцентриситета. Конструктивные особенности и его эксплуатация аналогичны теодолиту Т5А.

Теодолит 2Т2 относится к группе унифицированных теодолитов. Конструкция отдельных узлов сходна с теодолитами 2Т5, 2Т5К, но теодолит 2Т2 имеет 2-секундную точность. Поэтому его оптическая схема во многом повторяет схему теодолита Т2.

В отсчетной системе 2Т2 применена дополнительная шкала отсчета десятков минут. В центральном малом окошке, разделенном горизонтальной линией, производится совмещение изображений противоположных штрихов круга. В верхнем большом окошке отсчитывают число градусов и десятков минут, в малом окошке — единицы минут и секунды. Цифра, расположенная под числом градусов, показывает число десятков минут; минуты и секунды отсчитываются по индексу. Общий вид теодолита 2Т2 и поле зрения отсчетного микроскопа показаны на рис. 9.

В теодолитах серии 2Т за основной принят круг слева. Вертикальные углы вычисляют как разности зенитных расстояний. Зенитные расстояния определяются по формулам

$$z = \frac{\Pi - \Pi + 360^\circ}{2}; \quad z = \Pi - Mz; \quad z = Mz - \Pi, \quad (27)$$

где z — зенитное расстояние; Mz — место зенита вертикального круга.

Проверки теодолита

Теодолит как оптический угломерный прибор должен удовлетворять оптико-механическим и геометрическим условиям. Несоблюдение указанных условий обуславливает инструментальные погрешности, которые подразделяют на погрешности, вызванные неточностью изготовления и сборки отдельных частей и узлов теодолита, и погрешности как результат неправильного взаимного расположения отдельных частей и осей, что вызывает несоблюдение геометрической схемы теодолита.

Соблюдение оптико-механических условий, как правило, гарантируется заводом — изготовителем прибора. Однако зачастую с погрешностями первой группы приходится считаться и применять определенные приемы измерения для исключения их влияния.

Так, для исключения влияния эксцентриситета алидады горизонтального круга (несовпадение центров лимба и алидады) для верньерных теодолитов применяется система снятия отсчетов по двум, диаметрально расположенным микроскопам. В этом случае среднее из минут и секунд свободно от влияния эксцентриситета алидады горизонтального круга. Так поступают при работе с теодолитами ТТ-50, ТТ5, ТН, ТТП.

Исключение эксцентриситета у оптических теодолитов с односторонней системой отсчета осуществляются путем производства отсчетов при двух положениях вертикального круга.

Вторая группа инструментальных погрешностей выявляется в результате специально проводимых проверок теодолита и устраняется путем его последующей юстировки.

Теодолит как угломерный прибор должен удовлетворять следующим геометрическим условиям:

основная ось теодолита должна совпадать с направлением силы тяжести (должна быть отвесна);
 плоскость лимба должна быть горизонтальна;
 коллимационная плоскость должна быть вертикальна.
 Исходя из этих условий, для теодолитов сформулирован порядок действий, в результате которых геометрическая схема теодолита приводится в соответствие с его теоретической схемой.

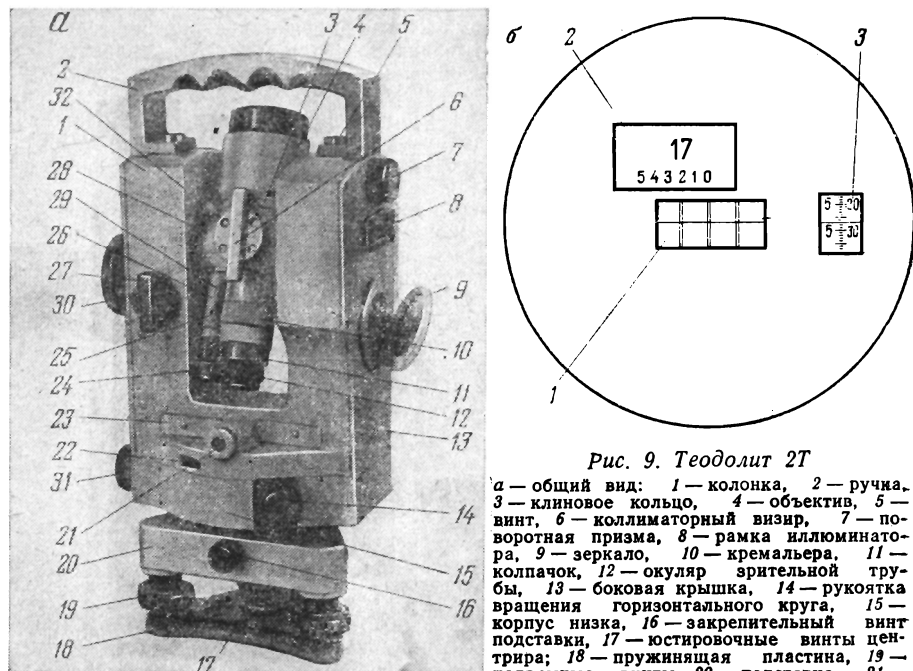


Рис. 9. Теодолит 2Т

а — общий вид: 1 — колонка, 2 — ручка, 3 — клиновое кольцо, 4 — объектив, 5 — винт, 6 — коллиматорный визир, 7 — поворотная призма, 8 — рамка иллюминатора, 9 — зеркало, 10 — кремальера, 11 — колпачок, 12 — окуляр зрительной трубы, 13 — боковая крышка, 14 — рукоятка вращения горизонтального круга, 15 — корпус низка, 16 — закрепительный винт подставки, 17 — юстировочные винты центра, 18 — пружинящая пластина, 19 — подъемные винты, 20 — подставка, 21 — окуляр центрира, 22 — иллюминатор круга-искателя, 23 — крышка, 24 — окуляр микроскопа, 25 — винт, 26 — микроскоп, 27 — переключатель каналов, 28 — горизонтальная ось трубы, 29 — флажок отражателя, 30 — рукоятка микрометра, 31 — наводящий винт алидады, 32 — ключ поворота клинового кольца; б — поле зрения микроскопа теодолита 2Т2: 1, 2, 3 — соответственно центральное, верхнее и боковое окна

Отсчет по горизонтальному кругу $17^{\circ}25'27,0''$

1. Ось цилиндрического уровня при горизонтальном круге должна быть перпендикулярна к основной оси теодолита.

Устанавливают пузырек уровня по направлению двух подъемных винтов на середину, затем алидаду поворачивают на 180° . Если пузырек сойдет с середины, то исправительными винтами уровня перемещают его в направлении к середине на половину величины отклонения. Затем поверку повторяют.

2. Визирная ось трубы должна быть перпендикулярна к оси ее вращения.

Визируют на удаленную точку и снимают отсчеты по горизонтальному кругу при двух положениях вертикального круга. Если условие не соблюдено, то коллимационная ошибка вычисляется по формуле

$$2c = Л - П \pm 180^{\circ}.$$

Для исключения коллимационной ошибки на лимбе устанавливается средний отсчет

$$N = \frac{Л + П \pm 180^\circ}{2}.$$

В этом случае центр сетки нитей сойдет с наблюдаемой точки. Тогда исправительными винтами диафрагмы центр сетки нитей перемещается в наблюдаемую точку.

При работе с теодолитами Т30, Т15, Т5, Т2 и их модификациями пользуются закрепительными винтами лимба, после чего центр сетки нитей снова наводится на наблюдаемую точку и берется вторая пара отсчетов $Л_2$, $П_2$. Коллимационная погрешность определяется по формуле

$$c = \frac{(Л_1 - П_1 \pm 180^\circ) + (Л_2 - П_2 \pm 180^\circ)}{4}.$$

Для теодолитов Т30, Т15, Т5 юстировка производится так же, как у теодолитов с металлическими кругами.

У теодолитов 2Т5, 2Т5К, 2Т2, Т2 для исправления пользуются клиновым кольцом (см. рис. 8, 9), вращая которое сетку нитей совмещают с изображением наблюдаемой точки.

3. *Ось вращения зрительной трубы должна быть перпендикулярна к основной оси теодолита* (рис. 10).

Теодолит устанавливают на расстоянии 25—30 м от вертикальной плоскости (стены здания), приводят лимб в горизонтальное положение и визируют на высокорасположенную точку. Затем труба опускается до уровня горизонта и на стене отмечается проекция точки, например, при Л. То же самое повторяют при П. Если проекции совпали, то условие выполнено. В противном случае производится юстировка (если отношение отрезка между проекциями к расстоянию между наблюдаемой точкой и проекцией превосходит 1/6000). Исправление производится в инструментальных мастерских.

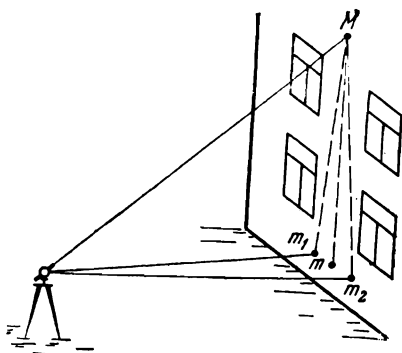


Рис. 10. Проверка положения оси вращения трубы

4. *Сетка нитей зрительной трубы должна быть установлена правильно.*

Проверка производится следующим образом. Приводят теодолит в отвесное положение, визируют на выбранную точку, после чего трубу плавно перемещают в коллимационной плоскости. Условие будет выполнено, если наблюдаемая точка сходит с вертикального штриха не более чем на три толщины у теодолитов Т2, Т5 и их модификаций и на $1/3$ величины биссектора у теодолитов Т15, Т30.

У теодолитов ТТ-50, ТТП, ТТ5, Т30, Т15 исправление производят исправительными винтами сетки нитей. У теодолитов Т2, Т2Т, Т5, 2Т5, Т5К, 2Т5К погрешность исправляется поворотом окуляра вместе с диафрагмой сетки нитей.

5. *Проверка компенсатора вертикального круга.*

При наклоне вертикальной оси теодолита на угол до $3'$ и наведении трубы на одну и ту же точку отсчет по вертикальному кругу должен быть постоянен.

Теодолит приводится в рабочее положение, труба визируется на ясно видимую точку и берется отсчет по вертикальному кругу. Затем алидада поворачивается на 90° и подъемными винтами теодолит наклоняется на 2—3 деления уровня при горизонтальном круге. Наводят трубу на ту же точку

и снова берут отсчет по вертикальному кругу. Поворачивается зрительная часть теодолита на 90° и снова тем же подъемным винтом теодолит наклоняется в противоположную сторону. Наводят трубу на наблюдаемую точку и берут третий отсчет по вертикальному кругу. Разность между отсчетами не должна превышать 0,2 деления шкалы, т. е. должна оставаться в пределах точности отсчитывания.

Рабочий диапазон работы компенсатора должен лежать в пределах $\pm 3'$.

Если условия не соблюдаются, то исправление производится в инструментальных мастерских.

6. *Ось оптического центра должна совпадать с основной осью теодолита.*

Основная ось теодолита, установленного над точкой местности, приводится в отвесное положение. При вращении алидады горизонтального круга изображение точки не должно смещаться с центра сетки нитей оптического центра на величину более 0,5 радиуса малой окружности.

Для устранения несоблюденного условия действуют исправительными винтами окулярной части центра в теодолитах Т15, Т15К. В теодолитах Т5, Т5А, 2Т5, Т5К, 2Т5К, Т2, 2Т2, Т2А неисправность устраняется путем перемещения линзы объектива центра юстировочными винтами.

Приборы, выпускаемые Народным предприятием «Карл Цейсс», Йена, с успехом применяются на строительных площадках и при производстве топографических съемок.

Малый теодолит Theo 120 в силу малых размеров и своей легкости находит широкое применение в строительстве, в маркшейдерской практике, при геодезических и геологических работах; имеет различные дополнительные приспособления.

Секундный теодолит Theo 010 применяется при триангуляционных работах 2, 3, 4 классов, при наземной и подземной полигонометрии, при разбивочных работах на уникальных объектах строительства. Точность отсчитывания по кругам $0,1''$. Средняя квадратическая погрешность измерения направления $\pm 0,8''$. К теодолиту придается накладной уровень с ценой деления $10''$ на 2 мм.

Редукционный тахеометр Редта 002 предназначен для полигонометрии, тахеометрии, для разбивки элементов сооружения по полярным координатам. Точность отсчета по горизонтальному кругу $0,1'$, по вертикальному $0,2'$. К теодолиту придается комплект автоматически центрированных реек длиной 2,09 м.

§ 10. Приборы для измерения длин линий

Современные приборы, предназначенные для измерения длин линий, можно условно разделить на две группы. К первой группе относятся приборы непосредственного измерения (металлические ленты, металлические проволоки, металлические и тесьмяные рулетки, жезлы и т. д.). Ко второй группе относятся дальномеры, основанные на физико-оптических принципах (оптические дальномеры, свето- и радиодальномеры).

В зависимости от точности измеренных данных в строительно-монтажном производстве применяют те или иные типы приборов.

Лента землемерная (ЛЗ-20) разделена на метры, полуметры и дециметры; на концах имеются входные отверстия для шпилек, с помощью которых лента укрепляется на поверхности. Точность измерения расстояний характеризуется величиной 1 : 2000.

Стальные и тесьмяные рулетки выпускаются согласно ГОСТ 7502—69 и 11900—66 соответственно. Рулетки выпускаются длиной 1, 2, 10, 20, 30, 50, 75, 100 м. В зависимости от класса точности рулетки точность измерения длины линии характеризуется величиной 1 : 1000 — 1 : 10 000.

Мерные проволоки изготавливают длиной 24 и 48 м. Стальная проволока позволяет измерять длину с относительной погрешностью 1:10 000. Для работы применяются динамометры.

Инварная проволока подвешивается на специальных штативах через блоки с постоянным натяжением. Точность измерения расстояний такими проволоками наивысшая — 1:1 000 000.

Перед измерением линий определяют действительную длину всех рабочих мерных приборов сравнением их с эталоном. Этот процесс называется компарированием.

Поправка за компарирование рассчитывается по формуле

$$\Delta D_K = \pm D \frac{\Delta l}{20},$$

где D — измеренная длина линии; Δl — разность между рабочей длиной ленты и эталоном, длина которого 20 м ($\Delta l = l_0 - l_a$).

Знак «плюс» или «минус» указывает направленность поправки; если рабочая длина меньше эталона, то поправке придается знак «минус», и наоборот.

Для повышения точности выполненных измерений вводится поправка за изменение температуры, которая учитывается по формуле

$$\Delta D_t = \alpha D (t_{\text{изм}} - t_{\text{комп}}),$$

где α — коэффициент линейного расширения стали, равный 0,000012.

При разбивочных работах эта поправка учитывается, если разность температур превышает 8 °С.

Таким образом, окончательно измеренная длина определяется выражением

$$D = S + \Delta D_K + \Delta D_t.$$

S — непосредственно полученное значение ($S = l_0 n + r$, r — остаток); поправки прибавляются алгебраически.

Точность измерения длин линий приборами непосредственного измерения

На точность оказывают влияние погрешности случайного и систематического характера.

Источниками погрешностей могут быть погрешности при компарировании мерного прибора; погрешность за неточное уложение прибора в створе измеренной линии; неодинаковое натяжение прибора; неточное определение поправки за провисание линии; провисание прибора; характер поверхности, на которой выполняются измерения.

Измерения расстояний дальномерами

Принцип действия дальномера основан на зависимости между высотой, основанием и противолежащим углом равнобедренного треугольника. На рис. 11 φ — параллактический угол; L — базис; S — определяемое расстояние,

$$S = \frac{L}{2} \operatorname{ctg} \frac{\varphi}{2} \quad \text{или} \quad \dot{S} = L \operatorname{ctg} \varphi.$$

Формулы приведены соответственно для дальномеров с постоянным углом и переменным базисом и с переменным углом и постоянным базисом.

Наибольшее распространение из дальномеров первого типа получил так называемый нитяный дальномер. Он представляет собой два горизонтальных

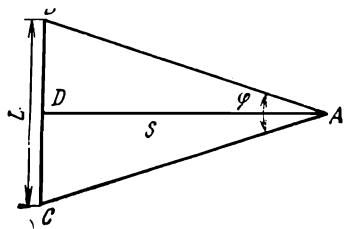


Рис. 11. Принцип измерения расстояний дальномером

штриха сетки нитей зрительной трубы; в качестве базиса используется деревянная рейка с сантиметровыми делениями.

Расстояние нитяным дальномером следует определять следующим образом. На одном конце измеряемой линии устанавливают рейку, на другом — теодолит или нивелир в зависимости от наклона линии. Прибор приводится в рабочее положение и снимаются два отсчета по верхней и нижней нити, определяется разность отсчетов $n = m_{\text{в}} - m_{\text{н}}$. Расстояние вычисляется по формуле

$$S = kn + c, \quad (28)$$

где k — коэффициент нитяного дальномера, как правило, равный 100 (отношение фокусного расстояния объектива к величине отрезка между дальнометрическими нитями); c — постоянная дальномера, величина которой незначительна, и в практике разбивочных работ ею можно пренебрегать.

Расстояние определяется так: $S = 100 \times (1387 - 1257) = 13,0$ м, где $a = 1387$, $b = 1257$ — отсчеты по верхней и нижней нитям.

Точность измерения расстояний нитяными дальномерами находится в пределах 1 : 200—1 : 400.

Дальномеры второго типа выполнены в виде насадок к зрительной трубе теодолита.

Дальномер авторедукционный ДНР-06 предназначен для измерения расстояний от 20 до 200 м; применяется как насадка к теодолитам Т2, Т5, Т15, ТТП, ТТ4 и равноценным им. Дальнометрическая рейка длиной 2,5 м имеет шкалы двух сторон; цена деления шкал 2 см. Этот дальномер отличается от ему подобных тем, что автоматически преобразует измеренные наклонные расстояния в горизонтальные положения. Это достигается за счет компенсатора, представляющего собой качающийся редуцирующий клин. При углах наклона до 14° погрешность редуцирования не превышает 1 : 2000 измеряемого расстояния. Порядок работы при измерении расстояний такой же, как при работе с ДД-3, ДН-10. Средняя квадратическая погрешность измерения расстояний колеблется в интервале 2,6—5,5 см при длине линии 100 м.

Следует, однако, заметить, что оптические дальномеры не нашли достаточно широкого применения в строительной практике.

В табл. 4 приведены характеристики отечественных современных оптических дальномеров.

Таблица 4

Тип оптического дальномера	Зрительная труба		Цена деления круга		Рейка		Пределы измерения		Средняя квадратическая погрешность измерения		Масса, кг
	Увеличение	Поле зрения	горизонтального	вертикального	Положение	Длина	По углу наклона	По расстоянию, м	угла	расстояния	
ОТД	31×	1°20'	—	10'	Горизонтальное, вертикальное	2	±22°	35—400	1'	1:3000—1:5000	4
ДВ-20	14×	2°48'	1°	10'	Горизонтальное (база)	0,6	±40°	2—400	6'	1:200—1:700	4,2

Дальномер ОТД относится к дальномерам двойного изображения с переменным параллактическим углом. В комплект дальномера входит дально-

мерная рейка, которая может применяться как в горизонтальном, так и в вертикальном варианте. На каждой стороне имеется по 6 визирных марок, образующих базы 0,4; 0,8; 1,2; 1,6; 2 м.

Свето- и радиодальномеры

Физические дальномеры основаны на принципе измерения времени прохождения световой или радиоволны на определенном отрезке пути.

Светодальномеры подразделяются на большие, средние и малые, такое деление определяется точностью измерения и длиной линии. В инженерной практике наибольшее распространение получили малые светодальномеры, называемые топографическими. Они позволяют измерять длины линий от нескольких метров до нескольких километров с точностью 1 : 10 000 — 100 000.

В табл. 5 приведены основные характеристики светодальномеров.

Таблица 5

Наименование дальномера, страна	Источник света	Дальность действия, м днем ночью	Средняя квадратическая погрешность	Масса прибора, кг
СТ-66, СССР	Лампа накаливания	100—2000 75—6000	$\pm (10-50)$ мм	45
Кварц, СССР	Газовый лазер	1—30000 1—50000	$\pm (10+2 \cdot 10^{-6} D)$ мм	50
ТД-2, СССР	Лампа накаливания	130—4000 130—10000	$\pm (10+2 \cdot 10^{-6} D)$ мм	55
СМ-2, СССР	Светодиод	2—2000	± 15 мм	35
ДНК-02, СССР . . .	Светодиод	4—2000	$\pm (20+2 \cdot 10^{-6} D)$ мм	1,5 (насадка)
Дистомат Д1-10, Франция—Швейцария	Светодиод	2—400 2—1000	15 мм	50
ДМ-1000, Швейцария	Светодиод	1—2000	$\pm 4-10$ мм	30
NaSM 4B, Швеция . .	—	До 1500	$(1+2 \cdot 10^{-6} D)$ см	45

Разработанные в СССР конструкции радиодальномеров РДГ, ВРД, РДГВ, «Луч» обеспечивают высокую точность измерения длин линий. Так, радиодальномер «Луч» с выносной антенной до 20 м обеспечивает точность $\pm (3+3 \cdot 10^{-6} D)$ см.

§ 11. Приборы для измерения превышений

В геодезии известны различные методы определения разности высот (превышений) точек земной поверхности. В строительной практике наибольшее распространение получили методы геометрического нивелирования.

Для производства геометрического нивелирования применяются приборы, называемые нивелирами. Основное требование, предъявляемое к ним — давать горизонтальный визирный луч.

Нивелиры, выпускаемые отечественной и зарубежной промышленностью, приведены в табл. 6.

Таблица 6

Тип нивелира	Страна-изготовитель	Класс нивелирования	Средняя квадратическая погрешность на 1 км, мм	Длина зрительной трубы, мм	Увеличение зрительной трубы, крат	Наименьшее расстояние визирования, м	Цена деления уровня	Компенсатор		Диаметр горизонтального круга, мм	Масса нивелира, кг
								Время установки, с	Погрешность установки		
Высокоточные и точные											
H-005	СССР	I	0,5	430	45	4,5	10"	—	—	—	7
Ni004	ГДР	I, II	0,4	450	44	4,0	10	—	—	—	7
H-3	СССР	III	3	220	30	2,0	15	—	—	—	2
HC-4	СССР	IV	6	220	30	—	—	8—10	2—3"	—	2,5
Ni025	ГДР	III	2—3	195	20	1,5	—	1	0,5	50	1,8
B3	BHP	III	2	272	30	3	—	2	0,4	82	2
NiD2	BHP	IV	3—5	—	16	1,5	—	1	0,5	—	1
007	ГДР	II	0,8	—	—	—	—	—	3	—	—

Технические

HT	СССР	—	10—15	140	23	1,0	30	—	—	120	1,2
HTC	СССР	—	15	160	20	1,0	—	5—7	3	—	1
HЛ-3	СССР	—	30	190	31	2	30	±3'	(наклон трубы)	—	2
Ni060	ГДР	—	5—10	—	17	1	—	3	1"	—	1
NiD4	BHP	—	5—10	—	16	1,5	—	1	1	—	1,2
NiE1	BHP	—	5—10	—	6	0,8	—	3	1	67	0,5
H-10	СССР	—	5	—	20	2	30	—	—	—	2

Согласно ГОСТ 10528—76 утверждены три типа нивелиров: высокоточные H-05 (взамен H1, H2) для нивелирования I и II класса, точные H-3 для нивелирования III, IV классов, технические H-10. Цифра указывает среднюю квадратическую погрешность на 1 км хода в мм (0,5, 3, 10 мм). Вместо HT предполагается выпускать нивелир H-10Л. Нивелиры предусмотрено выпускать как с цилиндрическими уровнями, так и с компенсаторами.

Для строительного производства большое распространение получили нивелиры точные и технические.

Нивелиры с цилиндрическими уровнями

В настоящее время в производстве применяются в основном нивелиры глухие, у которых зрительная труба жестко соединена с подставкой и цилиндрическим уровнем. К этой группе относятся нивелиры H-3 (HB-1), HT, HЛС.

Нивелир H-3 (рис. 12) сконструирован на базе нивелира HB-1, имеет элевационный винт. Цилиндрический уровень контактный. Для предварительного приведения вертикальной оси в отвесное положение на подставке имеется круглый уровень.

Назначение элевационного винта — давать небольшие перемещения зрительной трубе в вертикальной плоскости; этим добиваются точного совмещения концов пузырька цилиндрического уровня.

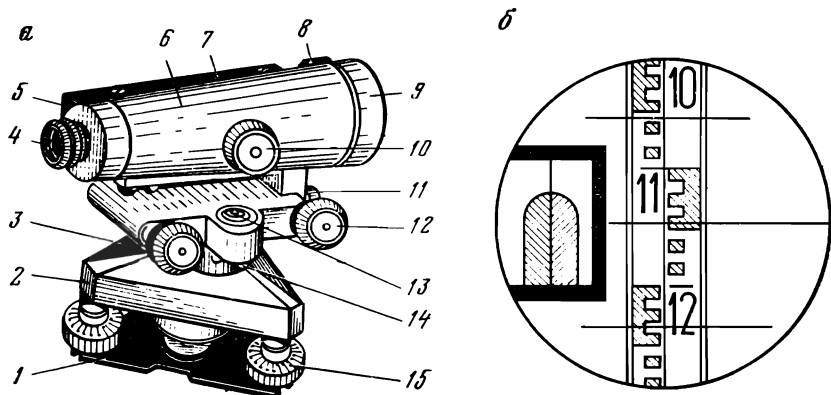


Рис. 12. Нивелир Н-3

а — общий вид: 1 — пружинящая пластина с втулкой, 2 — подставка, 3 — элевационный винт, 4 — окуляр, 5 — торцевая часть коробки цилиндрического уровня, где расположены его исправительные винты, 6 — корпус трубы, 7 — коробка цилиндрического уровня, 8 — мушка, 9 — объектив, 10 — ручка для фокусировки, 11 — закрепительный винт, 12 — наводящий винт, 13 — круглый уровень, 14 — исправительный винт круглого уровня, 15 — подъемный винт; *б* — поле зрения нивелира Н-3

Проверки нивелира

1. *Ось круглого уровня должна быть параллельна оси вращения нивелира.*

Пузырек круглого уровня приводят в нуль-пункт подъемными винтами нивелира. После поворота зрительной части на 180° замечают положение пузырька и, действуя исправительными винтами уровня, перемещают его в направлении нуль-пункта на половину отклонения. Проверка повторяется.

2. *Сетка нитей должна быть установлена правильно.*

Приводят ось вращения нивелира в отвесное положение и по вертикально стоящей рейке фиксируют отсчет. Наводящим винтом плавно перемещают трубу по азимуту, следя за изменением отсчета. Если отсчет меняется, то изменяют положение сетки нитей исправительными винтами.

3. *Ось цилиндрического уровня и визирная ось трубы должны лежать в отвесных параллельных плоскостях.*

Приводят нивелир в рабочее положение, располагая трубу по направлению одного подъемного винта. Пузырек цилиндрического уровня приводят в нуль-пункт и замечают отсчет на рейке, стоящей на расстоянии 60—70 м. Двумя подъемными винтами, расположенными перпендикулярно к направлению визирования, наклоняют нивелир влево, беря отсчет по рейке; затем приводят нивелир в исходное положение, отсчет должен быть равен начальному. Вращая подъемные винты в обратную сторону (на 3—4 оборота), наклоняют нивелир вправо и берут отсчет по рейке. Затем приводят нивелир в исходное положение.

Условие считается выполненным, если разность отсчетов («лево» и «право») не превышает 6 мм, а пузырек отклоняется не более чем на 1 деление. В противном случае, действуя горизонтальными исправительными винтами уровня, перемещают оправу в соответствующую сторону.

4. *Визирная ось трубы должна быть параллельна оси цилиндрического уровня.*

Это условие считается главным для нивелиров с цилиндрическими уровнями.

Проверка выполняется двойным нивелированием одной и той же линии длиной 50—70 м. Нивелируют дважды, меняя местами нивелир и рейку;

нивелир устанавливают окуляром над точкой. Высоту нивелира измеряют рулеткой, отсчеты берут по средней нити. Из рис. 13 видно, что величина непараллельности осей определяется выражением

$$x = \frac{a_1 + b_1}{2} - \frac{i_1 + i_2}{2}. \quad (29)$$

Допустимая величина непараллельности $x_{\text{доп}} \leq 4$ мм.

В противном случае, действуя элевационным винтом, устанавливают

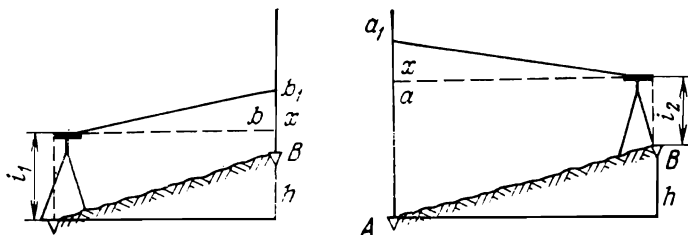


Рис. 13. Проверка главного условия у нивелира Н-3

правильный отсчет $b = b_1 - x$; затем исправительными винтами уровня пузырек приводят в нуль-пункт.

Нивелир Н-10Л (НТ) имеет элевационный винт, с помощью которого совмещаются концы пузырька уровня. Круглый уровень служит для предварительной установки нивелира. Особенностью нивелира является шаровая пята, которая выполняет функции подъемных винтов. Азимутальное вращение нивелира осуществляется от руки, так как не предусмотрены закрепительный и наводящий винты зрительной части. Нивелир имеет горизонтальный круг с ценой деления 1° ; точность отсчета $6'$.

Народное предприятие «Карл Цейсс», Йена (ГДР) выпускает высокоточный нивелир Ni 004, позволяющий определять превышение со средней квадратической погрешностью 0,4 мм на 1 км двойного хода.

Нивелиры с компенсатором

Нивелир НС-4 или подобный ему нивелир Н-3К предназначен для производства нивелирования IV класса. Оптическая схема нивелира НС-4 показана на рис. 14.

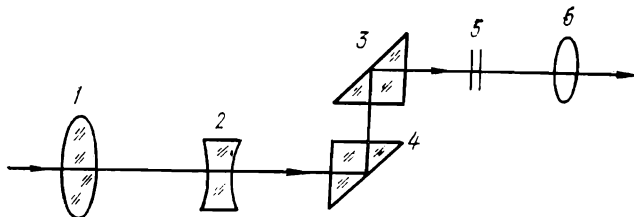


Рис. 14. Оптическая схема нивелира НС-4 (Н-3К):

1 — объектив, 2 — фокусирующая линза, 3, 4 — компенсаторы, 5 — сетка нитей, 6 — окуляр

Компенсатор представляет собой две призмы, одна из которых свободно подвешена на четырех металлических нитях. Предварительная установка нивелира производится по круговому уровню с точностью до $10'$ (достаточно пузырек ввести в большую окружность).

Проверки нивелира НС-4. 1. Ось круглого уровня должна быть параллельна основной оси нивелира.

Производится проверка так же, как и для нивелира Н-3.

2. Сетка нитей должна быть установлена правильно (вертикальная нить должна быть параллельна основной оси нивелира).

Проверка производится по отвесу или способом, описанным для нивелира Н-3.

3. Главное условие нивелира: линия визирования должна быть горизонтальной.

Линия длиной 50—70 м закрепляется кольшками, на которые устанавливаются рейки (рис. 15). Нивелир устанавливают точно посередине, пузырек круглого уровня приводят в нуль-пункт. Производят отсчетывания по рейкам (a_1 и b_1). Превышение одной точки над другой определяется как разность $h = a_1 - b_1$.

Затем нивелир переносят за переднюю рейку на расстояние 2—3 м и производят отсчетывания по дальнейшей и ближней рейкам

(отсчеты соответственно a_2 и b_2). Предвычисляют отсчет a'_2 , соответствующий горизонтальному положению луча визирования, по формуле

$$a'_2 = h + b_2.$$

Разность $\Delta = a_2 - a'_2$ по абсолютной величине не должна быть более 4 мм. В противном случае, действуя исправительными винтами сетки нитей, центр ее совмещают с отсчетом a'_2 .

Нивелир НЛС (рис. 16) предназначен для работы как горизонтальным,

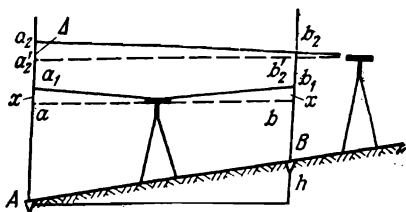


Рис. 15. Проверка главного условия у нивелира с компенсатором

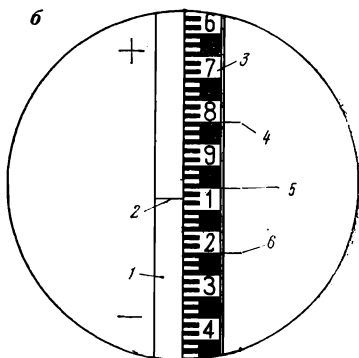
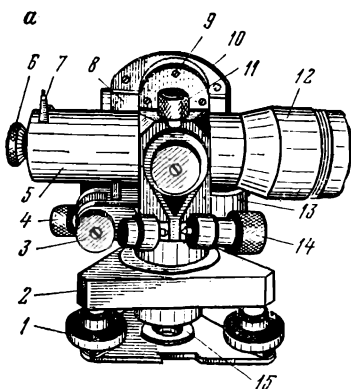


Рис. 16. Нивелир НЛС

α — общий вид: 1 — подъемный винт, 2 — трегер, 3 — наводящий винт трубы, 4 — закрепительный винт, 5 — корпус трубы, 6 — окуляр, 7 — целик, 8 — оправа уровня, 9 — матовое защитное стекло, 10 — кожух, 11 — закрепительный винт трубы, 12 — объективная часть трубы, 13 — круглый уровень, 14 — наводящий винт, 15 — пружинящая пластинка; б — поле зрения трубы: 1 — посеребренная пластинка, 2 — высотный штрих, 3 — изображение рейки, 4, 5, 6 — штрихи сетки нитей

так и наклонным лучом. Нивелиром можно определять превышения до 15 м (труба перемещается в диапазоне $\pm 3^\circ$). В нивелире сконструирован оптический высотомер, в систему которого входит самоустанавливающийся высотный штрих. В поле зрения одновременно видны рейка, высотный штрих и сетка нитей.

Производство поверок аналогично нивелиру НС-4.

Нивелир Ni 007 (рис. 17) выпускается фирмой «Карл Цейсс», Йена (ГДР). Компенсатор представляет собой прямоугольную призму, свободно подвешенную. При соблюдении угла компенсации $\pm 10'$ линия визирования устанавливается в горизонтальное положение.

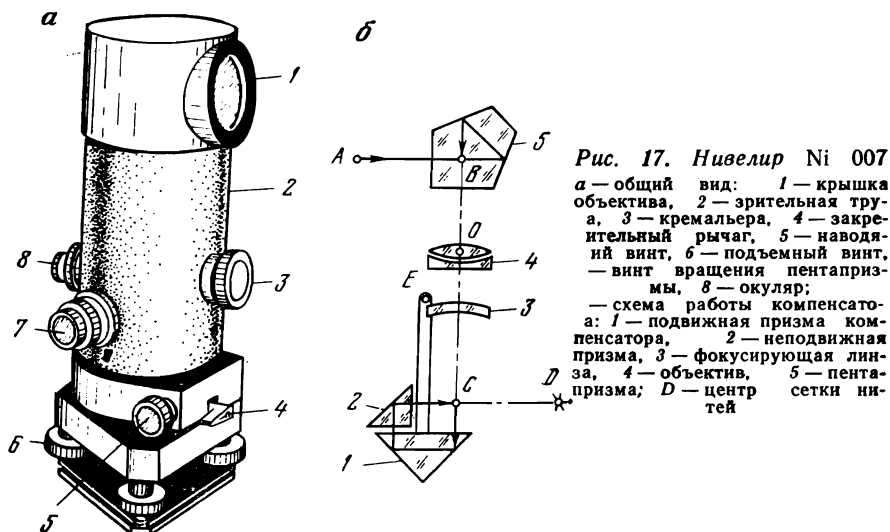


Рис. 17. Нивелир Ni 007

а — общий вид: 1 — крышка объектива, 2 — зрительная труба, 3 — кремальера, 4 — закрепительный рычаг, 5 — наводящий винт, 6 — подъемный винт, — винт вращения пентапризмы, 8 — окуляр;
— схема работы компенсатора: 1 — подвижная призма компенсатора, 2 — неподвижная призма, 3 — фокусирующая линза, 4 — объектив, 5 — пентапризма; D — центр сетки нитей

К типу самоустанавливающихся нивелиров относятся нивелиры Ni 025, Ni B3, HCM-2, Ni A3 и др. (см. табл. 6).

Приборы, основанные на гидростатическом принципе

Действие гидростатических нивелиров основано на свойстве сообщающихся сосудов. Превышение между точками поверхности определяется разностью уровней жидкостей в сосудах.

Гидростатический высотомер или шланговый нивелир НШТ-1 (рис. 18) конструкции ВНИИМ предназначен для измерения превышений в пределах 200 мм при удалении точек до 10 м с погрешностью 0,6—2,0 мм.

Гидростатический нивелир ЭНИМС выпускается под названием уровень гидростатический 115. Он предназначен для измерения превышений в диапазоне 25 мм со средней квадратической погрешностью $\pm 0,02$ мм. Нивелир обладает чувствительностью к изменениям температуры, и этот недостаток особенно сказывается при работе на открытых площадках.

Гидростатический нивелир МИИГАНК предназначен для выверки направляющих. В качестве рабочей жидкости используется ртуть, благодаря чему он становится менее чувствительным к изменению внешнего давления и температуры. Средняя квадратическая погрешность измерения превышения составляет $\pm 0,01$ мм.

§ 12. Приборы вертикального проецирования

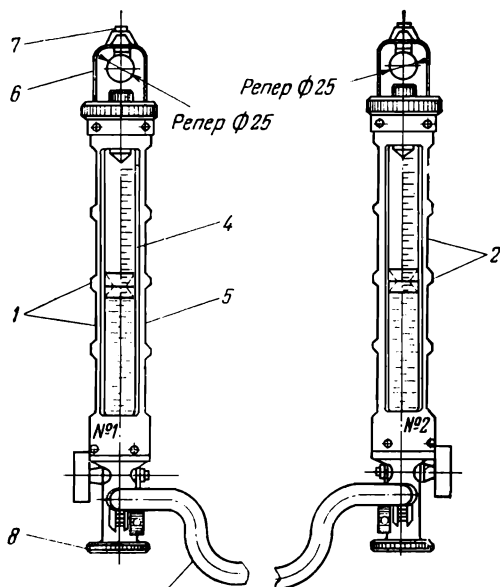
Для точного ведения монтажных работ при строительстве высотных сооружений применяют специальные приборы, позволяющие проецировать геодезическую основу с исходного горизонта на последующие монтируемые ярусы.

Оптические центриры, основанные на вертикальном проецировании визирной оси, бывают односторонние (визируют только в одном направлении) и двусторонние (визируют вниз и вверх). Отвес закрепляется на штативе, который сохраняет принудительную центровку других приборов — теодолита, визирной марки и т. д.

Оптические центрировочные приборы ОЦП и ПОВП предназначены для определения смещения точек от вертикали. В приборах используется зри-

Рис. 18. Гидростатический высотомер (НШТ-1):

1, 2 — измерительные головки, 3 — резиновый шланг, 4 — стеклянный цилиндр, 5 — металлический кожух, 6 — рамка, 7 — двусторонняя опорная пятка, 8 — нижняя опорная пятка



тельная труба от нивелира НСМ-2А. Переход от горизонтальной линии визирования к вертикальной осуществляется при помощи пентапризмы. В приборе ПОВП пентапризма имеет поворот на 180° для приведения визирного луча по вертикали вверх и вниз. По исследованиям МИИГАиК, средняя квадратическая погрешность центрирования не превышает 30 мкм.

Оптический проецирующий прибор ОПП-2 разработан кафедрой прикладной геодезии МИИГАиК и используется для передачи створа, закрепленного струной. Для направления визирного луча вверх (по линии отвеса) в трубе установлена специальная поворотная призма.

По экспериментальным данным, погрешность передачи створа составляет $\pm 0,3$ мм.

Прецизионный зенит-лот PZL служит для проецирования плановых координат на монтажные горизонты.

Вертикальность положения линии визирования обеспечивается призмённым компенсатором, укрепленным на маятнике. Прибор создан на базе нивелира Ni 007 («Карл Цейсс», Йена). Приборы выпускаются в двух вариантах: с горизонтальным кругом (цена деления $10'$) и без него.

Погрешность проецирования плановой точки составляет ± 2 мм на 100 м высоты.

В табл. 7 приведены основные показатели приборов вертикального проецирования и центрировочных приборов.

Таблица 7

Тип прибора	Зрительная труба			Цена деления уровня	Пределы работы по высоте, м	Относительная погрешность прощирания
	Увеличение	Наименьшее расстояние визирования, м	Система отсчитывания			
ОЦП	17—20×	—	—	10"	2—5	1:150 000
PZL	31,5×	2,2	—	8"	До 100	1:700 000
PZL-100	30—32×	2,0	—	8"	До 100	1:700 000
ОПП-2	—	—	Плоскопараллельная пластина	—	—	—
Прецизионный лотаппарат ПЛ	14×	0,5	Окулярный микрометр	10"	0,5—2,2	1:60 000
ОЦПП	45×	0,7	Плоскопараллельная пластина	10"	0,7—10	1:20 000
ZNL (Вильд) .	10×	0,5	—	20"	2—100	1:30 000

§ 13. Лучевые приборы

Прибор управления лучом ПУЛ-3 предназначен для дистанционного управления вертикальным перемещением рабочих органов землеройных машин. Он представляет собой установку из передающей и приемной станций. Основной частью передающей станции является прожектор, который состоит из источника света в виде лампы накаливания. С помощью прожектора формируется узконаправленный луч, разделенный на нижнюю и верхнюю симметричные части, модулированные соответственно частотами 900 и 1500 Гц. Приемная станция включает в себя фотоэлектрический приемник, усилитель и пульт управления. Фотоприемник устанавливается на рабочем органе землеройной машины. Принятый сигнал после усиления подается на пульт управления, где вырабатываются соответствующие команды для вертикального перемещения рабочего органа машины.

Дальность действия установки днем до 500 м, погрешность выдерживания направления по высоте $\pm (2—15)$ мм.

В настоящее время в геодезическом приборостроении твердо наметилось направление конструкции приборов с использованием лазерного луча.

Лазерные приборы условно можно подразделить на следующие группы:

— инженерно-геодезические лазерные приборы геометрического типа; к ним относятся лазерные датчики опорного направления (визеры, нивелиры, теодолиты, приборы вертикального проектирования), лазерные датчики опорной плоскости, универсальные лазерные геодезические приборы, лазерные системы управления строительными механизмами;

— инженерно-геодезические лазерные приборы волнового типа; к ним относятся лазерные створофиксаторы, лазерные системы для исследования деформаций сооружений, лазерные рефрактометры;

— инженерно-геодезические и лазерные дальномеры; к ним относятся интерферометры, светодальномеры на светодиодах, лазерные дальномерные насадки.

К лазерным визирам относятся приборы, предназначенные для задания опорных направлений с небольшими углами наклона (до 20°). Лазерный визир ЛВ-5 разработан в СССР, создан на базе лазера ОКГ-13.

Установка прибора в рабочее положение осуществляется традиционным способом, т. е. с помощью подъемных винтов и цилиндрического уровня. Основные характеристики: угол расходимости луча — не более 30", увеличение оптической системы — 25×, наименьшее расстояние визирования — 2 м, цена деления цилиндрического уровня — 20", дальность действия — до 200 м.

Из зарубежных приборов следует отметить следующие: лазерный визир «Stolz» фирмы «Керн» (Швейцария), предназначенный для задания опорных направлений при строительстве тоннелей, каналов, трубопроводов. Снабжен наклономерным устройством, задающим уклон с погрешностью $\pm 0,01$ %.

Лазерный прибор LG-661 фирмы «Сименс» (ФРГ) предназначен для аналогичных работ. Дальность действия 4000 м.

Лазерный визир LT-3 фирмы «спектра физик» (США) предназначен для укладки трубопроводов и для дистанционного управления тоннелепроходческими машинами. Диаметр светового пятна на расстоянии 300 м — 32 мм, диапазон углов наклона луча лазера $\pm 30^\circ$, дальность действия до 5 км.

Подобные конструкции разработанные как в СССР, так и в других странах и с успехом применяются в инженерном деле.

Лазерные теодолиты. Представляют собой комплекс обычного теодолита и лазерной насадки.

Лазерный теодолит ДКМ-2А фирмы «Керн» (Швейцария) предназначен для наблюдения на расстояние до 400 м.

Гелий-неоновый лазер крепится на штативе, луч при помощи системы линз концентрируется в узкий пучок и по оптическому волокну направляется на сетку нитей зрительной трубы теодолита, где с помощью разделительной призмы он направляется по визирной оси. Наблюдатель видит тень от сетки нитей на визируемой марке.

Строительный лазер — модель 840 фирмы «Спектра физик» (США) излучает видимый пучок красного цвета. Наличие горизонтального круга, градуированного в пределах 0—360°, позволяет определить величину угла, на который поворачивается прибор в процессе разбивочных работ.

Лазерная насадка GLO фирмы «Вильд» (Швейцария). Насадка устанавливается вместо окуляра зрительной трубы. Луч лазера через волоконный световод направляется на центр сетки нитей трубы теодолита и выходит из объектива в виде тонкой красной линии, которую наблюдатель направляет на визируемую цель. Дальность действия теодолита ночью — 400 м.

Следует отметить также следующие лазерные системы: строительный лазерный прибор SCNO фирмы «Хол и Броз лимитед» (Франция), лазерные тахеометры ТБЛ и ТЛ-1 ВЮГЕМ (СССР), лазерный теодолит ЛенЗНИИЭП Госгражданстроя (СССР), разработанный на базе теодолита Т-5К, и др.

§ 14. Лазерные приборы вертикального проецирования

Приборы этого класса (зенит-надир-приборы) предназначены для задания вертикального направления лазерному лучу.

Лазерный зенит-центр ЛЗЦ-1 (СССР) изготовлен на основе 2-секундного триангуляционного теодолита. Лазер ОКГ-14 установлен вертикально на подставке по высокоточному уровню.

Лазерный зенит-прибор LL-132 фирмы «Спектра физик» (США) ориентирует луч лазера посредством трех подъемных винтов и двух взаимно перпендикулярных уровней с ценой деления 20". Диаметр лазерного луча на высоте 100 м — 20 мм.

Лазерное устройство для контроля вертикальности градирен разработано Академией наук ГДР. Система устанавливается в центре градири, а по окружности на фундаменте градири крепятся 24 оптических модуля, которые отклоняют световой луч вверх на марки круговой опалубки. Точность фиксации вертикальности ± 5 мм на высоте 150 м.

*Лазерные датчики опорных плоскостей.
Универсальные лазерные инженерно-геодезические приборы*

Прибор Geoplan 300 фирмы «Ага-А» (Швеция) дает вертикально ориентированный луч лазера, который световым делителем делится пополам, и обе половины луча горизонтально направляются в противоположные стороны. Точность высотного определения точек при визуальной регистрации характеризуется эмпирической зависимостью.

Высотное положение точек в пределах площадки 400×400 м с одной установкой прибора определяется с погрешностью не более 2 мм.

Для целей строительства (монтаж перекрытий, укладка полов, монтаж оборудования и т. д.) разработан лазерный прибор Rotolite фирмы «Спектра физик» (США). В этом приборе луч лазера выходит в двух направлениях. Один луч, направленный по вертикали, служит для центрировки прибора. Второй луч направлен по горизонтали. Вращая луч при помощи оптико-механического устройства, получают опорную плоскость с погрешностью относительного горизонта ± 1 мм при дальности действия 70 м.

Лазерная система Laser Level той же фирмы особенно тем, что кроме задания горизонтальной плоскости имеется возможность задания наклонных плоскостей в диапазоне $\pm 8^\circ$. Дальность действия системы 300 м.

Универсальный лазерный прибор ULIG — KP2 сконструирован на основе прибора KP1, передающая труба которого заменена самоустанавливающимся компенсатором нивелира Ni 025. Лазерный луч, проходя через компенсатор автоматически устанавливается в горизонтальное положение с точностью 0,5". Дальность действия прибора 500 м; на этом расстоянии диаметр пятна 50 мм.

Лазерный прибор ULIG-KP4 имеет несколько более широкие возможности по сравнению с предыдущими. С помощью этого прибора можно откладывать направления в горизонтальной и вертикальной плоскостях; измерять горизонтальные и вертикальные углы; задавать наклонные плоскости; выполнять техническое нивелирование.

Лазерный нивелир Tracking Level фирмы «Конструкция Лазер дивизион» (США) выпускается в комплекте с рейкой с чувствительным элементом. Головка прибора вращается в горизонтальной плоскости до тех пор, пока инфракрасный луч от чувствительного элемента не совпадает с визирной осью лазерного нивелира. Автоматическое устройство перестает действовать, и по рейке берется отсчет.

§ 15. Геодезические фотоприборы

Фототеодолиты применяются при наземной фотосъемке участка местности, инженерных сооружений, при изучении деформаций строительных объектов.

Фототеодолит — сочетание теодолита с фотокамерой в совместном или раздельном варианте.

С помощью фототеодолита можно произвести фототопографическую съемку участка местности, определять прямоугольные координаты отдельных точек, измерять горизонтальные и вертикальные углы; производить наблюдения за деформациями сооружений. В технических приложениях находят применение фототеодолиты Photoheo-19/1318, «Геодезия», ПМК-10/1318 и ряд других.

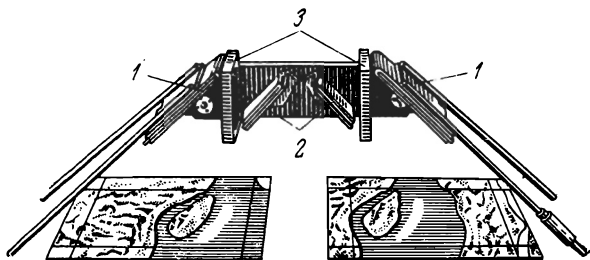
Фотокомплект Photoheo-19/1318 состоит из корпуса, объектива, ориентирующего устройства. Камера вставляется в стандартный трегер с тремя подъемными винтами. На корпусе камеры укреплены два цилиндрических уровня и ориентирующее устройство. Ориентирующее устройство позволяет установить оптическую ось фотокамеры в заданное положение относительно базиса фотографирования. Оно состоит из зрительной трубы, лимба, отсчетного приспособления. При фотографировании используются фотопластины 13×18 см.

Для обработки результатов фототеодолитных измерений применяются различные стереофотограмметрические приборы. Простейшим прибором, дающим стереоскопическую модель местности, является стереоскоп (рис. 19).

В геодезическом производстве применяются отечественные стереокомпараторы СК-3, СК-4, стереоавтограф 1318 («Карл Цейсс», Йена), стереометры

Рис. 19. Зеркальный стереоскоп:

1 — большие и 2 — маленькие зеркала, 3 — линзы



СТД-2, универсальные стереофотограмметрические приборы СПР, СД, стереометр («Карл Цейсс», Йена) и др. Исчерпывающие сведения об этих приборах можно найти в специальной литературе.

Глава III

ЭЛЕМЕНТЫ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ РАЗБИВОЧНЫХ РАБОТ

§ 16. Построение проектного угла

Процесс производства разбивочных работ состоит из ряда геодезических операций, которые называют элементами геодезических разбивочных работ. Отдельные виды и этапы разбивочных работ являются сочетанием тех или иных элементов.

При построении проектного угла $\beta_{пр}$ задают положение вершины A и направление стороны AB . Задача заключается в определении направления стороны AC и ее закреплении (рис. 20, а).

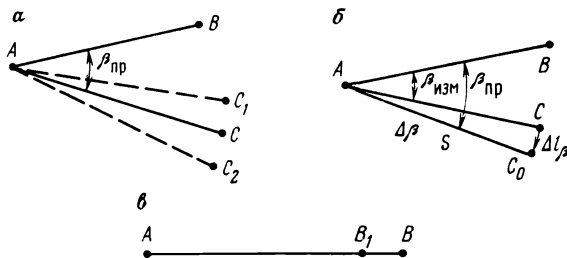


Рис. 20. Построение проектного угла

Теодолит устанавливают в точке A , визируют на точку B и берут отсчет b по горизонтальному кругу. Предвычисляют отсчет c : $c = b + \beta_{пр}$ (если угол $\beta_{пр}$ строят от направления AB против часовой стрелки, то $c = b - \beta_{пр}$). Открепив алидаду, отсчет c устанавливают на горизонтальном круге и по центру сетки нитей трубы фиксируют точку C_1 . Аналогично строят угол $\beta_{пр}$

при другом положении вертикального круга и фиксируют точку C_2 . Отрезок C_1C_2 делят пополам и фиксируют точку C . Угол BAC принимают за проектный.

На точность построения угла влияет ряд погрешностей, величины которых можно оценивать следующим образом.

Погрешность визирования

$$S'_B = \frac{20''}{v},$$

где v — увеличение зрительной трубы.

Погрешность отсчета S'_0 по горизонтальному кругу. Эта погрешность зависит от вида и качества отсчетного приспособления. Величину S'_0 принимают равной $\frac{t}{2}$, где t — точность отсчетного приспособления.

Погрешность центрирования $S'_ц$ теодолита над вершиной угла. Линейная величина $S'_ц$ зависит от вида центрировочного приспособления и от высоты теодолита над вершиной угла. В табл. 8 приведены значения погрешности $S'_ц$, полученные экспериментальным путем.

Таблица 8

Способы и условия центрирования	Значения $S'_ц$, мм
Нитяный отвес:	
при отсутствии ветра	2
при скорости ветра до 3 м/с	3
при скорости ветра до 5 м/с	5
Оптический центрир при высоте прибора:	
до 1 м	0,3
до 1,5 м	0,5
более 1,5 м	0,7

Погрешность $S'_ц$, выраженная в угловой мере, будет

$$S''_ц = \frac{\rho'' \sqrt{2}}{l} \sin \frac{\beta}{2} \sqrt{S'_ц}, \quad (30)$$

где ρ'' — радиан в секундах; l — длина приблизительно равных сторон угла; β — значение проектного угла.

Погрешность за редукцию визирных целей $S'_{p\beta}$ при построении угла. Эта погрешность вычисляется по формуле

$$S'_{p\beta} = \frac{\rho''}{l} \sqrt{S_p}, \quad (31)$$

где S_p — погрешность за редукцию по одному направлению.

Погрешность фиксации угла S'_ϕ . Значения погрешности S'_ϕ , полученные экспериментальным путем, приведены в табл. 9.

Погрешность в угловой мере можно вычислить по формуле

$$S''_\phi = \frac{\rho''}{l} S'_\phi. \quad (32)$$

Т а б л и ц а 9

Способ закрепления точки в натуре	Значения S_{Φ} , мм
Прочерчивание скальпелем на металлической пластине	0,3
Насечка или керн на металлической пластине . . .	0,5
Фиксация карандашом на бетоне:	
при гладкой поверхности	0,5
при шероховатой поверхности	0,8
Фиксация карандашом на бетоне с последующей откраской:	
при гладкой поверхности	1,0
при шероховатой поверхности	1,2
Закрепление шпилькой на поверхности земли . . .	0,7
Закрепление металлическим штырем, вбиваемым в грунт	1,5
Закрепление деревянным колышком, вбиваемым в грунт	2,0

На точность построения угла могут также влиять личные и инструментальные погрешности, наклон основной оси вращения теодолита, внешние условия.

Таким образом, общая погрешность построения угла будет

$$S_{\beta} = \sqrt{2S_{\alpha}^2 + 2S_{\alpha}^2 + S_{\alpha}^2 + S_{\beta}^2 + S_{\Phi}^2}. \quad (33)$$

При известном l погрешность положения точки C определится как $S_C = S_{\beta} (l/\rho)$.

Если S_C не должна превышать допустимой проектной величины $S_{C_{\text{доп}}}$, то погрешность построения угла не должна быть более $S_{\beta_{\text{доп}}} = S_{C_{\text{доп}}} (\rho/l)$ (при той же величине l). В этом случае при построении угла с погрешностью, не превышающей $S_{\beta_{\text{доп}}}$, поступают так:

предварительно построенный угол β многократно измеряют числом приемов $n = l^2/S_{\beta_{\text{доп}}}^2$;

из результатов измерений угла n приемами вычисляют среднее значение угла $\beta_{\text{изм}}$;

вычисляют угловую поправку $\Delta\beta = \beta_{\text{изм}} - \beta_{\text{пр}}$ и линейную $\Delta l_{\beta} : \Delta l_{\beta} = s(\Delta\beta/\rho)$ (рис. 20, б);

точку C перемещают в соответствующую сторону на величину Δl_{β} и фиксируют точку C_0 .

§ 17. Построение проектного отрезка

При построении линии задают положение ее начальной точки и направление. От начальной точки A в заданном направлении откладывают мерным прибором (рулеткой, лентой, проволокой) расстояние, равное проектной длине D , и временно фиксируют конечную точку B_1 . Определяют нивелированием превышение h между точками A и B_1 и измеряют температуру t° прибора (если измерить ее невозможно, измеряют температуру воздуха).

Вычисляют поправки в длину линии:

за компарирование

$$\Delta D_k = \frac{D}{l_0} \Delta l_k,$$

где D — длина проектного отрезка, l_0 — номинальная длина мерного прибора, Δl_k — погрешность за компарирование в длину мерного прибора;
за изменение температуры мерного прибора

$$\Delta D_t = \alpha D (t - t_0),$$

где α — коэффициент линейного расширения, t_0 — температура мерного прибора при компарировании;
за наклон линии

$$\Delta D_h = \frac{h^2}{2D}.$$

Затем вычисляют суммарную поправку

$$\Delta D = \Delta D_k + \Delta D_t + \Delta D_h,$$

которую с обратным знаком вводят в линию AB_1 . Если поправка с минусом, то линию AB_1 удлиняют на отрезок ΔD и фиксируют точку B , и наоборот (рис. 20, в).

На точность построения проектного отрезка оказывает влияние ряд погрешностей.

1. *Погрешность в длине линии за компарирование мерного прибора*

$$S_{D_k} = \frac{D}{l_0} S_k,$$

где S_k — погрешность компарирования мерного прибора.

В табл. 10 приведены значения S_k из двукратных компарирований мерных приборов для наиболее распространенных в практике случаев.

Т а б л и ц а 10

Мерный прибор	Эталон	Программа компарирования	S_k , мм
20-метровая стальная рулетка	Нормальный метр	Сравнение метровых интервалов — двумя приемами — четырьмя приемами	0,6 0,4
20-метровая стальная рулетка	Инварные проволоки	Измерение длины полевого компаратора двумя приемами	0,3
Инварные и стальные проволоки	Инварные жезлы № 541 и 615	Измерение длины компаратора МИИГАНК двумя приемами	0,015

Погрешность S_k носит случайный характер, но в результат построения вносит систематическую погрешность.

2. *Погрешность за уложение мерного прибора в створ линии*

$$S_c = \frac{2a^2}{l},$$

где a — величина отклонения конца мерного прибора от створа, l — длина мерного прибора.

Погрешность S_c вызывает систематическую односторонне действующую погрешность.

3. Погрешность за наклон мерного прибора носит случайный характер. Ее можно вычислить по формуле

$$S_{\text{нак}} = \frac{h}{l} S_h,$$

где h — превышение между концами мерного прибора, S_h — погрешность определения превышения.

4. Погрешность за температуру мерного прибора $S_{\Delta D_t}$. Влияние этой погрешности на величину поправки ΔD_t можно считать случайным

$$S_{\Delta D_t} = \frac{\alpha^2 l^2 S_t}{\sqrt{3}},$$

где S_t — погрешность определения температуры.

5. Погрешность за натяжение мерного прибора $S_{\text{нат}}$. При измерении мерного прибора на плоскости погрешность $S_{\text{нат}}$ можно определить по формуле

$$S_{\text{нат}} = \frac{l}{\omega E} S_F,$$

где ω — площадь поперечного сечения полотна мерного прибора, E — модуль упругости материала мерного прибора, S_F — погрешность определения натяжения.

6. Погрешность фиксации S_ϕ конечной точки проектного отрезка. Величины погрешности S_ϕ в зависимости от способа фиксации приведены в табл. 9.

Построение линий с повышенной точностью выполняют инварными мерными приборами.

§ 18. Перенесение в натуру проектной отметки

Проектные отметки переносят в натуру, как правило, геометрическим нивелированием. Нивелир устанавливают примерно посредине между ближайшим репером и местом перенесения отметки (рис. 21, а), берут отсчет a

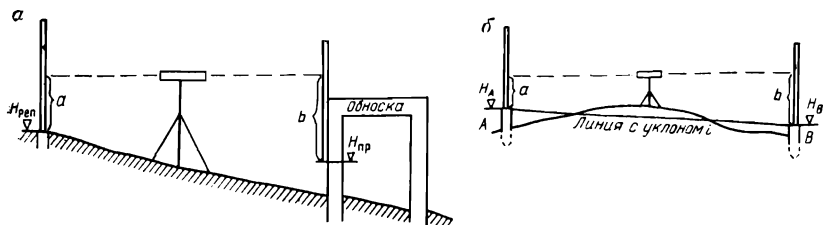


Рис. 21. Перенесение в натуру проектной отметки

по рейке, установленной на репер. Вычисляют горизонт инструмента по формуле $H_i = H_{\text{реп}} + a$ и, вычтя из H_i проектную отметку $H_{\text{пр}}$, находят проектный отсчет b . Далее рейку устанавливают на точку перенесения отметки и перемещают по вертикали до тех пор, пока горизонтальная нить сетки трубы не совпадает с отсчетом b . В этот момент реечник фиксирует отметку $H_{\text{пр}}$ риской по пятке рейки. Для контроля отметку вынесенной точки определяют повторным нивелированием. На точность перенесения в натуру проектных отметок влияет ряд источников погрешностей.

1. Погрешность $S_{\text{сов}}$ за приведение пузырька уровня в нуль-пункт. Если отметки переносят уровненным нивелиром, то величина этой погрешности может быть вычислена по формуле

$$S_{\text{сов}} = \frac{k\tau}{\rho} s,$$

где τ — цена деления уровня, s — расстояние от нивелира до рейки, k — погрешность приведения пузырька в нуль-пункт, выраженная в долях деления уровня.

Для нивелиров технической и средней точности $k=0,045$, высокой точности $k=0,025$.

2. Погрешность за непараллельность визирной оси и оси уровня

$$S_i = \frac{xS_{\Delta s}}{s\sqrt{3}},$$

где x — допустимая величина непараллельности осей, выраженная в мм., $S_{\Delta s}$ — погрешность определения неравенства плеч. Экспериментально установлено, что при s , равных 25, 50, 75 м, $S_{\Delta s}$ соответственно равны 4, 6, 8 м.

3. Погрешность S_o отсчета по рейке. Величину этой погрешности можно оценить по формуле

$$S_o = \left(0,425 \frac{s}{v} + 0,023t \right),$$

где v — увеличение зрительной трубы нивелира, t — цена деления рейки.

4. Погрешность в превышение за наклон реек

$$S_{vh} = \frac{h}{\sqrt{2}} \frac{S_v^2}{\rho^2},$$

где h — превышение между точками, S_v — погрешность установки реек в отвесное положение. Для реек с круглым уровнем $S_v = \tau/2$ (τ — цена деления круглого уровня). При установке реек на глаз S_v можно принять равным $1,2^\circ$.

5. Погрешность S_ϕ фиксации проектных отметок. Величина S_ϕ зависит от способа фиксации (см. табл. 9). Погрешность S_ϕ в случае фиксации кольями, забиваемыми в грунт, равна 2—3 мм.

На точность перенесения отметок оказывают влияние погрешности делений реек, а также внешние условия.

Вынесение точек кроме нивелиров может выполняться и теодолитами Т15К, Т5К, 2Т5К, а также теодолитами с уровнем при трубе.

§ 19. Построение в натуре линии проектного уклона

Построение заключается в фиксировании в натуре минимум двух точек, определяющих положение линии с проектным уклоном i . Могут быть несколько случаев решения этой задачи (в каждом из них должно быть известно расстояние d между точками либо его надо измерить):

1) точка A с отметкой H_A закреплена (рис. 21, б). Вычисляют отметку точки B по формуле $H_B = H_A + (\pm id)$ и выносят ее в натуру;

2) точка A с известной отметкой H_A не закреплена. Как и в предыдущем случае, вычисляют отметку H_B точки B и точки A и B выносят в натуру;

3) точка A закреплена (ее отметка H_A неизвестна). Нивелируя, берут отсчет a по рейке, установленной на точке A . Предвычисляют проектный отсчет b по формуле $b = a + (\pm id)$ и по нему точку B выносят в натуру.

§ 20. Построение створа

Под створом точек A и B понимают вертикальную плоскость, проходящую через эти точки. Построить створ точек A и B — значит зафиксировать в натуре вежами, рисками, метками ряд точек, лежащих в одной вертикальной плоскости с A и B . В практике геодезических разбивочных работ построение створа выполняют теодолитом. В условиях строительного монтажа производства возможны несколько способов построения створа (рис. 22).

1. Между точками A и B имеется прямая видимость, точка A доступна для установки теодолита. Над точкой A устанавливают теодолит, визируют на точку B и, поворачивая трубу в визирной плоскости, по центру сетки нитей фиксируют C и D , лежащие в створе точек A и B (рис. 22, а).

Основными погрешностями при построении створа в этом случае являются погрешности центрирования, визирования и фиксации.

2. Точки A и B недоступны или между точками A и B нет прямой видимости (рис. 22, б). Теодолит устанавливают в точке C_1 (вблизи створа на глаз), измеряют угол β полным приемом и расстояния s_1 и s_2 . По формуле

$$l = s_1 s_2 (180^\circ - \beta) / (s_1 + s_2) \rho$$

вычисляют величину смещения теодолита от створа. От точки C_1 , над которой установлен теодолит, откладывают отрезок l и точкой C фиксируют створ точек A и B .

3. Условия те же, что и в предыдущем случае. Теодолит устанавливают в точке C_1 на равных расстояниях s от точек A и B , к которым перпендикулярно к створу прикладывают стальные линейки с миллиметровыми делениями (рис. 22, в). Визируют на линейку в точке A и берут отсчет a . Трубу переводят через зенит, и по линейке в точке B берут отсчет b . Величину смещения l как среднюю линию трапеции вычисляют по формуле $l = (a + b) / 2$. От точки C_1 откладывают отрезок l и фиксируют точку C .

При этом способе коллимационная ошибка должна быть устранена либо отсчеты следует брать при двух положениях круга. На точность построения створа оказывают влияние погрешности за центрировку прибора и редукцию визирной цели, погрешности визирования, за наклон оси вращения теодолита, инструментальные погрешности, погрешность фиксации (см. § 16).

§ 21. Проецирование точек

Проецирование точек с одного монтажного горизонта на другой осуществляют тремя способами.

Проецирование нитяным отвесом. Главным фактором, влияющим на точность проецирования, является колебание нити, вызываемое воздушными потоками. Для уменьшения колебания применяют тяжелые отвесы, погружаемые в сосуд с вязкой жидкостью.

Проецирование наклонным лучом при помощи теодолита. Теодолит устанавливают на точку C (рис. 23). Визируют на точку M , трубу открепляют и направляют на верх сооружения, отмечают точку M_1 . Операцию повторяют

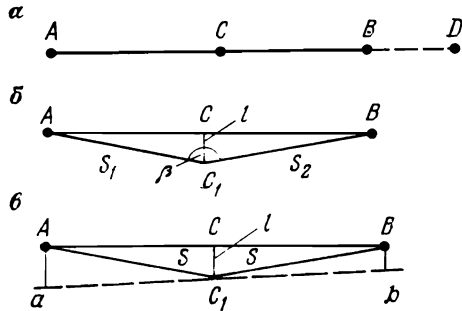


Рис. 22. Построение створа

при другом круге и отмечают точку M_2 . Середину отрезка M_1M_2 — точку $M_{\text{н}}$ фиксируют риской.

На точность проецирования влияют погрешности: визирования

$$S_{\text{в}} = \frac{20''}{v} \frac{s}{\rho''} ; \quad (34)$$

за наклон оси вращения теодолита

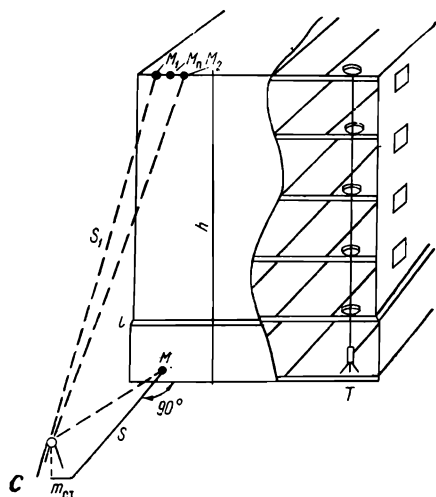


Рис. 23. Проецирование точек по вертикали

$$S_{i0} = \frac{\tau'' h}{180'' \cos v} ; \quad (35)$$

за установку теодолита в створ

$$S_{\text{ств}} = \frac{l}{s} S_{\text{ст}} ; \quad (36)$$

фиксации $S_{\text{ф}}$ (см. § 16).

В формулах (34)–(36) s — длина наклонной линии, h — высота проецирования, v — угол наклона визирной линии, l — расстояние между вертикальными плоскостями, в которых лежат точки M и M_1 , $S_{\text{ст}}$ — погрешность установки теодолита, по существу равная погрешности центрирования.

Для повышения точности проецирования применяют теодолиты с накладными уровнями и визирные марки на штативах с оптическими отвесами, устанавливаемые на перекрытиях возводимых ярусов.

Аналогично проецируют точки с верхнего горизонта на нижний.

Проецирование вертикальным лучом. Для проецирования точек вертикальным лучом применяют приборы вертикального визирования: уровневые оптические односторонние и двусторонние центриры и приборы с самоустанавливающейся вертикальной линией визирования (см. главу II).

На практике широко применяются приборы ПЗЛ и ПЗЛ-100. Прибор устанавливают над проецируемой точкой T и центрируют (см. рис. 23). На перекрытии над отверстием в плите закрепляют палетку — прозрачную пластину из оргстекла с нанесенной на ней координатной сеткой, линии которой проведены через 5 или 10 мм (рис. 24). Штрих микроскопа шкалы горизонтального круга ПЗЛ совмещают с отсчетом 0° , и при открытом лимбе прибор поворачивают так, чтобы горизонтальная нить сетки нитей трубы расположилась параллельно координатной линии палетки. Берут отсчет по палетке T_0 .

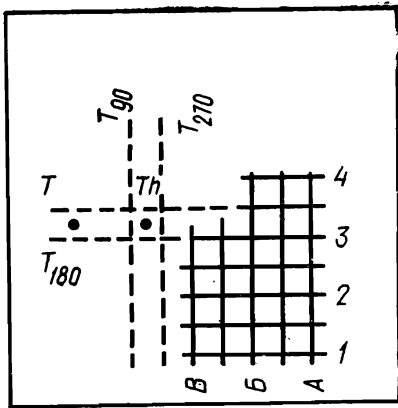


Рис. 24. Палетка для проецирования

Алидаду открепляют и при установках прибора на 90, 180 и 270° берут отсчеты по палетке (ПЗЛ-100 не имеет шкалы лимба, поэтому четыре диаметрально противоположных положения прибора фиксируются щелчками). На рис. 24 пунктирными линиями показаны проекции горизонтальной нити сетки трубы на плоскости палетки при четырех положениях прибора. В нижнем правом углу палетки показан фрагмент координатной сетки. Центр четырехугольника погрешностей будет проецируемой точкой $T_{\text{ш}}$.

Точность проецирования вертикальным лучом зависит от ряда факторов, из них основными являются:

погрешность центрирования (см. § 16);

погрешность визирования, величину которой можно оценить по формуле

$$S_{\text{в}} = 0,13 \frac{h}{v},$$

где h — высота проецирования в метрах;

погрешность отсчета по палетке при обычных условиях

$$S_0 = 0,03t,$$

где t — цена деления палетки;

погрешность фиксации точек на проектном горизонте

$$S_{\Phi} = 0,05t.$$

На точность проецирования могут влиять также внешние условия и инструментальные погрешности.

§ 22. Боковое нивелирование

Боковое нивелирование — условное название способа контроля точности установки конструктивных элементов сооружений в плане. Способ основан на определении величин отклонений точек элементов от вертикальной визирной плоскости, образуемой визирной линией зрительной трубы. Боковое нивелирование выполняют при помощи теодолита и нивелирных реек (или специальных малоразмерных реек, линеек).

Для определения наклона элемента трубой теодолита визируют на верхнюю и нижнюю горизонтально установленные рейки в точках A и B (рис. 25) (плоскость реек должна быть перпендикулярна к визирной линии), берут отсчеты соответственно a_1 и b_1 при одном круге и a_2 и b_2 — при другом. Величина $l = (a_1 + a_2)/2 - (b_1 + b_2)/2$ будет характеризовать наклон элемента.

Боковое нивелирование применяют также при исполнительных съемках планового положения смонтированных конструкций на монтажных горизонтах (см. § 32).

Точность бокового нивелирования зависит в основном от наклона оси вращения теодолита и погрешности отсчета по рейкам (S_0).



Рис. 25. Боковое нивелирование

§ 23. Построение в натуре проектных точек

Под построением проектных точек понимают геодезические работы, связанные с перенесением в натуру точек пересечения разбивочных осей зданий и сооружений. Выбор способа построения проектных точек зависит от вида плановой разбивочной основы.

Полярный способ. С пункта A разбивочной основы проектная точка C определяется в натуре путем построения проектного угла β и проектного расстояния d (рис. 26, а).

На точность построения проектной точки оказывают влияние погрешности построения угла β (S_β), построения линии d (S_d), центрирования и редуки (S_π , S_p), исходных данных (S_π), фиксации точки C (S_ϕ) (см. § 15). За погрешности исходных данных принимают погрешности в положении пунктов A и B разбивочной основы. Приняв, что линейные элементы центри-

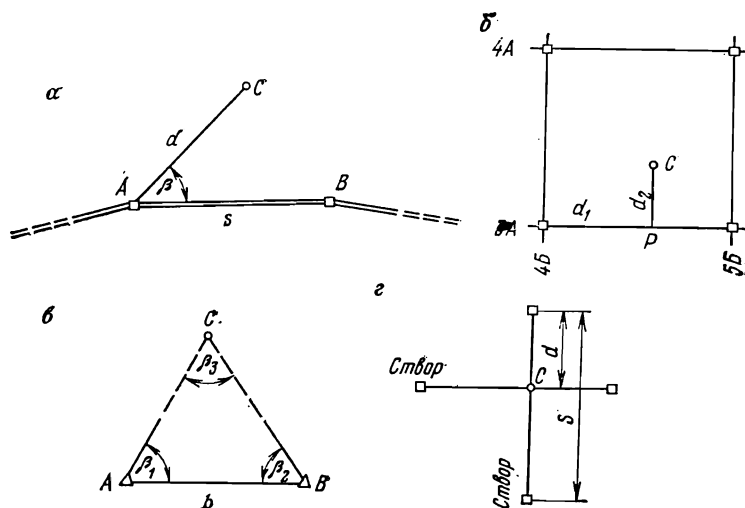


Рис. 26. Способы построения проектных точек

ровки и редуки равны между собой, т. е. $S_\pi = S_p = e$, и учитывая независимый характер перечисленных погрешностей, суммарную погрешность в положении проектной точки C можно вычислить по формуле

$$S_C = \sqrt{S_\pi^2 + \left(\frac{S_d}{d}\right)^2 d^2 + \left(\frac{S_\beta}{\rho}\right)^2 d^2 + \left[1 + \left(\frac{d}{s}\right)^2 - \frac{d}{s} \cos \beta\right] e^2 + S_\phi^2} \quad (37)$$

Способ прямоугольных координат. Этим способом проектные точки переносят в натуру от пунктов строительной сетки (рис. 26, б). От пункта 4А/4В строительной сетки по стороне 4В—5В откладывают проектное расстояние d_1 до основания перпендикуляра P , строят прямой угол, откладывают проектную длину d_2 перпендикуляра, фиксируют точку C .

На точность построения проектной точки влияют погрешности построения отрезков d_1 и d_2 (S_{d_1} и S_{d_2}), построения прямого угла (S_β), центрировки и редуки (S_π , S_p), фиксации точки C (S_ϕ), исходных данных (S_π) (см. § 15). Суммарную погрешность в положении точки C можно вычислить по формуле

$$S_C = \sqrt{S_\pi^2 + \left(\frac{S_{d_1}}{d_1}\right)^2 d_1^2 + \left(\frac{S_{d_2}}{d_2}\right)^2 d_2^2 + \left(\frac{S_\beta}{\rho}\right)^2 d_2^2 +}$$

$$\leftarrow \left[1 + \left(\frac{d_2}{d_1} \right)^2 \right] e^2 + S_{\Phi}^2, \quad (38)$$

где e — величины редукции и центрировки.

При построении точек способом прямоугольных координат необходимо, чтобы линия d_1 , откладываемая по стороне сетки, была больше перпендикуляра d_2 .

Способ угловой засечки. Этот способ применяется в основном при разбивке мостовых переходов и гидротехнических сооружений с пунктов мостовой триангуляции. Положение проектной точки C определяется построением в пунктах A и B триангуляции проектных углов β_1 и β_2 (рис. 26, а).

Основными источниками, влияющими на точность построения точки C , являются погрешности собственно прямой засечки (S_a), центрировки (S_n) и редукции (S_p), фиксации точки $C(S_{\Phi})$, исходных данных (S_{π}) (см. § 16). Суммарная величина этих погрешностей составит

$$S_C^* = \sqrt{\frac{S_a^2 b^2}{\rho^2} \frac{\sin^2 \beta_1 + \sin^2 \beta_2}{\sin^4 \beta_3} + (S_{A,B}^2 + e^2) \left(\frac{\sin^2 \beta_1 + \sin^2 \beta_2}{\sin^2 \beta_3} \right) + S_{\Phi}^2}, \quad (39)$$

где $S_{A,B} = S_A = S_B$ — погрешность в положении пунктов A и B .

Наибольшая точность построения точки C будет в случае, когда в треугольнике угол $\beta_3 = 90^\circ$ и стороны AC и BC равны между собой.

Створная засечка. Положение проектной точки C в натуре этим способом определяется пересечением двух створов, построение которых осуществляется теодолитом (рис. 26, з).

Точность створной засечки зависит от точности построения створов. Основными погрешностями построения створов являются погрешность исходных данных (S_{π}), погрешности центрировки теодолита (S_n), редукции визирных целей (S_p), погрешность визирования (S_a), погрешность фиксации (S_{Φ}). Погрешность в положении точки C можно определить по формуле (при условии равенства одноименных погрешностей, сопровождающих построение створов)

$$S_C = \sqrt{2S_{\pi}^2 + e^2 \left[\left(\frac{s-d}{s} \right)^2 + \left(\frac{d}{s} \right)^2 \right] + \frac{1600d^2}{v^2 \rho^2} + S_{\Phi}^2}, \quad (40)$$

где e — величина равных между собой линейных элементов, центрировки и редукции, v — увеличение трубы теодолита.

Точность створной засечки будет выше, когда створы взаимно перпендикулярны.

В формулах (37)–(40) не учтено влияние внешних условий. Доминирующим фактором в условиях строительной площадки является боковая рефракция. Для уменьшения рефракции построение точек выполняют многократно в разных температурных условиях (особенно при разбивках ответственных сооружений). При этом необходимо, чтобы визирная линия не проходила ближе 1–2 м от стен и других строительных конструкций. В практике геодезических разбивочных работ значительно реже применяют способ линейной засечки.

Глава IV

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ СЕТИ

§ 24. Высотные сети на строительных объектах

Высотные сети создают при возведении уникальных сооружений или объектов, связанных по высоте в единую технологическую цепь и расположенных на значительной территории. Пункты сети служат обоснованием для

выполнения геодезических работ на строительных площадках и по трассам объекта.

На больших по территории объектах высотная сеть создается в два этапа.

Каркасная сеть служит обоснованием для построения разбивочной сети и создается в виде свободной системы замкнутых полигонов, охватывающих всю территорию объекта.

Пункты сети располагают вне зоны влияния осадок сооружений в местах, обеспечивающих сохранность знаков на весь период строительства. Центры пунктов должны соответствовать рекомендациям, приведенным в [8].

Превышения в каркасной сети измеряют геометрическим нивелированием по программе II и III класса.

Для нивелирования II класса используют глухие нивелиры с плоскопараллельной пластинкой, увеличением трубы не менее 40 $\times$ и ценой деления уровня не более 10" на 2 мм. Допускается применение нивелира Ni 007 и других равноточных приборов с самоустанавливающейся линией визирования. Случайные погрешности метровых интервалов и всей шкалы реек с инварной полосой не должны превышать 0,3 мм. Нивелирование выполняют способом совмещения при нормальной длине визирного луча 65 м, неравенстве плеч до 1 м и накоплении неравенства плеч в ходе до 2 м. Разность превышений по основной и дополнительной шкалам реек не должна превышать 0,7 мм, между прямым и обратным ходами 5 мм $\sqrt{L}$ при среднем числе станций не более 15 на 1 км хода и 6 мм $\sqrt{L}$ при среднем числе станций более 15, где L — длина хода в км. Допускаемые невязки полигонов вычисляют по формуле $f_{\text{доп}} = 5 \text{ мм } \sqrt{P}$, где P — периметр полигона в км.

Для нивелирования III класса используют глухие нивелиры с увеличением трубы не менее 30 $\times$, ценой деления уровня не более 15" на 2 мм, а также нивелир НСЗ и другие равноточные приборы с самоустанавливающейся линией визирования. Рейки применяют двусторонние 3-метровые шашечные с круглым уровнем. Случайные погрешности дециметровых делений не должны превышать 0,5 мм. Нивелирование производят в прямом и обратном направлениях с отсчетами по трем нитям по черной стороне и по средней нити по красной стороне реек. При наличии нивелира с плоскопараллельной пластинкой и штриховых реек нивелирование производят способом совмещения. Нормальная длина визирного луча составляет 75 м, неравенство плеч допускается до 2 м, а накопление в ходе — до 5 м. Разности превышений по разным сторонам реек не должны превышать 3 мм, а невязки ходов и полигонов — 10 мм $\sqrt{L}$. При числе станций n более 15 на 1 км хода допускаемую невязку вычисляют по формуле $2,6 \text{ км } \sqrt{n}$.

Уравнивание каркасной сети осуществляют способом узлов с использованием метода последовательных приближений. Веса ходов определяют из выражения $p_i = 1/L_i$ и приводят для каждого из узлов к единице, т. е. вычисляют

$$p_i^0 = p_i / \sum p_i.$$

Уравненные отметки узлов определяют как среднее весовое. Применительно к сети, изображенной на рис. 27, формулы весовых средних в j -м приближении имеют вид

$$H_I^j = (H_{M-101} + h_1) p_1^0 + (H_{II}^{j-1} - h_2) p_2^0 + (H_{III}^{j-1} + h_3) p_6^0;$$

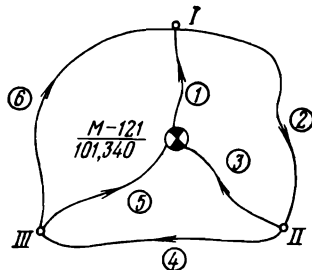


Рис. 27. Схема нивелирной сети

$$H_{II}^i = (H_1^{i-1} + h_2) p_2^0 + (H_{M-101} - h_3) p_3^0 + (H_{II}^{i-1} - h_4) p_4^0;$$

$$H_{III}^i = (H_{II}^{i-1} + h_4) p_4^0 + (H_{M-101} - h_5) p_5^0 + (H_I^{i-1} - h_6) p_6^0.$$

Для сокращения затрат труда для каждого узла в отдельности определяют отклонения ϵ_i^j от минимальной отметки $H_{i\min}^j$, а весовое среднее вычисляют по формуле

$$H_i^j = H_{i\min}^j + \Sigma \epsilon_i^j p_i^0.$$

Приближения продолжают по сходимости отметок в пределах 1 мм. При оценке точности средние квадратические погрешности единицы веса вычисляют по формуле

$$\mu = \sqrt{\frac{[pv^2]}{r}},$$

где v — поправки в измеренные превышения; r — число избыточных измерений.

Пример уравнивания сети, изображенной на рис. 27, приведен в табл. 11.

Отметки промежуточных пунктов в ходе между узловыми точками вычисляют по формуле

$$H_k = H_{исх} + \sum_{i=1}^k h_i - \frac{f_h}{n} k,$$

где $H_{исх}$ — отметка исходного узла; Σh_i — сумма измеренных превышений; f_h — невязка хода; n — общее число станций в ходе.

Разбивочная нивелирная сеть создается проложением отдельных ходов, опирающихся на пункты каркасной сети. Знаки разбивочной сети располагают в непосредственной близости от возводимых сооружений. Они образуют систему строительных реперов. Густота сети подбирается таким образом, чтобы передача отметок на конструкции сооружения выполнялась с 1—3 установок прибора. Контроль устойчивости знаков разбивочной сети осуществляют с пунктов каркасной сети.

Превышения в разбивочной сети измеряют геометрическим нивелированием по программе IV класса.

Для нивелирования используют приборы с увеличением не менее 25^x и ценой деления уровня не более 25'' на 2 мм, а также нивелиры: НС-4 и равноточные им с самоустанавливающейся линией визирования. Случайные погрешности дециметровых делений 3-метровых шашечных реек не должны превышать 1 мм. Нивелирование производят из середины при нормальной длине визирного луча 100 м, неравенстве плеч до 5 м и накоплении неравенства в ходе до 10 м. Расхождения в превышениях по черным и красным сторонам реек не должны превышать 5 мм, а невязки ходов — 20 мм $\sqrt{L}$ при $n < 15$ и 5 мм $\sqrt{n}$ при $n > 15$ на 1 км хода.

Для уникальных объектов и объектов, к которым предъявляются повышенные требования к точности, методика выполнения работ определяется на основе расчета необходимой точности.

При расчете оценивают погрешность пункта в наиболее слабом месте сети и погрешность взаимного положения двух пунктов, с которых передается отметка на одну и ту же точку сооружения. Если эти погрешности заданы допускаемыми отклонениями δ_I и δ_{II} , то при доверительной вероятности P средняя квадратическая погрешность μ измерения превышений в сети на одной станции определяется из решения системы неравенств

$$\mu \leq \frac{\delta_I \sqrt{P_I}}{t}; \quad \mu \leq \frac{\delta_{II} \sqrt{P_{II}}}{t}, \quad (41)$$

Таблица 11

Определяемые узлы	Исходные пункты	Исходные отметки H , м	Номер хода	Превышение по ходам h , м	Вес хода $p_i = \frac{L_i}{k}$	Приведенные веса $p_i^0 = \frac{p_i}{\sum p_i}$	I приближение		II приближение		III приближение		Поправки v , мм	$p_i^2 v^2$
							H_i , м	$\sum p_i^0$, мм	H_i , м	$\sum p_i^0$, мм	H_i , м	$\sum p_i^0$, мм		
I	M-121 II III	101,340	1	+1,574	0,46	0,39	102,914		102,914	1,2	102,914	1,2	0	0
			2	+1,346	0,35	0,30			102,917	1,8	102,918	2,1	+4	5,5
			6	+1,578	0,36	0,31			102,911	0	102,911	0		
					1,17	1,00	102,914		102,914	3,0	102,914	3,3		
II	I M-121 III	101,340	2	-1,346	0,35	0,32	101,568	0	101,568	0	101,568	0	-2	2,1
			3	+0,934	0,53	0,38	101,574	2,9	101,574	2,9	101,574	2,9	+4	3,5
			4	-0,748	0,22	0,20			101,576	1,6	101,576	1,6		
					1,10	1,00	101,571	2,9	101,572	4,5	101,572	4,5		
III	III M-121 I	101,340	4	+0,748	0,22	0,22	102,319	0	102,320	0	102,320	0	+1	0,4
			5	+0,983	0,40	0,41	102,323	1,6	102,323	1,2	102,323	1,2	-3	3,2
			6	-0,587	0,36	0,37	102,327	3,0	102,327	2,6	102,327	2,6		
					0,98	1,00	102,324	4,6	102,324	3,8	102,324	3,8		

$[pv^2] = 14,8$

Средняя квадратическая погрешность единицы веса $\mu = \sqrt{\frac{[pv^2]}{n}} = \sqrt{\frac{14,8}{3}} = 2,2$ мм.

где $t = \arcsin(P)$ — нормированное значение стандарта; p_I и p_{II} — веса соответствующих условий в сети.

Для нахождения p_I и p_{II} по проекту сети на стройгенплане определяют число n_i станций во всех ходах и вычисляют веса ходов $p = c/n_i$.

Вес пункта в наиболее слабом месте сети находят одним из приближенных способов. Например, по формуле

$$p_I = [p_0]_1 + \frac{[p]_1}{1 + \frac{[p]_1}{[p_0]_2 + \frac{[p]_2}{[p_0]_3 + \dots}}},$$

где $[p_0]_1, [p_0]_2, \dots$ — сумма весов ходов, примыкающих к исходным пунктам, соответственно 1-го, 2-го ... порядка по отношению к определяемой точке; $[p]_1, [p]_2, \dots$ — сумма весов ходов соответствующих порядков, примыкающих к узловым пунктам.

Для определения веса превышений между пунктами, с которых передается отметка на одну точку сооружения, находят полигон с наибольшим числом $n_{\max}$ станций и вычисляют $p_{II} = 4/n_{\max}$.

После решения системы (41) по полученному значению μ производят расчет элементарных погрешностей (см. § 8) и осуществляют выбор методики измерений.

§ 25. Плановые сети на строительных объектах

При строительстве промышленных предприятий или комплексов сооружений на участке более 50 га и при возведении отдельно стоящих зданий площадью застройки более 10 тыс. м² обоснование для разбивки осей создают в виде сетей триангуляции, трилатерации и полигонометрии 1 и 2 разрядов [3]. Центры пунктов закрепляют на местности в соответствии с рекомендациями, приведенными в [8].

Триангуляцию создают в виде цепочки или сплошной сети из треугольников и геодезических четырехугольников. Основные требования к сетям приведены в табл. 12.

При измерении углов приборы и визирные марки устанавливают, как правило, на штативы, а центрирование производят при помощи оптических центров.

Измерение базисов осуществляют светодальномерами или базисными приборами БП-2. Эталонирование светодальномеров и компарирование инварных проволок производят до и после измерений в сети.

Трилатерацию создают преимущественно в виде цепочки или сплошной сети из треугольников со сторонами от 0,5 до 5 км для 1 разряда и от 0,25 до 3 км для 2 разряда точности. Относительная средняя квадратическая погрешность измерения сторон по внутренней сходимости не допускается более 1 : 50 000 и 1 : 20 000 соответственно для 1 и 2 разрядов трилатерации. Измерения сторон производят светодальномерами при соблюдении числа приемов, указанных в табл. 12.

Полигонометрию создают в виде системы замкнутых полигонов. Основные требования к сети и измерениям приведены в табл. 13.

Измерение сторон проволоками. Измерения сторон в ходах полигонометрии 1 разряда производят двумя инварными проволоками в прямом и обратном направлениях, а в ходах 2 разряда — только в одном направлении. Расхождения разности отсчетов по шкалам (П—З) более 1 мм не допускаются. Компарирование проволок производят до и после измерений в сети. Температуру воздуха определяют термометром-прахом в начале и конце измерения линии. Измерение превышений между штативами осуществляют по программе технического нивелирования.

Уравнивание плановых сетей. Уравнивание плановых сетей триангуляции и трилатерации осуществляют строгими способами.

Таблица 12

Показатели	Допускаемые значения	
	1 разряд	2 разряд
Длины сторон, км	0,5—5	0,25—3
Относительная средняя квадратическая погрешность:		
базисной стороны	1:50 000	1:20 000
сторон в наиболее слабом месте	1:20 000	1:10 000
Невязки в треугольниках	20"	40"
Средняя квадратическая погрешность измерения углов	3"	10"
Число круговых приемов измерения углов:		
теодолит Т2 и равноточные ему	3	2
теодолит Т5 и равноточные ему	4	3
Незамыкания горизонта и колебания направлений в приемах:		
теодолит Т2 и равноточные ему	8"	8"
теодолит Т5 и равноточные ему	0,2'	0,2'
Минимальная длина базисной стороны, км	1,0	0,5
Число приемов при измерении длин базисов светодальномерами с регистрацией светового потока:		
фотоэлектрическим способом	4	3
визуальным способом	8	6
Предельные расхождения в длинах базисов при измерениях на разных частотах, см	5	6

Для сетей полигонометрии применяют отдельный способ уравнивания углов и координат. Если при этом поправки в углы, вычисленные по поправкам в приращения координат, превышают 10", то такие одиночные ходы уравнивают строгим способом.

При обработке результатов измерений поправки в длины сторон за переход к поверхности эллипсоида не вводят. На объектах с большими превышениями (в горных районах) длины сторон сети приводят к среднему уровню площадки.

В сетях со значительными разностями долгот применяют компенсационную систему координат. При этом осевой меридиан и плоскость приведения выбирают таким образом, чтобы поправки за приведение к поверхности эллипсоида и на плоскость в проекции Гаусса, имеющие разные знаки, были близки по абсолютной величине.

Расчеты необходимой точности построения опорной сети. Для типовых зданий и сооружений точность измерений при построении плановой основы регламентируется документом [2].

Для уникальных объектов и объектов, к которым предъявляют повышенные требования к точности, методику и программу выполнения работ определяют на основе расчета точности.

Под влиянием погрешностей измерений в сетях происходят искажения формы (углов), размеров и направления (азимутов) сторон, возникают сдвиги пунктов относительно друг друга и исходного начала.

Расчет точности начинают с выявления требования к сети и назначения допускаемых искажений δ_i . Далее по заданной доверительной вероятности находят величину нормированного стандарта t и составляют систему неравенств вида

Таблица 13

Показатели	Допускаемые значения	
	1 разряд	2 разряд
Предельные длины ходов, км	5	3
Периметры полигонов, км	15	9
Длины сторон, м	120—600	80—300
Длина хода от узловой точки до пункта высшего разряда, км	3	2
Максимальное число сторон в ходе	15	15
Невязка хода:		
стандартной длины (относительная)	1:10'000	1:5000
длиной 1 и 0,5 км для 1 и 2 разрядов	0,1 м	0,1 м
Средняя квадратическая погрешность измерения углов	5"	10"
Число приемов измерения углов:		
теодолит Т2 и равноточные ему	2	1
теодолит Т5 и равноточные ему	3	2
Угловые невязки в ходах	$10''\sqrt{n}$	$20''\sqrt{n}$

Измерение сторон светодальномерами

С фотоэлектрическим способом регистрации	3 приема	2 приема
С визуальной фиксацией	6 приемов	4 приема
Предельные расхождения в длинах сторон, определяемых на разных частотах:		
при расстояниях от 80 до 500 м		4 см
от 500 до 1000 м		5 »
от 1 до 2 км		6 »
свыше 2 км		7 »

Измерение сторон короткобазисным параллактическим методом

Простое звено

Максимальные расстояния от теодолита до жезла:		
для 2-метрового жезла	50 м	60 м
для 3-метрового жезла	70 м	90 м
Минимальный параллактический угол	2°20'	1°55'

Сложное звено

Максимальное расстояние от базисного жезла до теодолита в длинах жезла l	10 l	14 l
Максимальная длина стороны в длинах вспомогательного базиса b	14 b	20 b
Максимальный параллактический угол	4°00'	5°40'

Компарирование

Расхождения в сериях в длине 24-метрового компаратора:		
для 2-метрового жезла		2 мм
для 3-метрового жезла		1,3 мм

Показатели	Допускаемые значения	
	1 разряд	2 разряд
Расхождения в сериях в длине 48-метрового компаратора		
для 2-метрового жезла		6 мм
для 3-метрового жезла		4 мм
Измерение 120-метрового полевого компаратора:		
число ходов (прямо и обратно)	2 хода	
расхождения в длинах для 2-метрового жезла . .	10 мм	
расхождения в длинах для 3-метрового жезла . .	7 мм	

Измерения сторон дальномерами

Натяжение 0,1 кН	Гиря	Динамометр
Число приемов измерения	2	1
Расхождения между полуприемами	1:7000	1:5000
Расхождения между приемами	1:10 000	—
Относительная погрешность компарирования диска на 120-метровом полевом компараторе 10 приемами . .	1:100 000	

$$\mu \leq \frac{\delta_i \sqrt{p_i}}{i}, \quad (42)$$

где μ — средняя квадратическая погрешность единицы веса; $i=1, 2, \dots, n$ — номер искажения в сети; p — вес функции, характеризующий искажение в сети.

После решения системы неравенств (42) по полученному значению μ осуществляют выбор методики измерений и назначают допуски для операционного контроля.

Наиболее трудоемкой частью расчета является определение весов искажений в сети.

При приближенных методах оценки для этих целей используют зависимости между средними квадратическими погрешностями измерений и погрешностями рассматриваемых элементов сети. Наиболее полная сводка таких формул приведена в обзоре [7]. При таком способе оценки показатели формы сети определяют по схеме сети.

При строгом способе оценки определяемые искажения элементов сети представляют в виде функции F поправок δx и δy к координатам пунктов или поправок v к измеренным величинам.

При параметрическом способе уравнивания триангуляции наиболее часто применяют следующие виды функций.

Функция $F_{S_{ij}}$ длины S_{ij} стороны между пунктами I и J

$$F_{S_{ij}} = -\cos \alpha_{ij} \delta x_i - \sin \alpha_{ij} \delta y_i + \cos \alpha_{ij} \delta x_j + \sin \alpha_{ij} \delta y_j, \quad (43)$$

где α_{ij} — дирекционный угол стороны IJ .

Функция $F_{\alpha_{ij}}$ дирекционного угла стороны IJ

$$F_{\alpha_{ij}} = a_{ij} \delta x_i + b_{ij} \delta y_i - a_{ij} \delta x_j - b_{ij} \delta y_j, \quad (44)$$

где

$$a_{ij} = \rho \frac{\sin \alpha_{ij}}{S_{ij}} \text{ и } b_{ij} = -\rho \frac{\cos \alpha_{ij}}{S_{ij}}.$$

Функция F_{β}^k угла β на пункте K с направлениями KI и KJ

$$F_{\beta_{ij}}^k = (a_{kj} - a_{ki}) \sigma x_k + (b_{kj} - b_{ki}) \delta y_k + a_{jk} \delta x_j + b_{jk} \delta y_j - a_{ik} \delta x_i - b_{ik} \delta y_i. \quad (45)$$

Функции F_x^k и F_y^k сдвига пункта K по осям X и Y

$$F_x^k = \delta x_k \text{ и } F_y^k = \delta y_k. \quad (46)$$

После получения функций по чертежу сети, составляемому в достаточно крупном масштабе, определяют коэффициенты уравнений поправок, вычисляют коэффициенты нормальных уравнений, в схему Гаусса вводят дополнительные столбцы функций и после исключения последнего неизвестного получают обратные веса функций.

На строительных площадках места постановок знаков жестко ограничены и отклонения пунктов от положения, предусмотренного в проекте сети, обычно не вызывают существенных изменений в коэффициентах уравнений поправок. Это позволяет использовать решение системы нормальных уравнений для последующего уравнивания сети со свободными членами, полученными по результатам измерений.

При коррелятном способе уравнивания триангуляции функции искажений составляются следующим образом.

Функция F_{β_k} измеренного угла β_k в пункте K имеет вид

$$F_{\beta_k} = v_k. \quad (47)$$

Для функции $F_{\alpha_{ij}}$ дирекционного угла стороны IJ (рис. 28) выражают α_{ij} через промежуточные углы

$$\alpha_{ij} = \alpha_{AB} + \beta_2 - \beta_5 + \beta_8 - \beta_{11} + 180^\circ (n - 1)$$

и получают

$$F_{\alpha_{ij}} = v_2 - v_5 + v_8 - v_{11}. \quad (48)$$

Для функции $F_{s_{ij}}$ стороны S_{ij} (см. рис. 28) выражают через связующие углы

$$S_{ij} = S_{ab} \frac{\sin \beta_3 \sin \beta_6 \sin \beta_9 \sin \beta_{12}}{\sin \beta_1 \sin \beta_4 \sin \beta_7 \sin \beta_{10}}$$

и записывают

$$F_{s_{ij}} = -\Delta_1 v_1 + \Delta_3 v_3 - \Delta_4 v_4 + \Delta_6 v_6 - \Delta_7 v_7 + \Delta_9 v_9 - \Delta_{10} v_{10} + \Delta_{12} v_{12}, \quad (49)$$

где Δ_i — измерение логарифма синуса β_i .

Для функций F_X^i абсцисс и F_Y^i ординат пункта 1 используют выражения

$$\begin{aligned} X_i &= X_a + S_{ac} \cos \alpha_{ac} + S_{cd} \cos \alpha_{cd} + S_{di} \cos \alpha_{di}; \\ Y_i &= Y_a + S_{ac} \sin \alpha_{ac} + S_{cd} \sin \alpha_{cd} + S_{di} \sin \alpha_{di}, \end{aligned}$$

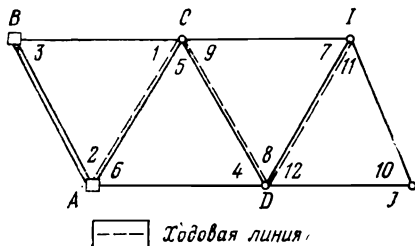


Рис. 28. Схема сети триангуляции

определяют зависимости

$$S_{ac} = S_{ab} \frac{\sin \beta_3}{\sin \beta_1}; \quad \alpha_{ac} = \alpha_{ab} + \beta_2;$$

$$S_{cd} = S_{ac} \frac{\sin \beta_6}{\sin \beta_4}; \quad \alpha_{cd} = \alpha_{ac} \pm 180^\circ - \beta_5;$$

$$S_{di} = S_{cd} \frac{\sin \beta_9}{\sin \beta_7}, \quad \alpha_{di} = \alpha_{cd} \pm 180^\circ + \beta.$$

и получают

$$F_X^i = - \frac{X_i - X_a}{\rho} \operatorname{ctg} \beta_1 v_1 - \frac{Y_i - Y_a}{\rho} v_2 + \frac{X_i - X_a}{\rho} \operatorname{ctg} \beta_3 v_3 - \frac{X_i - X_c}{\rho} \times$$

$$\times \operatorname{ctg} \beta_4 v_4 + \frac{Y_i - Y_c}{\rho} v_5 + \frac{X_i - X_c}{\rho} \operatorname{ctg} \beta_6 v_6 - \frac{X_i - X_d}{\rho} \operatorname{ctg} \beta_7 v_7 -$$

$$- \frac{Y_i - Y_c}{\rho} v_8 + \frac{X_i - X_d}{\rho} \operatorname{ctg} \beta_9 v_9; \quad (50)$$

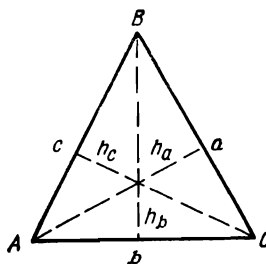
$$F_Y^i = - \frac{Y_i - Y_a}{\rho} \operatorname{ctg} \beta_1 v_1 + \frac{X_i - X_a}{\rho} v_2 + \frac{Y_i - Y_a}{\rho} \operatorname{ctg} \beta_3 v_3 -$$

$$- \frac{Y_i - Y_c}{\rho} \operatorname{ctg} \beta_4 v_4 - \frac{X_i - X_c}{\rho} v_5 + \frac{Y_i - Y_c}{\rho} \operatorname{ctg} \beta_6 v_6 - \frac{Y_i - Y_d}{\rho} \operatorname{ctg} \beta_7 v_7 +$$

$$+ \frac{X_i - X_c}{\rho} v_8 + \frac{Y_i - Y_d}{\rho} \operatorname{ctg} \beta_9 v_9. \quad (51)$$

В трилатерации определение весов функций производят, как и в триангуляции, но поправки v_A, v_B, v_C в углы выражают через поправки v_a, v_b, v_c в стороны (рис. 29).

Зависимость между этими поправками имеет вид



$$\left. \begin{aligned} v_A &= \frac{\rho}{h_A} (v_a - \cos B v_c - \cos C v_b); \\ v_B &= \frac{\rho}{h_B} (v_b - \cos A v_c - \cos C v_a); \\ v_C &= \frac{\rho}{h_C} (v_c - \cos B v_a - \cos A v_b), \end{aligned} \right\} \quad (52)$$

где h — высота треугольника, опущенная из вершины угла, поправку которого определяют.

Если сторона является исходной, то поправку в нее приравнивают к нулю.

Для сокращения объема вычислений нормальные уравнения коррелят составляют по чертежу сети способом проф. В. В. Попова.

Для сложных сетей с большим числом разнообразных связей между пунктами и невысокими требованиями к точности ограничиваются оценкой точки в наиболее слабом месте сети с определением веса методом последовательных приближений.

При назначении весов связей между пунктами за погрешность единицы

веса μ принимают погрешность S_{S_0} измерения отрезка S_0 , равного средней длине стороны, или погрешность S_β измерения угла, т. е.

$$\mu = S_{S_0} = S_0 \frac{S_\beta}{\rho} . \quad (53)$$

Если дирекционный угол стороны определяется с обоих пунктов, то вес связи принимают равным $\rho_{\alpha_i} = 1/k_i^2$, где $k_i = S_i/S_0$; S_i — длина стороны. Для сторон 1—5 и 2—5 сети на рис. 30 вес связи равен $\rho_\alpha = \rho_{1-5} = \rho_{2-5} = 1/1,06^2 = 0,90$.

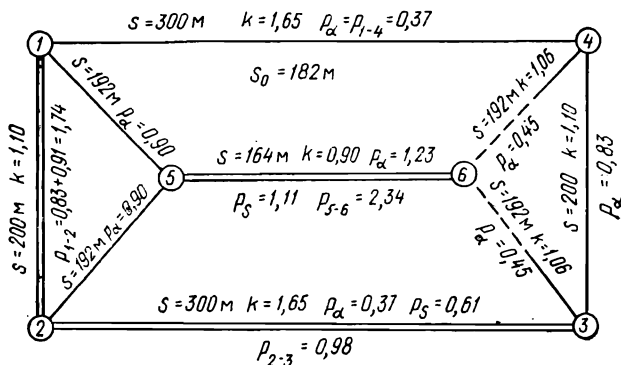


Рис. 30. Схема сети планового обоснования

При определении пункта угловой засечкой без измерения угла на определяемом пункте вес связи равен $\rho_{\alpha'} = 1/2 k_2$. Для сторон 3—6 и 4—6 имеем $\rho_{\alpha'} = \rho_{3-6} = \rho_{4-6} = 1/2 \cdot 1,06^2 = 0,45$.

Если измерение длин сторон осуществляют светодальномерами, где практически $S_i = S_{S_0}$, то веса всех измерений сторон принимают равными единице.

При измерении линий мерными приборами веса связей по измеренным сторонам вычисляют по формуле $\rho_i = 1/k_i$. Для стороны 5—6 нашей сети вес измерения длины равен $\rho_{S_1} = 1/0,91 = 1,10$.

Если измерена длина стороны и определен ее дирекционный угол, то вес связи равен сумме весов измерений. Для связи между пунктами 2—3

$$\rho_{2-3} = \rho_{\alpha_i} + \rho_{S_i} = 0,37 + 0,61 = 0,98.$$

Если вес предшествующего пункта, т. е. пункта, с которого передаются координаты, обозначить через ρ_n , то вес определяемого пункта, полученный по i -й связи, вычисляют по формуле

$$\frac{1}{\rho} = \frac{1}{\rho_i} + \frac{1}{\rho_n} . \quad (54)$$

Общий вес пункта определяют как сумму весов по всем его связям

$$\rho = \sum_{i=1}^n \rho_i . \quad (55)$$

Так как веса предшествующих пунктов сети неизвестны, то для решения задачи применяют метод последовательных приближений. Определение весов пунктов для сети (см. рис. 30) приведено в табл. 14.

Таблица 14

Определяе- мые пункты	Предшест- вующие пункты	Связи		Приближения					
		1/p	p	1		2		3	
				1/p	p	1/p	p	1/p	p
1	2	0,57	1,74	0,85	1,17	0,99	1,01	1,03	0,97
	4	2,70	0,37	3,31	0,30	3,50	0,99	3,53	0,29
	5	1,11	0,90	1,35	0,73	1,50	0,66	1,55	0,65
		p 1/p	3,01 0,33		2,20 0,46		1,96 0,51		1,91 0,52
2	1	0,57	1,74	1,03	0,97	1,08	0,92	1,09	0,92
	3	1,02	0,98	1,46	0,68	1,63	0,62	1,67	0,60
	5	1,11	0,90	1,35	0,73	1,50	0,66	1,55	0,65
		p 1/p	3,62 0,28		2,38 0,42		2,20 0,46		2,17 0,46
3	2	1,02	0,98	1,14	0,69	1,48	0,68	1,48	0,68
	4	1,20	0,63	1,81	0,55	2,00	0,50	2,03	0,49
	6	2,12	0,45	2,53	0,39	2,75	0,36	2,77	0,36
		p 1/p	2,26 0,44		1,63 0,61		1,54 0,65		1,53 0,65
4	1	2,70	0,37	3,16	0,31	3,21	0,31	3,22	0,31
	3	1,20	0,83	1,81	0,55	1,85	0,54	1,85	0,54
	6	2,22	0,45	2,53	0,39	2,75	0,36	2,77	0,36
		p 1/p	1,65 0,61		1,25 0,80		1,21 0,83		1,21 0,83
5	1	1,11	0,90	1,57	0,63	1,62	0,62	1,63	0,62
	2	1,11	0,90	1,53	0,65	1,57	0,64	1,57	0,64
	6	0,43	2,34	0,74	1,35	0,96	1,04	0,98	1,02
		p 1/p	4,14 0,24		2,63 0,39		2,30 0,44		2,28 0,44
6	3	2,22	0,45	2,83	0,35	2,87	0,35	2,87	0,35
	4	2,22	0,45	3,02	0,33	3,05	0,33	3,05	0,33
	5	0,43	2,34	0,82	1,22	0,87	1,15	0,87	1,15
		p 1/p	3,24 0,31		1,90 0,53		1,83 0,55		1,83 0,55

§ 26. Многоразрядные плановые сети

На крупных строительных объектах, при застройке больших жилых массивов и строительстве некоторых уникальных сооружений опорные сети создают на несколько стадий. Построение сети осуществляют от общего к частному, от более крупных и точных к более мелким и менее точным. Пункты сетей старших разрядов служат обоснованием для построения сетей младших разрядов.

Для типовых сетей используют сочетания классов и разрядов, предусмотренных нормативными документами, например СНиП [3].

Для нестандартных построений число n стадий определяют в зависимости от отношения S_n/S_1 средних квадратических погрешностей в конечной (наименее точной) и начальной стадиях

$$n = \log_k \frac{S_n}{S_1},$$

где $k = S_1/S_2 = S_2/S_3 = \dots = S_i/S_{i+1}$ — коэффициент понижения точности при переходе от старшего (более точного) к младшему разряду.

Коэффициент понижения точности назначают так, чтобы при уравнивании сети погрешности старшего разряда (исходных данных) не искажали результатов измерений в сетях младшего разряда. При выбранном уровне значимости q эта зависимость отображается неравенством

$$p_F \geq (1 - q)^2 p_{F_1} \text{ или } p_{F_1}^{-1} \leq (1 - q)^{-2} p_F^{-1}, \quad (56)$$

где p_{F_1} — вес рассматриваемой функции, обусловленный влиянием погрешностей измерений данного разряда сети; p_F — вес той же функции, обусловленный совместным влиянием погрешностей измерений и исходных данных.

Для определения p_{F_1} и p_F решают две системы уравнений поправок. Первую систему уравнений составляют только для измерений в сети данного разряда, вторую — для поправок измерений в сетях обоих разрядов.

При параметрическом способе уравнения поправок первой и второй систем имеют соответственно вид

$$V_1 = A_1 x + L_1, \quad (57)$$

$$\left. \begin{aligned} V_1 &= A_1 x + A x + L; \\ V &= \quad \quad x, \end{aligned} \right\} \quad (58)$$

где V_1 , A_1 и V , A — векторы поправок измерений и матрицы коэффициентов уравнений поправок соответственно для определяемых пунктов сети младшего разряда и для исходных пунктов, т. е. пунктов старшего разряда.

Решая эти системы с дополнительными столбцами функции, получают значения p_{F_1} и p_F , что позволяет с помощью формул (56) убедиться в надежности выбора коэффициента понижения точности.

При коррелятном способе уравнивания для определения обратных весов $1/p_{F_1}$ и $1/p_F$ составляют совместное (общее) условное уравнение

$$B_1 V_1 + B V + W = 0, \quad (59)$$

где B_1 и B — матрицы условных уравнений поправок соответственно для сетей младшего и старшего разрядов.

Этот строгий метод оценки надежности выбора коэффициента понижения точности связан с большим объемом вычислений и применяется при машинном счете или при ручном счете для небольших сетей и плановых сетей на монтажных горизонтах многоэтажных зданий (см. § 30).

В сетях с большим числом пунктов для оценки надежности выбора коэффициента понижения точности для каждого из разрядов отдельно составляют схемы сети, в соответствии с выбранным значением k вычисляют и выписывают на схему значения весов связей. Далее методом последовательных приближений для каждого из разрядов вычисляют веса всех пунктов.

В сети младшего разряда веса определяют дважды. В первом случае при определении весов по формуле (54) учитывают веса $p_{\text{и}}$ исходных пунктов, во втором — веса исходных пунктов приравнивают нулю. По полученным значениям p_1 и p вычисляют для каждого пункта значения q_{Φ} и сравнивают их с выбранной ранее величиной q . Полученные значения q_{Φ} позволяют не только оценить надежность выбора коэффициента понижения точности, но и оценить искажения в сети. Наиболее слабое место в сети будет там, где величина q_{Φ} принимает наибольшее значение, а характер распределения этой величины по пунктам соответствует распределению искажений в сети.

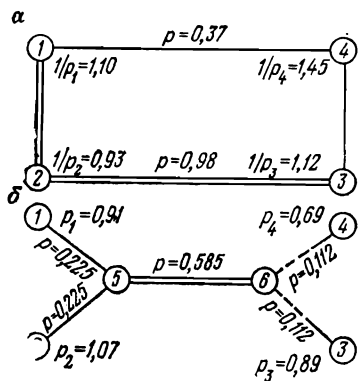


Рис. 31. Схема двухразрядного построения сети

Рассмотрим пример. В сети, изображенной на рис. 30, в качестве сети старшего разряда решено взять пункты 1, 2, 3 и 4, а коэффициент понижения точности принять равным $k=2$. Оценить надежность выбора k .

Схемы сети составим отдельно для старшего (рис. 31, а) и младшего (рис. 31, б) разрядов. В соответствии с $k=2$ вычислим и выпишем на схему веса связей между пунктами. Для сети старшего разряда (см. рис. 30) веса (см. рис. 31, а) не изменятся, а для сети младшего разряда (см. рис. 31, б) уменьшатся в k^2 раз.

Веса пунктов старшего разряда вычислим, так же, как и в § 25 (см. табл. 14). Результаты вычислений выписаны на схему рис. 31, б. Используя полученные значения весов пунктов старшего разряда, методом последовательных приближений определим веса пунктов 5 и 6 младшего разряда. Вычисления веса приведены в табл. 15. Если веса исходных пунктов 1, 2, 3 и 4 приравнять к нулю, то получим значения p_1 . Вычисление этих величин приведено в нижней части табл. 15.

Для вычисления фактической величины уровня значимости воспользуемся выражением $q_{\Phi} = 1 - \sqrt{p/p_1}$ и получим

$$q_{\Phi} = 1 - \sqrt{0,64/0,73} = 0,06, \quad q_{\Phi} = - \sqrt{0,50/0,55} = 0,05.$$

На практике эталонные значения уровня значимости принимают равными 0,10 или 0,05.

Если было принято эталонное значение $q=0,05$, то следует или увеличить k , или повысить качество сети путем увеличения веса наиболее слабого пункта 5.

§ 27. Строительные сетки

Обоснование. для разбивки осей на объектах с большим числом зданий и сооружений создают в виде строительной сетки, т. е. применяют систему квадратов и прямоугольников, вершины которых служат опорными пунктами. Стороны сетки располагают параллельно осям зданий, что существенно упрощает их разбивку.

Для промышленных объектов используют строительную сетку со сторонами от 10 до 200 м, а для городских и аэродромных площадок — до 400 м. Пункты сетки закрепляют железобетонными грунтовыми знаками в местах, позволяющих сохранить их на весь период строительства.

В некоторых случаях для удобства разбивки осей в общую сеть включают дополнительные пункты, образующие квадраты и прямоугольники со сторонами от 20 до 60 м. Места постановки дополнительных пунктов выби-

Таблица 15

Опреде- ляемые пункты	Исходные пункты		Связи между пунктами		Приближения					
	назва- ния	1/p	1/p	p	1		2		3	
					1/p	p	1/p	p	1/p	p
5	1	1,10	4,44	0,225	5,54	0,180	5,54	0,180	5,54	0,180
	2	0,93	4,44	0,225	5,37	0,186	5,37	0,186	5,37	0,186
	6	—	1,71	0,585	2,95	0,339	3,65	0,274	3,71	0,270
6			p 1/p	1,035 0,97	p 1/p	0,705 1,42	p 1/p	0,640 1,56	p 1/p	0,636 1,57
3	3	1,12	8,93	0,112	10,05	0,099	10,05	0,099	10,05	0,099
	4	1,45	8,93	0,112	10,38	0,096	10,38	0,096	10,38	0,096
	5		1,71	0,585	3,13	0,320	3,27	0,306	3,28	0,305
6			p 1/p	0,809 1,24	p 1/p	0,515 1,94	p 1/p	0,501 2,00	p 1/p	0,500 2,00

Вычисление весов p_1

5	1	0	0,225	0	0,225	0	0,225	0	0,225
	2	0	0,225	0	0,225	0	0,225	0	0,225
	6	1,71	0,585	2,95	0,339	3,50	0,286	3,53	0,283
6			p ₁ 1/p ₁	1,035 0,97	p ₁ 1/p ₁	0,789 1,27	p ₁ 1/p ₁	0,736 1,36	p ₁ 1/p ₁
	3	0	0,112	0	0,112	0	0,112	0	0,112
	4	0	0,112	0	0,112	0	0,112	0	0,112
6	5	1,71	0,585	2,98	0,336	3,07	0,326	3,07	0,326
			p ₁ 1/p ₁	0,809 1,24	p ₁ 1/p ₁	0,560 1,79	p ₁ 1/p ₁	0,550 1,82	p ₁ 1/p ₁

рают с таким расчетом, чтобы сохранить знаки на весь период разбивки осей отдельного здания или сооружения.

Максимальную длину $l_{\max}$ стороны сетки определяют по допускаемой погрешности δ_{po} разбивки осей и относительной погрешности σ : $l = \sigma_{\delta} : \rho = 1 : N$ измерений при разбивке осей с пунктов строительной сетки:

$$l_{\max} = \frac{\delta_{po}}{3} N.$$

При проектировании сетки по генеральному плану сооружения графически определяют координаты основных точек A, B, C, D и E (рис. 32), вычисляют дирекционные углы α' сторон и основного направления

$$\alpha_{AB} = \frac{\alpha'_{AB} + (\alpha'_{AC} - 90^\circ) + (\alpha'_{AD} - 180^\circ) + (\alpha'_{AE} - 270^\circ)}{4}.$$

По координатам точки A , дирекционному углу основного направления и проектным длинам сторон вычисляют координаты основных точек в государственной системе и составляют проект переноса в натуру этих точек с пунктов планового обоснования. После этого выбирают начало и вычисляют координаты всех пунктов в системе строительной сетки.

Предварительную разбивку сетки начинают с построения в натуре основных точек и корректировки прямых углов в точке A . Далее, устанавливая теодолит в точках B, C, D и E , восстанавливают перпендикуляры и определяют положение угловых пунктов сетки. По периметру $MNPQ$ шкаловыми мерными приборами откладывают с учетом всех поправок длины сторон и получают положение пунктов сетки по внешнему контуру. Невязки в вершинах по возможности устраняют перемещением точек.

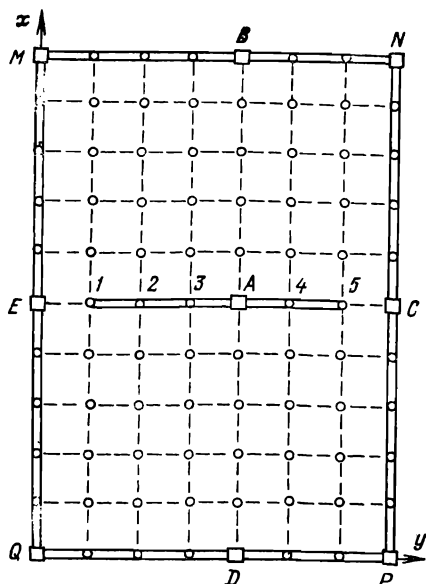


Рис. 32. Строительная сетка

Положение заполняющих пунктов сетки определяют в основном створным способом с пунктов внешнего контура и лишь при отсутствии видимости используют трудоемкие линейные измерения.

После контрольных измерений пункты закрепляют деревянными кольями. В некоторых случаях сразу устанавливают постоянные знаки в виде железобетонных монолитов с металлическими пластинами размером 30×30 см. Над пунктами с постоянными знаками обычно устанавливают специальные ограждения.

Определение координат временных знаков производят в соответствии с общими требованиями к измерениям в плановых сетях на строительных объектах (см. § 25).

Если строительная сетка создается на площади более 100 га или для возведения здания с площадью более 100 тыс. м², то измерения производят по программе сети 1 разряда. Если сетка создается для строительства здания или сооружения с площадью застройки до 10 тыс. м², то измерения производят по 3-р классу точности [2], т. е. углы измеряют со средней квадратической погрешностью $20''$, а линии — с относительной средней квадратической погрешностью $1 : 5000$.

Наиболее эффективным считают комбинированный метод определения координат временных знаков с использованием четырехугольников без диагоналей (см. рис. 32). При этом по внешнему контуру сетки $MNPQ$ светодальномером определяют длины сторон и измеряют углы на всех пунктах сети.

В заполняющих рядах, содержащих более семи треугольников, дополнительно измеряют по одной стороне. Так, в строительной сетке на рис. 32 измеряют стороны $1-2, 2-3, 3-A, A-4, 4-5$.

Уравнивание строительных сеток, созданных методом триангуляции и трилатерации, производят строгими способами. Если измерения выполнены по программе 3-р класса точности, то для уравнивания применяют приближенные способы.

Для сеток, созданных методом полигонометрии, используют раздельное уравнивание углов и координат.

При комбинированном методе определения координат с использованием четырехугольников обработку результатов измерений начи-

няют с уравнивания углов по способу Попова. Для примера рассмотрим уравнивание строительной сетки, изображенной на рис. 33.

На схему сети выписывают измеренные значения углов, подсчитывают невязки f_{β} фигур и сравнивают их с допускаемой величиной $f_{\beta \text{ доп}} = 4S_{\beta}$, где S_{β} — средняя квадратическая погрешность измерения углов.

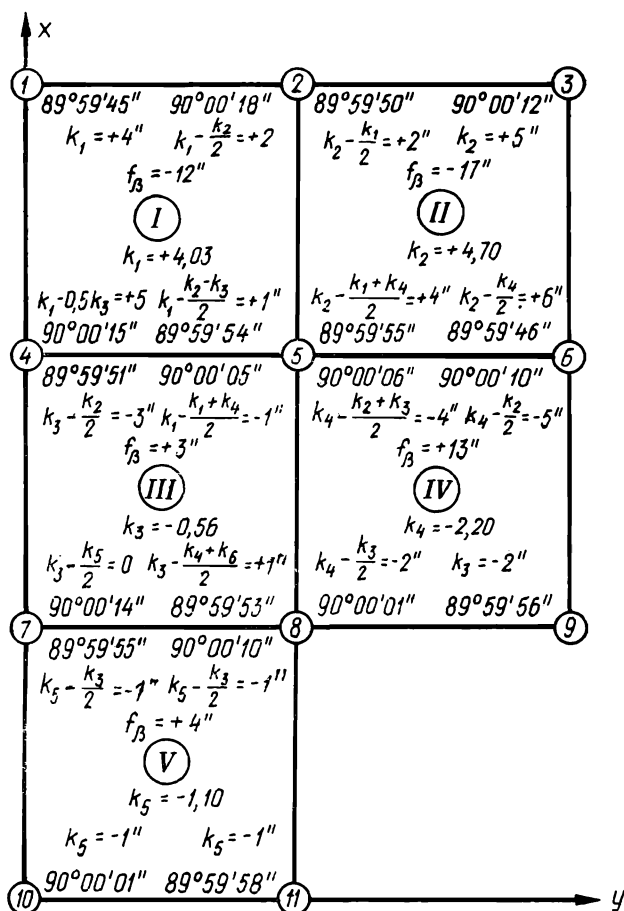


Рис. 33. Схема уравнивания углов строительной сетки

Присвоив каждой фигуре сетки свою корреляту, составляют уравнения поправок в углы и выписывают их на схему. При этом коэффициент при коррелятах данной фигуры приравнивают единице, а коэффициентам при коррелятах смежных по сторонам фигур приписывают значения 0,5 со знаком минус.

Далее приступают к составлению нормальных уравнений коррелят. Коэффициенты при квадратичных членах приравнивают четырем, а коэффициентам при коррелятах смежных фигур приписывают значение минус единица. Нормальные уравнения для данной сети имеют вид

$$\begin{aligned}
4k_1 - k_2 - k_3 &= -12'' = 0; \\
-k_1 + 4k_2 - k_4 &= -17'' = 0; \\
-k_1 + 4k_3 - k_4 - k_5 + 3'' &= 0; \\
-k_2 - k_3 + 4k_4 + 13'' &= 0; \\
-k_3 + 4k_5 + 4'' &= 0.
\end{aligned}$$

Решение нормальных уравнений приведено в табл. 16. Подставляя значения коррелятов в уравнения поправок на схеме, получают искомые поправки v в углы. Например, в фигуре III поправка угла на пункте 5 равна $v_{5III} = k_3 - 0,5k_1 - 0,5k_4 = -0,56 - 2,02 + 1,10 = -1,48'' \approx -1''$.

Контроль вычислений: сумма поправок углов в фигуре равна невязке с обратным знаком.

Т а б л и ц а 16

k_1	k_2	k_3	k_4	k_5	l	S
+4,00 -1,00	-1,00 +0,25	-1,00 +0,25			-12,00 +3,00	-10,00 +2,50
	+4,00 +3,75 -1,00	-0,25 +0,07	-1,00 -1,00 +0,27		-17,00 -20,00 +5,33	-15,00 -17,50 +4,67
		+4,00 +3,73 -1,00	-1,00 -1,07 +0,28	-1,00 -1,00 +0,27	+3,00 -1,33 +0,36	+4,00 +0,33 -0,09
			+4,00 3,43 -1,00	0,28 +0,07	+13,00 +7,28 -2,12	+15,00 +10,43 -3,05
				+4,00 +3,71 -1,00	+4,00 +4,12 -1,10	+7,00 +7,83 -2,10
				$k_5 = -1,10$		
			$k_4 = -2,20$	-0,08	-2,12	
		$k_3 = -0,56$	-0,62	-0,30	+0,36	
	$k_2 = +4,70$	-0,04	-0,59		+5,33	
$k_1 = +4,03$	+1,17	0,14			+3,00	

Контроль по суммарному уравнению: $2k_1 + 2k_2 + k_3 + 2k_4 + 3k_5 - 9,00 = +8,1 + 9,4 - 0,6 = -4,4 - 3,3 - 9,0 = +0,2$.

По уравненным значениям углов вычисляют дирекционные углы сторон сетки. Чтобы не развернуть сетку, направление оси координат совмещают не со стороной сетки, а с наиболее длинной стороной внешнего полигона. Например, ось абсцисс на рис. 33 совмещают не со стороной 10—7, а со стороной полигона 10—1. Для этого при приближенно равных длинах сторон в дирекционный угол исходной стороны, примыкающей к исходной стороне полигона, вводят поправку

$$\Delta\alpha_{0-1} = \Delta_1^* + \frac{n-1}{n} \Delta_2^* + \frac{n-2}{n} \Delta_3^* + \dots + \frac{1}{n} \Delta_n^*,$$

где Δ_i — отклонение $(i+1)$ -й стороны от продолжения i -й стороны, вычисленное по уравненным значениям углов; n — число углов поворота сторон сетки.

Для нашей сети

$$\Delta_7^* = 89^\circ 59' 54'' + 90^\circ 00' 14'' - 180^\circ = +8'';$$

$$\Delta_4^* = 89^\circ 59' 48'' + 90^\circ 00' 20'' - 180^\circ = +8'';$$

$$\Delta_{\alpha_{10-7}} = +8'' + 0,5 \cdot 8'' = +12'';$$

$$\alpha_{10-7} = 0^\circ 00' 00'' + 12'' = 0^\circ 00' 12''.$$

По полученным значениям дирекционных углов и измеренным длинам сторон вычисляют приращения координат, а невязки в приращениях по четырехугольникам выписывают на схему (рис. 34). Для однообразного оформления материалов невязки в фигурах принято подсчитывать по ходу часовой стрелки. При выписке на схему невязку по абсциссам записывают в числителе, а по ординатам — в знаменателе.

Для составления нормальных уравнений длины сторон в сотнях метров выписывают на схему и каждой фигуре присваивают корреляты k^x для абсцисс и k^y для ординат. В уравнениях коэффициенты при коррелатах данной фигуры равны суммам длин сторон фигуры, а при остальных коррелатах — длинам смежных сторон со знаком минус. Свободными членами служат невязки полигонов. Таких систем нормальных уравнений, отличающихся только свободными членами, составляют две — для абсцисс и ординат. Для нашей сетки система нормальных уравнений абсцисс имеет вид

$$\begin{array}{rcccccccl} 8,8k_1 & -2,4k_2 & & -2,0k_3 & & & & -16 & = & 0; \\ -2,4k_1 & +9,6k_2 & & & -2,4k_4 & & & +26 & = & 0; \\ -2,0k_1 & & +10,4k_3 & -3,2k_4 & -2,0k_5 & +18 & = & 0; \\ & -2,4k_2 & -3,2k_3 & +11,2k_4 & & & -10 & = & 0; \\ & & -2,0k_3 & & +11,2k_5 & -30 & = & 0. \end{array}$$

Так как уравнения обеих систем отличаются только свободными членами, то решение их производят в одной схеме. Пример решения для рассматриваемой сетки приведен в табл. 17.

Полученные значения коррелат выписывают на схему и вычисляют поправки в приращения координат. Поправка в приращение равна произведению длины стороны на разность коррелат фигур, примыкающих к данной стороне. Для Δx_{5-8} поправка равна

$$v_{5-8}^{\Delta x} = 3,2(k_3 - k_4) = 3,2(-1,06 - 0,05) = -3,6 \approx -4 \text{ мм.}$$

Для контроля вычисляют суммы поправок по каждой фигуре. Эта сумма должна равняться невязке с обратным знаком.

По уравненным значениям приращений вычисляют координаты временных знаков и производят оценку точности измерений.

Редуцирование пунктов строительной сетки производят по координатам временных знаков и проектным значениям координат.

После решения обратной геодезической задачи получают значения элементов редукации: азимут направления и длину. Для смещения центра знака

в натуре обычно составляют редукционный лист, на котором наносят временный знак, проектный центр пункта и направления на 2—3 соседних знака. При редукции временных знаков в виде кольев обычно используют планшеты из фанеры, а для совмещения точек в плане применяют специальные вилки.

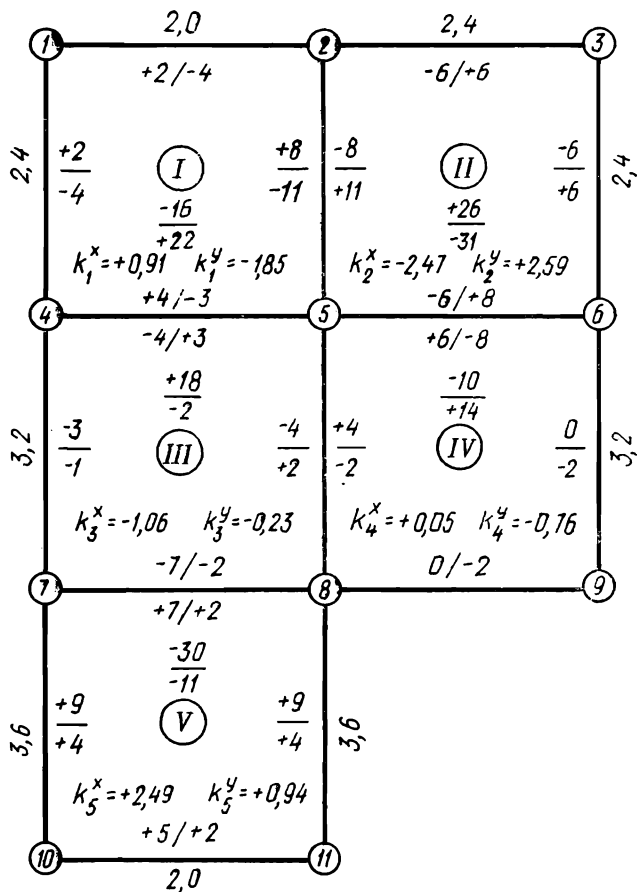


Рис. 34. Схема уравнивания приращений координат сторон строительной сетки

Редукция знаков с большими металлическими пластинами осуществляют непосредственно на верхней поверхности пластины следующим образом. На местности с помощью иголки или булавки совмещают положение центра временного знака на редукционном листе и на пластине знака. Вращением редукционного листа вокруг иголки (булавки) добиваются совмещения одного из направлений на листе с соответствующим направлением на местности, а контроль ориентирования производят по двум другим направлениям на знаки сетки или местные предметы.

По ориентированному редукционному листу переносят на пластину знака проектный центр с помощью иголки или керна. Для контроля с помощью линейки и транспортира непосредственно на пластине знака измеряют элементы редукции.

Таблица 17

k_1	k_2	k_3	k_4	k_5	l_x	l_y	S
+8,80 -1,00	-2,40 +0,27	-2,00 +0,23			-16,00 +1,82	+22,00 -2,50	+10,40 -1,18
	+9,60 +8,95 -1,00	-0,54 +0,06	-2,40 -2,40 +0,27		+26,00 +21,68 -2,42	-31,00 -25,06 +2,80	-0,20 +2,61 -0,29
		+10,40 +9,91 -1,00	-3,20 -3,34 +0,34	-2,00 -2,00 +0,20	+18,00 +15,62 -1,58	-2,00 +1,55 -0,16	+19,20 +21,75 -2,20
			+11,20 +9,41 -1,00	-0,68 +0,07	-10,00 +1,16 -0,12	+14,00 +7,77 -0,83	+9,60 +17,68 -1,87
				+11,20 +10,75 -1,00	-30,00 -26,80 +2,49	-11,00 -10,14 +0,94	-31,80 -26,22 +2,42
				$k_5^x = +2,49$	+2,49		
			$k_4^x = +0,05$	+0,17	-0,12		
		$k_3^x = -1,06$	+0,02	+0,50	-1,58		
	$k_2^x = -2,47$	-0,06	+0,01		-2,42		
$k_1^x = +0,91$	-0,67	-0,24			+1,82		

Контроль по суммарному уравнению:

$$4,4k_1 + 4,8k_2 + 3,2k_3 + 5,6k_4 + 9,2k_5 - 12,0 = +4,0 - 11,8 - 3,4 + 0,3 + 22,9 - 12,0 = 0.$$

				$k_5^y = +0,94$	+0,94
			$k_4^y = -0,76$	+0,07	-0,83
		$k_3^y = -0,23$	-0,26	+0,19	-0,16
	$k_2^y = +2,59$	-0,01	-0,20		+2,80
$k_1^y = -1,85$	+0,70	-0,05			-2,50

Контроль по суммарному уравнению:

$$4,4k_1 + 4,8k_2 + 3,2k_3 + 5,6k_4 + 9,2k_5 - 8,0 = -8,1 + 12,4 - 0,7 - 4,3 + 8,3 - 8,0 = -0,1.$$

После редуцирования пунктов строительной сетки выполняют контрольные измерения углов и сторон сетки. Число контрольных измерений и выбор мест контроля должны гарантировать правильность редуцирования всех пунктов сетки.

Глава V

ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ ПРИ ВОЗВЕДЕНИИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

§ 28. Разбивка главных и основных осей

Под разбивкой главных осей здания или сооружения понимают геодезические работы, связанные с определением и закреплением объекта на местности в соответствии со строительным проектом.

В качестве главных выбирают две взаимно перпендикулярные оси. Положение этих осей в натуре должно полностью определять положение сооружения на местности. При строительстве крупных гидротехнических сооружений в качестве главных обычно выбирают одну продольную ось, проходящую через все сооружение, и одну поперечную. При возведении гражданских зданий используют оси симметрии здания.

На объектах массовой застройки для определения положения зданий на местности производят разбивку основных (габаритных) осей, т. е. крайних осей, определяющих общие размеры и конфигурацию здания. Разбивка основных осей в большей степени обеспечивает их сохранность, упрощает выполнение некоторых видов строительных работ и позволяет более надежно осуществлять контроль при построениях в натуре.

При проектировании строительства размещение зданий и сооружений и их компоновку производят на планах крупных масштабов. Чтобы обеспечить подобие в положении объекта на проектном чертеже (плане) и на местности, необходимо при разбивке выдерживать точность плана. В зависимости от масштаба плана $1:N$ предельную погрешность δ_n определения точки на плане вычисляют по формуле $\delta_n = 0,5 \text{ мм} \cdot N$. Наиболее часто рабочие чертежи строительных объектов разрабатывают на планах масштаба $1:500$. В этом случае $\delta_n = 0,25 \text{ м}$.

Разбивку главных или основных осей производят на основе утвержденного проекта строительства. Исходными материалами служат:

генеральный план строительства или генеральный план застройки с привязкой осей к красным линиям застройки или к существующим капитальным зданиям;

планы фундаментов, планы первых и типовых этажей;

планы разбивки осей объекта (квартала);

исполнительные чертежи перенесения в натуру красных линий или построения строительной сетки;

схема планового обоснования и каталоги координат.

Построение в натуре осей осуществляют одним из следующих способов.

Разбивка осей от красных линий или линий застройки производится по проектным размерам, нанесенным проектной организацией на генеральный план участка или на разбивочный чертеж (рис. 35).

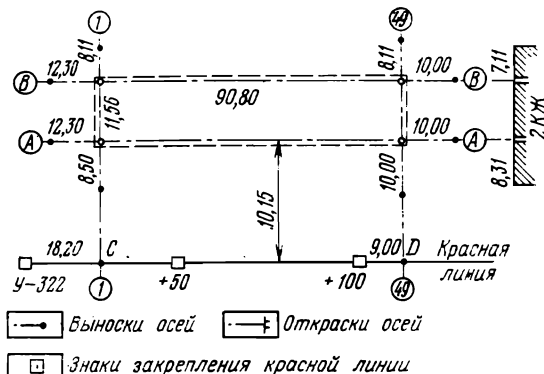
При переносе от точки красной линии $У-322$ откладывают проектный размер $18,20$ и полученную точку $С$ закрепляют временным знаком (деревянным колышком). В точке $С$ при помощи теодолита составляют перпендикуляр и промерами по направлению оси $1-1$ находят пересечения осей (углы здания) $A/1$ и $B/1$. Аналогичные построения выполняют для осей $49-49$ и получают пересечения осей $A/49$ и $B/49$. Пересечения осей в углах здания закрепляют временными знаками.

Для контроля производят измерения отрезков осей по внешнему контуру, а также диагоналей или углов в точках пересечения осей. Иногда по периметру здания прокладывают полигонометрический ход, а по невязке хода судят о точности выполнения построений. Требования к точности пост-

роений регламентируются в основном нормативными документами по детальной разбивке осей (см. § 29).

После увязки полигона створные линии осей закрепляют за пределами будущего котлована специальными выносками (металлическими штырями и монолитами). Места постановки знаков выбирают по сводной кальке участка, а сами знаки привязываются промерами к местным предметам. На стены капитальных зданий или сооружений, расположенных по створу

Рис. 35. Разбивка основных осей здания от красной линии



осей, масляной краской наносят откраски и привязывают их к характерным точкам здания.

После закрепления основных осей по проектным размерам, не использованным при разбивке, производят контрольные измерения. Расхождения в результатах контрольных измерений и проектных размеров не должны превышать графической точности плана, на котором разработаны рабочие чертежи.

Если все привязки здания на проектном чертеже осуществлены только к красной линии, то контрольные измерения производят по направлениям, которые не использовались при разбивке. Расхождения в этом случае не должны превышать для продольных осей здания 5 см, для поперечных 3 см [2]. Если непосредственные измерения от осей до красной линии невозможны, то допускаемые расхождения составляют соответственно 8 и 5 см.

После завершения работ производится сдача основных осей с составлением акта. К акту прилагается схематический чертеж, на который нанесены красные линии, оси здания с привязками к красной линии, выноски и откраски осей, а также привязки знаков к местным предметам и результаты контрольных измерений.

Разбивка осей от существующих капитальных строений производится по размерам, заданным проектной организацией.

При разбивке, откладывая одинаковые отрезки по двум торцевым сторонам опорного здания, получают базис (параллельно зданию). Построение основных осей от базиса разбивки осуществляют как от красной линии или линии застройки.

Разбивка осей с пунктов строительной сетки осуществляется промерами по сторонам сетки и построением створов (рис. 36).

По сторонам сетки I—II и II—IV откладывают отрезки, равные проектному размеру a , и по полученным точкам строят створ оси I—I. По сторонам I—II, III—IV откладывают отрезки b и получают ось B—B. Пересечение осей дает точку B/1. Аналогичным образом получают все остальные оси и точки их пересечения.

Разбивка осей с точек теодолитного хода или пунктов планового обоснования производится полярным методом.

Подготовку данных осуществляют графическим, графоаналитическим и аналитическим способами.

При графическом способе точки теодолитного хода и пункты планового обоснования наносят по координатам на генеральный план участка, а разбивочные элементы (полярные углы и расстояния) определяют графически (рис. 37). Для определения положения точки пересечения осей A/I

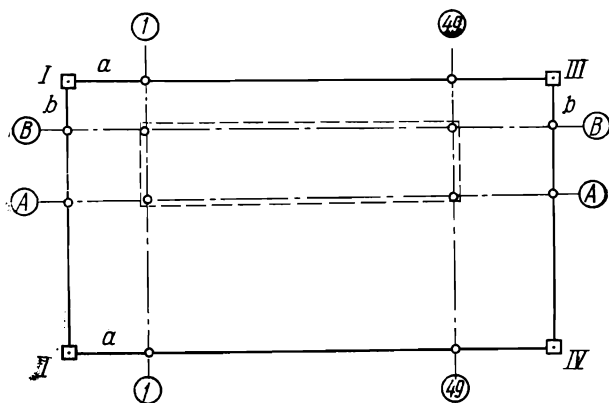


Рис. 36. Разбивка основных осей здания с пунктов строительной сетки

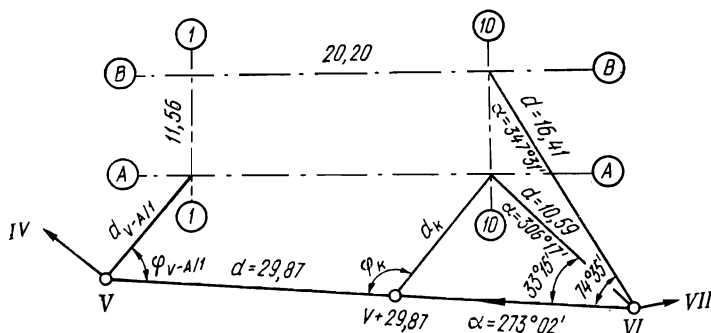


Рис. 37. Разбивка основных осей здания с точек теодолитного хода

на местности устанавливают теодолит на точку теодолитного хода V , строят от направления на точку IV полярный угол $\varphi_{V-A/I}$ и по полученному направлению откладывают полярное расстояние $d_{V-A/I}$. Аналогично получают остальные точки, производят увязку и закрепление осей. В целях исключения разворотов зданий на местность переносят не менее трех пересечений основных осей. Графический способ применяют при невысоких требованиях к точности разбивки. Например, при разбивке осей для выемки грунта из котлована.

При графоаналитическом способе подготовки данных координаты точек пересечения осей определяют графически с генерального плана застройки (участка), координаты вершин полигонометрического хода выбирают из ведомости обработки теодолитного хода, а дирекционные углы α_i направлений с точек хода на точки пересечения осей и полярные расстояния d_i вычисляют по формулам обратной геодезической задачи

$$\operatorname{tg} \alpha_i = \frac{y_{\Pi} - y_T}{x_{\Pi} - x_T} = \frac{\Delta y}{\Delta x}, \quad \alpha_i = \arctg \frac{\Delta y}{\Delta x}, \quad d_i = \frac{\Delta y}{\sin \alpha_i} = \frac{\Delta x}{\cos \alpha_i},$$

где x_t , y_t и x_n , y_n — координаты соответственно точек теодолитного хода и пересечения основных осей.

Пример решения обратной геодезической задачи приведен в табл. 18. Полярные углы вычисляют как разности дирекционных направлений. Например, угол $\varphi_{VI-A/10} = 347^\circ 37' - 273^\circ 02' = 74^\circ 35'$.

Т а б л и ц а 18

Расчет разбивочных элементов по таблицам натуральных значений		Расчет разбивочных элементов по таблицам логарифмов	
Обозначения	Величины	Обозначения	Величины
$y_{B/10}$	14 052,32	$y_{A/10}$	14 047,30
y_{IV}	14 055,84	y_{IV}	14 055,84
$\Delta y = y_{B/10} - y_{VI}$	-3,52	$\Delta y = y_{A/10} - y_{VI}$	-8,54
$\operatorname{cosec} \alpha$	4,662	$x_{A/10}$	10 793,40
$d = \Delta y \operatorname{cosec} \alpha$	16,411	x_{VI}	10 787,13
$x_{B/10}$	10 803,16	$\Delta x = x_{A/10} - x_{VI}$	+6,27
x_{VI}	10 787,13	$\lg \Delta y$	0,93146 n
$\Delta x = x_{B/10} - x_{VI}$	+16,03	$\lg \sin \alpha$	9,90639
$\sec \alpha$	1,024	$\lg d$	1,02507
$d = \Delta x \sec \alpha$	16,414	d	10,594
$\operatorname{tg} \alpha = \Delta y / \Delta x$	-0,2196	$\lg \Delta x$	0,79727
r	CЗ 12°23,1'	$\lg \cos \alpha$	9,77219
α	347°36,9'	$\lg d$	1,02508
d_{cp}	16,41 м	d	10,595
		$\lg \operatorname{tg} \alpha$	0,13419
		r	CB 53°42,6'
		α	306°17,4'
		d_{cp}	10,59 м

После завершения вычислений приступают к составлению схемы переноса в натуру. На схему наносят вершины хода, оси здания, выписывают значения полярных углов и расстояний, а также дирекционные углы всех линий.

Перенос в натуру точек пересечения осей осуществляют построением полярных углов при помощи теодолитов 30-секундной точности и отложением полярных расстояний рулетками с миллиметровыми делениями.

Для контроля правильности построений на створе стороны хода намечают вспомогательную точку, например точку $V+29,87$, и измеряют на ней полярный угол φ_b и полярное расстояние d_b . По полученным значениям вычисляют координаты и сравнивают их с проектными значениями. Такие определения производят для трех точек каждого здания. Расхождения в координатах более 8 см не допускаются.

При аналитическом способе подготовки данных координаты углов пересечения осей предварительно определяют графически, а затем рассчитывают аналитически по проектным длинам отрезков осей. При этом графические координаты одного из углов здания принимают за исходные, а дирекционный угол продольной оси здания определяется из решения обратной геодезической задачи по графическим координатам.

При расчете необходимой точности перенесения осей в натуру полярным методом по заданным значениям допускаемой погрешности δ_{po} разбивки осей и доверительной вероятности P вычисляют средние квадратические погрешности S_β построения углов и S_d отложения расстояний

$$S_d = S_B / \rho = \delta_{\rho 0} / \sqrt{2} t,$$

где t — нормативное значение стандарта распределения Релея, выбираемое из таблиц по аргументу P .

При разбивке осей со строительной сетки величину S_B в расчетах заменяют средней квадратической погрешностью $S_{\text{ств}}$ построения створа.

§ 29. Геодезические работы при возведении подземной части зданий

Перед разработкой котлована производят контрольное нивелирование поверхности земли для уточнения объемов земляных работ, детальную разбивку осей здания на обноске и разбивку контуров котлована.

При контрольном нивелировании отметки точек определяют техническим нивелированием по квадратам. Для участков с большими превышениями или завалами грунта используют тахеометрическую съемку. При существенных расхождениях между фактическими отметками и отметками в проектной документации составляют акт с указанием расхождений в объемах земляных работ.

Детальная разбивка осей предназначена для установки в проектное положение отдельных элементов конструкций и частей здания или сооружения. Оси детальной разбивки определяют взаимное положение различных конструкций, и к точности их разбивки предъявляют более жесткие требования, чем к разбивке осей, определяющих положение здания на местности.

Допускаемые значения средних квадратических погрешностей S_B измерения углов, относительных погрешностей S_l/l линейных измерений и погрешностей S_h определения превышений при детальных разбивках приведены в табл. 19, а условия, которые необходимы для достижения этих точностей, перечислены в табл. 20*.

Таблица 19

Класс точности	Характеристика зданий, сооружений и конструкций	S_B	$\frac{S_l}{l}$	S_h , мм
1-р	Металлические конструкции с фрезерованными поверхностями. Сборные железобетонные конструкции, монтируемые методом самофиксации в узлах	10	1:15 000	1
2-р	Здания выше 16 этажей или с пролетами, более 36 м и сооружения высотой более 60 м . . .	10	1:10 000	2
3-р	Здания выше 5 до 16 этажей или с пролетами более 6 до 36 м сооружения высотой более 15 до 60 м. Металлические, сборные железобетонные конструкции со сварными и болтовыми соединениями	20	1:5000	2
4-р	Здания до 5 этажей или с пролетами до 6 м и сооружения высотой до 15 м. Железобетонные монолитные конструкции в переставной и стационарной опалубке. Конструкции из бетонных блоков и кирпича. Деревянные конструкции	30	1:2000	5
5-р	Земляные сооружения	45	1:1000	10
6-р	Прочие сооружения	60	1:500	50

* Табл. 19 и 20 заимствованы из СНиП—III-2—75.

Т а б л и ц а 20

Условия измерений	Классы точности			
	2-р	3-р	4-р	5-р
I. Измерение и построение углов				
Центрирование	Оптический центрир с использованием трехштативной системы		Отвес с защитой от ветра	Отвес
Фиксация точек	Кернение на металле	Карандашом с откраской на гладкой поверхности		Карандашом
Число приемов	Два приема	Один полный прием		Прием
Тип теодолита	T5, T5K	T15	T30	Любой

II. Измерение расстояний и отложение отрезков**А. Стальными компарированными рулетками**

Допускаемое отклонение в длине: по всей длине шкалы, мм	3	5	10	10
Уложение в створ	Вешением по теодолиту		Вешением на глаз	
Натяжение прибора	Динамометром		От руки	
Температура	Термометром		Не учитывается	
Число отсчетов	Три пары	Две пары	Две пары	Одна пара
Фиксация точек	Кернение на металле	Карандашом на гладкой поверхности		Шпилькой, гвоздем
Превышения	Определяют по нивелиру		Определяют на глаз	
Тип рулетки	РК-50 и РГ-30		Рулетки и ленты	

Условия измерений	Классы точности					
	2-р	3-р	4-р	5-р		
Б. Светодальномерами и оптическими дальномерами						
Число приемов при регистрации светового потока:						
фотоэлектрическим способом	4	3	—	—		
визуально	8	6	—	—		
Отклонение числа длин волн для 2l от истинной величины	0,3 единицы		—	—		
Температура	Термометром		—	—		
Атмосферное давление	Барометром	Барометром в горных р-нах	—	—		
Домер остатка	Инварной лентой или рулеткой РГ-30	Рулеткой РГ-30	Металлической рулеткой или лентой			
Типы дальномеров	КДГ-3	СТ-66	МСД-1И	ОГД	ДН-04	ДНР-06
Диапазон измерений: по углу наклона, градус по расстоянию, м	— 1— 2000	— 75— 2500	±22 1—300	±30 35— 400	±30 10— 125	±20 20— 200

III. Измерение превышений

Неравенство плеч, м: на станции в ходе (секции)	2 5	2 5	7 12	10 20
Высота визирного луча над препятствием, м	0,5	0,5	0,3	Любая
Ошибки метровых интервалов рейки, мм	0,5	0,5	1,0	1,0

A_1, B_1, B_2 и A_2 . Для контроля измеряют углы и стороны образованного полигона.

Габаритные оси путем построения створов коллимационной плоскостью теодолита со знаков *I, II, III, IV, V, VI, VII, VIII* переносят на обноску и закрепляют гвоздями и откраской. Для обеспечения сохранности разбивки оси дополнительно закрепляют под обноской металлическими штырями.

Для контроля переноса расстояния между габаритными осями измеряют непосредственно по верхнему краю обноски в прямом и обратном направлениях. Одновременно производят детальную разбивку осей, т. е. отложением проектных отрезков определяют положение осей $B-B, 1-1, 3-3, 5-5, 6-6, 8-8$, а затем закрепляют их.

После завершения работ по детальную разбивку осей производят построение верхней бровки и основания откосов котлована. Из рабочих чертежей строительного проекта выбирают все необходимые размеры и составляют подробную схему разбивки с привязкой контуров к осям зданий. По проектным размерам получают на обноске створы $a_{b1}-a_{b2}, b_{b1}-b_{b2}$ верхней бровки и $a_{o1}-a_{o2}, b_{o1}-b_{o2}$ основания откосов в продольном направлении. Аналогично получают контуры в поперечном направлении. Построением створов на глаз и промерами рулеткой или землемерной лентой определяют и закрепляют контуры верхней бровки и основания откосов котлована деревянными колышками через 5—10 м и в углах поворота.

Контроль геометрических параметров котлована в процессе его разработки осуществляют построением створов и линейными промерами от разбивочных осей, а высотное положение точек определяют геометрическим нивелированием со строительными реперов объекта.

После механизированной разработки котлована производят рабочую (предварительную) съемку и устанавливают колья-маяки для зачистки дна и откосов котлована.

После зачистки производят исполнительную съемку котлована. На схеме исполнительной съемки показывают контуры верхней бровки и основания откосов, выписывают отклонения характерных точек котлована от проектных значений в плане и по высоте.

Одновременно определяют объемы земляных масс. Для подсчета контур котлована разделяют на квадраты со сторонами a . Высоту h ребер призм вычисляют по результатам контрольного нивелирования дневной поверхности и исполнительной съемки котлована, а объем призм $v_{пр}$ — по формуле

$$v_{пр} = 0,25a^2 (h_1 + h_2 + h_3 + h_4).$$

Для подсчета объемов призм с высотой $h_k = h_1 + h_2$ клиновидной части и высотой h пирамиды призмы используют выражение

$$v_{пр} = \frac{h_k^2 (h_k - 3h)}{6 (h_k - 2h)} a^2.$$

Общий объем земляных масс определяют как сумму объемов призм.

После приемки основания приступают к передаче отметок осей в котлован.

В котловане устанавливают не менее двух рабочих реперов. Отметки реперов получают продолжением замкнутого хода геометрического нивелирования, прокладываемого по въездам в котлован.

Для глубоких котлованов передачу осей производят на обноску, установленную в котловане на высоте 1,0—1,5 м над его основанием. В этом случае обноску на поверхности земли не устанавливают, а передачу осей на обноску в котловане производят со знаков закрепления основных осей так же, как на обноску на поверхности земли.

При обычной глубине передачу осей в котлован осуществляют построением створов по откраскам на обноске непосредственно при выполнении различных работ в котловане.

Для ленточных фундаментов промерами от осей по обноске получают створы, проходящие по граням конструкций фундамента. Точки створов

закрепляют на обноске, а сам створ в процессе выполнения работ получают при помощи струн (лески, проволоки и т. п.) и нитяного отвеса.

При разбивке свайного поля ось ряда закрепляют на обноске, а места погружения свай получают промерами рулеткой вдоль струн. Для разбивки кустов свай предварительно находят центры кустов, а места погружения свай определяют промерами рулеткой в направлениях осей зданий.

Установку опалубки для устройства фундаментной плиты или монолитного ростверка производят по створам, полученным натяжением струн на обноске и снесением точек в котлован нитяным отвесом. Точки створов на

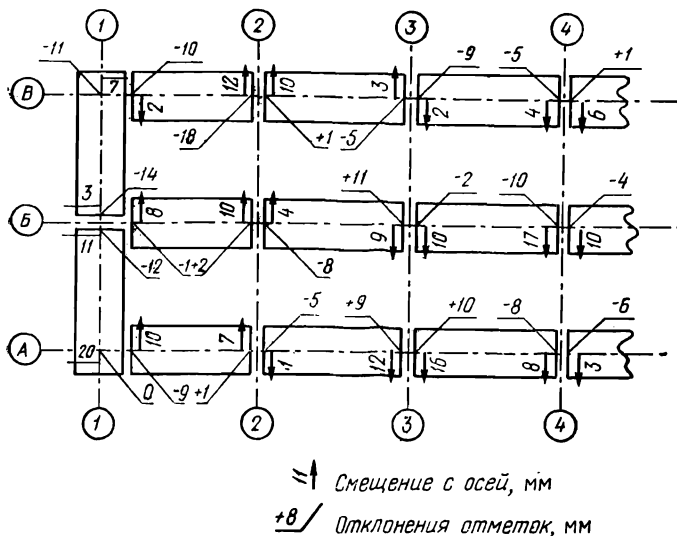


Рис. 39. Схема исполнительной съемки конструкций фундамента

обноске получают заранее путем отложения проектных размеров от осей детальной разбивки. Перед началом бетонных работ производят рабочую исполнительную съемку внутренних граней опалубки, а отклонения от проектного положения наносят на рабочую схему. Положение верха плиты или ростверка определяют геометрическим нивелированием от рабочих реперов в котловане и закрепляют гвоздями и откраской на верхней части опалубки.

После завершения бетонных работ или установки нижних блоков фундамента производят детальную разбивку осей под монтаж конструкций подземной части здания и исполнительную съемку нижней части фундамента (плиты, ростверка или сборных блоков).

Разбивку осей под монтаж конструкций производят в соответствии с точностью, приведенной в табл. 19 и 20. В качестве обоснования для разбивки используют оси на обноске. Закрепление осей и их параллелей производят откраской на бетоне или кернами на металлических пластинах, прикрепленных к нижним блокам фундамента.

Плановую исполнительную съемку фундаментной плиты, ростверка или нижних блоков фундамента осуществляют промерами от откраски осей до боковых граней конструкций. Высотную съемку производят техническим нивелированием с рабочими реперами в котловане.

На схеме исполнительной съемки показывают оси здания, конструкции фундамента и их отклонения в плане и по высоте. Пример оформления схемы дан на рис. 39.

Перед установкой фундаментных блоков верхнего ряда (стаканов, опорных плит и т. п.) производят контроль геометрических параметров монтируемых элементов и разметку установочных рисков.

Перечень контролируемых параметров, объем и точность измерений указывают в проекте производства работ или в техническом задании на выполнение работ.

Контролю обычно подвергают размеры сборных элементов, которые существенно влияют на монтаж или эксплуатационные качества сооружения. В зависимости от значимости параметров контроль может быть сплошным или выборочным. Измерения производят стальными мерными приборами с миллиметровыми делениями. Для типовых конструкций средняя квадратическая погрешность измерений обычно равна $\sigma_k = 0,15 \Delta_{изг}$, где $\Delta_{изг}$ — допуск на изготовление.

Установочные риски чаще всего определяют положение геометрических осей конструкции и наносятся в местах сопряжения данного элемента с ранее смонтированными конструкциями. Точность разметки зависит от точности сопряжений конструкций и регламентируется техническими условиями, техническим заданием или проектом производства геодезических работ. Для нанесения рисков используют металлические мерные приборы с миллиметровыми делениями или специальные приспособления (раздвижные уголки, шаблоны и т. п.). При высоком уровне строительного производства разметка сборных элементов производится на заводе-изготовителе. Закрепление установочных рисков производят в зависимости от точности монтажа. Наиболее часто для закрепления рисков используют карандаш и окраску на поверхности детали. При высоких требованиях к точности риски закрепляют насечками на металлических пластинах.

Монтаж фундаментных блоков верхнего ряда производят путем совмещения установочных рисков с откраской осей или параллелей на блоках нижнего ряда. Для установки в отвесное положение блоков высотой до 4 м используют специальные рейки-отвесы, а для более высоких конструкций — теодолит.

После монтажа и предварительного закрепления блоков производят контрольные измерения и осуществляют корректировку положения (выверку) конструкций в плане и по высоте. Высотное положение опорных плоскостей фундамента выравнивают подкладкой металлических пластин или подливкой бетонного раствора.

Работу по сооружению фундамента завершают исполнительной съемкой конструкций и составлением схемы с указанием отклонений от проектного положения.

Геодезические работы при возведении остальных конструкций подземной части здания (колонн, перекрытий, стен и т. п.) производят как и при возведении наземной части здания. Подробно эти виды работ рассмотрены в следующих параграфах.

§ 30. Плановые сети на монтажных горизонтах многоэтажных зданий

Плановые сети обеспечивают совпадение по вертикали одноименных осей на различных горизонтах зданий и служат обоснованием для их дальнейшей разбивки.

Построение осей осуществляют сначала на исходном горизонте разбивки, затем проецируют исходные точки на монтажные горизонты и далее осуществляют построение сетей на монтажных горизонтах.

А. Опорная сеть на исходном горизонте

Под исходным горизонтом понимают плоскость построения опорной сети, точки которой в последующем проецируют на монтажные горизонты и используют в качестве основ для построения сети. Исходный горизонт разбивки чаще всего располагают на перекрытиях подземной части здания.

В некоторых случаях пункты опорной сети размещают в подвальном помещении.

При построении опорной сети на перекрытиях подземной части в положении осей часто производят корректировку, позволяющую наилучшим образом расположить оси относительно уже существующих конструкций подвала. Общую величину сдвига по направлениям продольных и поперечных осей вычисляют как среднее значение отклонений конструкций в направлении данной оси с противоположным знаком. Отклонения конструкций выбирают из схемы исполнительной съемки. Если по продольным осям имеются существенные отклонения конструкций с противоположными знаками около торцевых стен, то производят разворот осей.

Плановую сеть создают в виде правильных фигур, повторяющих общую конфигурацию здания. Стороны сети располагают параллельно осям здания

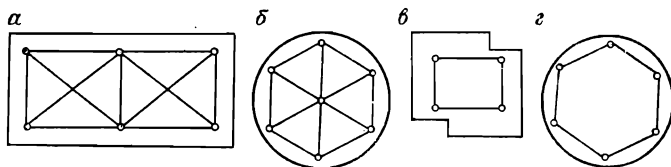


Рис. 40. Виды сетей, применяемых на монтажных горизонтах зданий

таким образом, чтобы существенно упростить детальную разбивку осей и проецирование исходных точек на монтажные горизонты.

Выбор мест постановки знаков производят на плане типового этажа с учетом разрезов здания. При разработке проекта необходимо предусмотреть возможность выполнения контрольных измерений между пунктами на весь период строительства, предельного упрощения проецирования исходных точек (желательно с использованием существующих отверстий в перекрытиях) и построения сетей на монтажных горизонтах.

Для построения сети наиболее часто используют прямоугольники или центральные системы. Центральные системы применяют для зданий округлой конфигурации. Наиболее распространенные виды сети приведены на рис. 40.

Построение опорной сети начинают с разбивки мест постановки знаков, затем выполняют измерения в сети, редуцирование точек плановой сети и контрольные измерения.

Разбивку мест постановки выполняют линейными измерениями и построением створов с обноски здания или со знаков закрепления основных осей. Для исходных пунктов обычно устанавливают постоянные знаки в виде металлических пластин, приваренных к арматуре и забетонированных в тело конструкции. Размеры пластин выбираются с учетом необходимости редуцирования. В подземной части зданий над центрами устанавливают стационарный столик (тур). Часто центры знаков закрепляют дюбелями или кернами на закладных деталях конструкций. Остальные пункты сети закрепляют временными знаками (открасками, прочерчиваниями), обеспечивающими сохранность только на период выполнения работ на данном горизонте.

Измерения в сети производят методами полигонометрии и трилатерации. Для вытянутых прямоугольников, центральных систем и четырехугольников с диагоналями (рис. 40, а и б) применяют трилатерацию. Полигонометрию применяют для сетей в виде прямоугольников с приблизительно равными сторонами и для вписанных многоугольников (рис. 40, в, г).

Требования к точности измерений определяют на основе расчетов сети. При этом оценку искажений в сети производят одним из строгих способов, описанных в § 25. Одновременно выбирают не менее трех исходных точек для проецирования на монтажные горизонты и методами, изложенными в § 26, находят коэффициент понижения точности при переходе от опорной сети

Таблица 21

А. Линейные измерения				
Средняя квадратическая погрешность	1:30 000	1:20 000	1:15 000	1:10 000
Мерные приборы	Инварная лента	Стальная рулетка с миллиметровыми делениями		
Компарирование	Компаратор МИИГАиК $S \leq 0,2$ мм	Сравнение с длиной нормальной линейки 2 приема $S_K = 0,40$ мм	1 прием $S_K = 0,50$ мм	
Уложение прибора в створ	Теодолит с $\delta = 1$ см		На глаз с $\delta = 5$ см	
Натяжение прибора $P = 10$ кг	Гири $S_p = 0,3$ кг	Динамометр с $S_p = 0,5$ кг		
Превышение концов мерного прибора	Техническое нивелирование при $h < 1$ м и без учета превышений до 10 см		Ватерпасовка или без учета превышения до 20 см	
Температурные влияния: измерение температуры определение коэффициентов линейного расширения	t_n мерного прибора и t_K конструкций термометром		Без учета температуры	
	α_n мерного прибора α_K конструкции	С учетом табличной величины среднего значения $\alpha = 0,5 (\alpha_n + \alpha_K)$		Без учета коэффициентов α_n и α_K
— введение поправок	По полной формуле	По сокращенной формуле		Приведение поправок делений к температуре t_2 эксплуатации здания

Продолжение табл. 21

Средняя квадратическая погрешность	1:30 000	1:20 000	1:15 000	1:10 000
Отсчеты по шкалам или делениям рулетки (ход прямо и обратно)	3 пары отсчетов (2 сдвига) $S_{отсч}=0,20$ мм	2 пары отсчетов (1 сдвиг) $S_{отсч}=0,25$ мм	Одна пара отсчетов (без сдвига) $S_{отсч}=0,35$ мм	
Метод фиксации точек	Насечки скальпелем на металле $S_{\Phi}=0,30$ мм	Кернение на металле $S_{\Phi}=0,50$ мм	Карандаш на гладкой поверхности $S_{\Phi}=0,8$ мм	Карандаш на грубой поверхности $S_{\Phi}=1,2$ мм
Допускаемая невязка	1:15 000	1:10 000	1:8000	1:5000
Б. Угловые измерения				
Теодолиты типа Т30	—	2 приема	1 прием	1 прием
Теодолиты типа Т20	2 приема	1 прием	1 прием	—
Теодолиты типа Т15	1 прием	1 прием	—	—
Центрирование теодолита и визирных точек	Оптический центр с $S_{\text{ц}}=0,5$ мм			
	Центрирование производят один раз			
	Центрирование производят заново в каждом			
	полуприеме	приеме		
Допускаемые невязки	$10''\sqrt{n}$	$15''\sqrt{n}$	$20''\sqrt{n}$	$30''\sqrt{n}$

к сетям на монтажных горизонтах. Пример расчета точности и выбора коэффициента понижения точности дан в конце параграфа.

Для выбора условий измерений, позволяющих достигнуть необходимую точность линейных и угловых измерений и построений на конструкциях зданий, используют данные, приведенные в табл. 21.

В результате линейных измерений на конструкциях зданий вводят поправки за компарирование, превышение концов мерного прибора и за температуру.

Для сокращения объема вычислений в поле поправки делений мерного прибора приводят к температуре t_3 эксплуатации здания.

Поправки за превышение h концов мерного прибора вычисляют по формуле

$$\Delta l_h = h^2 / 2l.$$

Учет влияния температуры t_n мерного прибора и t_k конструкций при измерениях в сети проводят по полной

$$\Delta l_t = [\alpha_n (t_n - t_3) - \alpha_k (t_k - t_3)] l \quad (60)$$

или сокращенной формуле

$$\Delta l_t = \alpha \Delta t l, \quad (61)$$

где α_k , α_n — коэффициенты линейного расширения конструкций и мерного прибора;

$$\alpha = 0,5 (\alpha_k + \alpha_n); \quad \Delta t = t_k - t_n.$$

При построениях проектных отрезков поправки вводят с противоположными знаками.

Уравнивание сети производят одним из строгих способов. Так как действительная форма сети отличается от проектной незначительно, то коэффициенты уравниваний поправок и нормальных уравнений для сетей на всех горизонтах разбивки практически не изменяются. Это позволяет использовать при уравнивании решение нормальных уравнений, полученное при расчете точности. Для этого достаточно добавить в уже имеющейся схеме Гаусса дополнительный столбец свободных членов, полученных по результатам измерений на данном горизонте здания. Это значительно сокращает время обработки материалов и тем самым сокращает простои при строительстве.

Пример уравнивания сети с использованием результатов расчета точности дан в табл. 25.

Редуцирование пунктов опорной сети производят по фактическим и проектным значениям координат путем использования редуциционных листов. Ориентирование редуциционных листов, в отличие от строительной сетки, осуществляют при помощи струны или теодолита, установленного в 3—5 м по створу от редуцируемого пункта. Для контроля непосредственно на пластине знака с помощью транспортира и линейки измеряют угловой и линейный элементы редукиций.

Постоянные центры знаков надежно закрепляют и открашивают яркими красками. Обозначения постоянных и временных центров должны существенно отличаться друг от друга.

Для повышения сохранности осей и удобства разбивочных работ створы сторон сети закрепляют откраской на соседних зданиях.

После окончательного закрепления пунктов производят контрольные измерения в сети. Обычно измеряют расстояния между исходными пунктами и длины сторон между пунктами, получившими смещения при редуцировании. В особо ответственных случаях производят измерения всей сети повторно. Допустимые отклонения от проектных значений вычисляют по формулам $\delta_l = 2l/T$ и $\delta_\beta = 2S_\beta$, где T — относительная погрешность измерения линий, S_β — средняя квадратическая погрешность измерения углов.

Б. Проецирование исходных точек опорной сети и перенос осей на монтажные горизонты здания

Проецирование точек и перенос осей производят для обеспечения совмещения осей по вертикали на всех горизонтах зданий. Этот вид работ осуществляют построением отвесной линии приборами вертикального проецирования, коллимационной плоскостью теодолита или отвесом.

Требования к точности выполнения работ, предъявляемые к обоснованию по классам разбивочных работ, приведены в табл. 22, а условия для обеспечения этих точностей при возведении типовых зданий перечислены в табл. 23.

Т а б л и ц а 22

Высота проецирования, м	Допускаемые отклонения применительно к классам точности разбивки осей, мм					
	1-р	2-р	3-р	4-р	5-р	6-р
До 16	0,5	1	2	3	5	8
От 16 до 25	1	2	3	5	8	13
От 25 до 40	2	3	5	8	13	20
От 40 до 63	3	5	8	13	20	32
От 63 до 100	5	8	13	20	32	50
От 100 до 160	8	13	20	32	50	—

Т а б л и ц а 23

Условие измерений	Обоснование для классов точности разбивки осей			
	2-р	3-р	4-р	5-р
Центрирование прибора над точкой	Оптический центрир		Отвес с противовеетровой защитой	Отвес
Фиксация проецируемой точки	Отсчеты по палетке с делениями 5 мм 10 мм		Карандашом на гладкой поверхности	Карандашом
Расстояние от визирного луча до строительной конструкции	10 см	5 см	—	—
Число приемов	2	1	2	1
Типы приборов	ПЗЛ		ТЗО, отвес при высоте до 16 м	

При проецировании точек с помощью отвеса ослабление колебаний струны достигается погружением груза в вязкую жидкость.

При проецировании осей коллимационной плоскостью теодолита углы наклона визирной оси более 45° не допускаются.

При проецировании точек приборами вертикального проецирования выбор исходных точек обусловлен наличием мест для отверстий, обеспечивающих видимость с исходного на все монтажные горизонты; соблюдением «жесткости» плановых сетей на монтажных горизонтах; возможностью построения сети на монтажном горизонте; необходимостью проведения контрольных измерений на исходном и монтажном горизонтах.

Должно быть не менее трех исходных точек. Наиболее удачным считается вариант, когда две исходные точки располагаются по краям и одна в середине сети.

Для контроля проецирования на монтажном горизонте измеряют расстояния между габаритными осями при переносе осей коллимационной плоскостью теодолита и расстояния между исходными точками при проецировании точек приборами вертикального проецирования. Отклонения результатов измерений от проектных значений не должны превышать величины $\delta_i = 2l/T$, где T — знаменатель средней квадратической относительной погрешности измерения линий в опорной сети. При нарушении этого условия проводят контрольные измерения на исходном горизонте и при необходимости повторяют проецирование исходных точек.

В. Плановая сеть на монтажных горизонтах

Построение плановой сети на монтажном горизонте производят так же, как и опорной сети на исходном горизонте.

Разбивку мест установки выполняют линейными промерами и построением створов с исходных точек.

Измерения в сети производят по программе, которая разрядом (классом) ниже программы измерений на исходном горизонте разбивки. При этом назначение класса точности производят на основе расчетов погрешностей, а выбор условий измерений согласуют с требованиями точности, приведенными в табл. 22.

Для уравнивания сети в схеме Гаусса, полученной при расчетах точности, добавляют столбец свободных членов (7) и сумм (8) (табл. 25).

Расчеты необходимой точности построения плановых сетей осуществляют в три этапа.

На первом этапе расчета выявляют требования к точности разбивки осей и устанавливают зависимости между допускаемыми отклонениями $\delta_{рo}$ разбивки осей и допускаемыми искажениями δ_i различных элементов плановой сети на монтажном горизонте. Примерами таких зависимостей могут служить выражения вида (42). Полученные зависимости обычно представляют в виде неравенств

$$\delta_i < \varphi(\delta_{рo}). \quad (62)$$

При расчетах точности сложных и уникальных сооружений учитывают некоторые дополнительные требования к сети, связанные с геометрией сооружения. Так, при создании плановых сетей на сооружениях кольцевого типа учитывают величину допускаемых радиальных смещений конструкций. Значения допускаемых отклонений конструкций в этом случае выбирают из СНиП или технического задания на производство работ, разработанного проектной организацией, а для получения неравенств вида (42) используют формулы (43)—(51). В некоторых случаях допускаемое искажение δ_α углов в сети приходится определять по известному значению допускаемого отклонения δ_d разности длин диагоналей d . В этом случае для фигуры ромбического вида используют выражение

$$\delta_\alpha = \frac{dp}{2L_1L_2} \delta_d, \quad (63)$$

где L_1, L_2 — длины сторон сети.

Если искажение углов ограничено в основном допускаемой погрешностью $\delta_{\text{ро}}$ разбивки осей, то допускаемую величину разности диагоналей определяют по формуле

$$\delta_d = \frac{2L_1L_2}{l_{\text{max}}d} \delta_{\text{ро}}. \quad (64)$$

где l_{max} — максимальная длина отрезка осей при разбивке.

На втором этапе расчета полученные неравенства объединяют в систему вида (42), находят значение погрешности μ единицы веса и рассчитывают необходимую точность измерений в сети. Ход решения этой задачи подробно изложен в § 25.

На третьем этапе расчетов по требованиям к точности совмещения по вертикали наиболее ответственных конструкций определяют точность проецирования исходных точек и коэффициент понижения точности при переходе от сети на исходном к сети на монтажных горизонтах.

Допускаемую величину $\delta_{\text{пр}}$ или стандарта $\sigma_{\text{пр}}$ погрешности проецирования определяют по допускаемому значению δ_c среднего смещения пунктов на монтажном горизонте

$$\delta_{\text{пр}} = \delta_c \sqrt{n-1} \quad \text{или} \quad \sigma_{\text{пр}} = \delta_{\text{пр}}/3, \quad (65)$$

где n — число исходных пунктов.

Значение δ_c получают как часть от допускаемой величины среднего смещения несущих конструкций на монтажном горизонте. Обе эти величины для конкретных зданий назначают проектной организацией и должны быть записаны в техническом задании на производство геодезических работ.

По полученному значению $\sigma_{\text{пр}}$ производят расчет элементарных погрешностей для наибольшей высоты здания, выбирают инструменты и методы выполнения работ.

Коэффициент k понижения точности определяют по формуле

$$k = \sigma_L / \sigma_{L_0},$$

где σ_L — стандарт погрешности стороны сети между исходными пунктами, определенный исходя из расчетов точности сети на монтажном горизонте; σ_{L_0} — стандарт погрешности той же стороны на монтажном горизонте, принятой за исходную для построения сети на монтажном горизонте.

Значение σ_{L_0} находят исходя из выбранного уровня значимости q так же, как для многозарядных сетей (см. § 26).

По величине σ_{L_0} находят стандарт $\sigma_{L_{\text{н}}}$ погрешности исходной стороны на исходном горизонте разбивки

$$\sigma_{L_{\text{н}}}^2 = \sigma_{L_0}^2 - \sigma_{\text{пр}}^2. \quad (66)$$

Величина $\sigma_{L_{\text{н}}}^2$ позволяет определить необходимую точность измерений в опорной сети на исходном горизонте разбивки.

Рассмотрим пример расчета точности построения плановой сети трилатерации (рис. 41) для 25-этажного здания ($H \approx 75$ м) и проецирования исходных точек I, VI, V , если искажения поперечных сторон сети не должны пре-

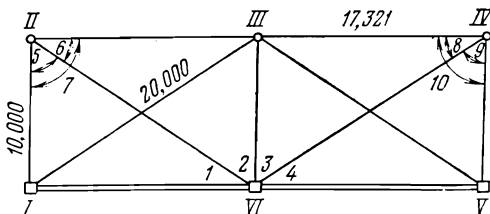


Рис. 41. Схема сети трилатерации

вышать $\delta_{\text{поп}}=8,5$ мм, продольных — $\delta_{\text{пр}}=10$ мм, а искажения в сети регламентируются значением $\delta_{\text{ро}}=5$ мм при $l_{\text{max}}=10$ м.

Для решения задачи запишем условные уравнения в сети

$$\beta_1 + \beta_2 + \beta_3 + \beta_4 - 180^\circ = 0; \quad \beta_7 - \beta_5 - \beta_6 = 0; \quad \beta_{10} - \beta_8 - \beta_9 = 0.$$

Выражая поправки в углы через поправки сторон по формулам (52), получим

$$+11,9v_{I \text{ II}} + 20,6v_{II \text{ III}} - 17,9v_{II \text{ VI}} + 20,6v_{III \text{ IV}} + 11,9v_{IV \text{ V}} - 17,9v_{IV \text{ VI}} + \\ + W_1 = 0;$$

$$-11,9v_{I \text{ II}} + 23,8v_{I \text{ III}} - 20,6v_{I \text{ VI}} - 13,7v_{II \text{ III}} + 17,9v_{II \text{ VI}} - 11,9v_{III \text{ VI}} + \\ + W_2 = 0;$$

$$-13,7v_{III \text{ IV}} + 23,8v_{III \text{ V}} - 11,9v_{III \text{ VI}} - 11,9v_{IV \text{ V}} + 17,9v_{IV \text{ VI}} - 20,6v_{V \text{ VI}} + \\ + W_3 = 0.$$

Так как стороны $I-VI$ и $VI-V$ являются твердыми, то $v_{I \text{ VI}} = v_{VI \text{ V}} = 0$.

Для определения искажений продольной $I-II$ и поперечной $II-III$ сторон сети составим функции $F' = v_{I \text{ II}}$ и $F'' = v_{II \text{ III}}$, а для искажения углов используем разность диагоналей $F''' = v_{III \text{ V}} - v_{IV \text{ VI}}$.

Результаты составления и решения окаймленной системы уравнений с определением обратных весов, а также решение системы для одного из монтажных горизонтов приведено в табл. 24 и 25.

Т а б л и ц а 24

Поправки	$\pi=L/10$	a	b	c	f'	f''	f'''
$v_{I \text{ II}}$	1,00	+11,9	-11,9	—	1,00	—	—
$v_{I \text{ III}}$	2,00	—	+23,8	—	—	—	—
$v_{II \text{ III}}$	1,73	20,6	-13,7	—	—	1,00	—
$v_{II \text{ VI}}$	2,00	-17,6	+17,9	—	—	—	—
$v_{III \text{ IV}}$	1,73	20,6	—	-13,7	—	—	—
$v_{III \text{ II}}$	2,00	—	—	+23,8	—	—	+1,00
$v_{III \text{ IV}}$	1,00	—	-11,9	-11,9	—	—	—
$v_{IV \text{ V}}$	1,00	+11,9	—	-11,9	—	—	—
$v_{IV \text{ VI}}$	2,00	-17,9	—	+17,9	—	—	-1,00
a		+3033	-1271	-1271	+11,90	+35,64	+35,80
b			+2382	+142	-11,90	-23,70	—
c				+2382	—	—	+47,60
					+1,00	+1,73	+4,00

Для расчетов точности допускаемое расхождение в длинах диагоналей вычислим по формуле (64).

Таблица 25

λ_1	λ_2	λ_3	f'	f''	f'''	W	S
+3033 -1,000	-1271 +0,419	-1271 +0,419	+11,90 +39·10 ⁻⁴	+35,64 -118·10 ⁻⁴	+35,80 -118·10 ⁻⁴	-151'' +4,98·10 ⁻²	+340 -11,21·10 ⁻²
	+2382 +1849 -1,000	+142 -391 +0,211	-11,90 -6,91 +37·10 ⁻⁴	-23,70 -8,77 +47·10 ⁻⁴	— +15,00 -81·10 ⁻⁴	-105 -168 +9,09·10 ⁻²	+1148 +1290 -69,77·10 ⁻²
		+2382 +1766 -1,00	— +3,53 -20·10 ⁻⁴	— +13,08 -74·10 ⁻⁴	+47,60 +65,76 -372·10 ⁻⁴	-90 -189 +10,7·10 ⁻²	+1163 +1577 -89,3·10 ⁻²
		$1/P_F$	+1,00 0,92	+1,73 -1,17	+4,00 1,01		
		$\lambda_1=0,107$				+10,70·10 ⁻²	
		+2,25·10 ⁻²				+9,09·10 ⁻²	
$\lambda_3=0,142$	4,79·10 ⁻²	+4,47·10 ⁻²				+4,98·10 ⁻²	

Контроль по суммарному уравнению

$$491\lambda_1 + 1253\lambda_2 + 1253\lambda_3 - 346 = 0;$$

$$70 + 142 + 134 - 346 = 0;$$

$$\bar{v}_d = \frac{2 \cdot 10 \cdot 10^3 \cdot 17,3 \cdot 10^3}{10 \cdot 10^3 \cdot 20 \cdot 10^3} \cdot 5 \text{ мм} = 8,7 \text{ мм.}$$

Используя допустимые величины искажений и обратные веса функций, составим систему неравенств вида (42) при $t=3$

$$\mu' < \frac{8,5}{3 \sqrt{0,92}} = 2,95 \text{ мм};$$

$$\mu'' < \frac{10}{3 \sqrt{1,17}} = 3,08 \text{ мм};$$

$$\mu''' < \frac{8,7}{3 \sqrt{1,01}} = 2,84 \text{ мм}$$

и вычислим относительные погрешности сторон сети $1/T_{I-II}=2,95/10\,000=1/3400$, $1/T_{II-III}=3,08/17321=1/5600$ и $1/T_{III-IV}=2,84/20\,000=1/7000$. Полученные результаты показывают, что наиболее жесткие требования предъявляются к измерению диагоналей четырехугольников.

При определении необходимой точности исходных сторон к условным уравнениям поправок добавим $BV=-20,6 v_I - 20,6 v_{VI}$. Для решения выберем два значения коэффициента понижения точности $k'=2$ и $k''=3$, вычислим обратные веса $\pi'=L/40=17,32/40=0,433$, $\pi''=L/90=17,32/90=0,192$ и произведения вида $[\pi_2 b f]$, $[\pi_2 c f]$ для поправок v_I и v_{VI} . В этом случае матрицы N_2 будут равны

$$N_2' = \begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 \\ & 179 & 0 \\ & & 179 \end{vmatrix}, \quad N_2'' = \begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 \\ & 81 & 0 \\ & & 81 \end{vmatrix}.$$

Решая в схеме Гаусса уравнения с окаймленными матрицами $N=N_1+N_2$, получим обратный вес наиболее ответственной функции F''' . Результаты решения приведены в табл. 26.

Допускаемую величину обратного веса при $q=0,05$ и $1/P_{F'''}=1,01$ вычислим по формуле (56)

$$1/P_{F'''} \leq 1,01/(1-0,05)^2 = 1,12.$$

Это соответствует значению коэффициента понижения точности $k \approx 3,1$. Для практических целей можно принять значение $k=3$, что приводит к средней квадратической погрешности сторон $I-VI$ и $VI-V$, равной $3,08/3=1,03$ мм.

Если в техническом задании на производство работ допускаемое смещение осей на монтажных горизонтах ограничено величиной $\sigma_c=1$ мм, то при трех исходных точках стандарт погрешности проецирования можно определить по формуле (65)

$$\sigma_{пр} = 1 \sqrt{3-1}/3 = 0,46 \text{ мм}.$$

Стандарт погрешности измерения сторон $I-VI$ и $VI-V$ на исходном горизонте разбивки вычислим по формуле (66)

$$\sigma_{L_n} = \sqrt{1,03^2 - 0,46^2} = 0,8 \text{ мм}$$

§ 31. Высотное обоснование при возведении многоэтажных зданий

Высотное обоснование создают в виде основных и рабочих реперов. Основные реперы располагают на конструкциях фундамента или 1-го этажа и закрепляют постоянными знаками в виде стенных реперов и фундаментных марок, обеспечивающих сохранность отметок на весь период сооружения здания. Места постановки знаков выбирают с учетом удобства передачи от-

Т а б л и ц а 26

<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>f'''</i>
+3033 -1,000	-1271 +0,419	-1271 +0,419	+35,80 -118·10 ⁻⁴

При коэффициенте $k'=2$

	+2561 +2028 -1,000	+142 -391 +0,193	- +15,00 -73·10 ⁻⁴
		+2561 +1851 -1,000	+47,60 +65,65 -355·10 ⁻⁴
		$1/p_{F'''}$	+4,00 127

При коэффициенте $k''=3$

	+2463 +1930 -1,000	+142 -391 +0,203	- +15,00 -78·10 ⁻⁴
		+2463 +1851 -1,000	+47,60 +65,65 -355·10 ⁻⁴
		$1/p_{F''''}$	+4,00 1,13

меток на монтажные горизонты при помощи вертикально подвешенной рулетки.

Передачу отметок на основные реперы производят со знаков высотного обоснования на строительной площадке. Требования к точности измерений, служащих обоснованием для разбивочных работ разных классов точности, и условия измерения, обеспечивающие заданную точность, приведены в табл. 27.

Превышения между основными реперами измеряют с точностью на класс выше, чем между рабочими реперами.

Отметки основных реперов вычисляют в государственной (городской) системе высот и системе высот здания (от чистого пола 1-го этажа). При уравнивании ходов поправки в превышения между основными реперами не вводят. Исключение составляет ход в виде замкнутого полигона по основным реперам.

Условия измерений	Обоснование для разбивки по классам точности		
	1-р	2-р и 3-р	4-р
Наибольшая длина плеч, м	50	75	100
Неравенство плеч, м:			
на станции	1	1	2
в ходе (секции)	2,5	2,5	5
Направление хода	Прямо и	обратно	Прямо
Допускаемые невязки ходов	5 мм $\sqrt{n}$	8 мм $\sqrt{n}$	10 мм $\sqrt{n}$
Допускаемые расхождения в превышениях, определяемых при помощи рулетки, мм	—	5	10
Погрешности метровых делений рейки, мм	0,25	0,40	0,60
Типы нивелиров	H-05	H-3	HC-3

Отметки основных реперов принимают постоянными на весь период сооружения здания. Для особо ответственных и уникальных зданий при передаче отметок на монтажный горизонт иногда учитывают разности осадок основных реперов и здания.

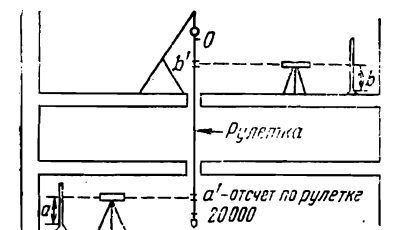


Рис. 42. Определение превышений по вертикально подвешенной рулетке

Рабочие реперы на монтажных горизонтах закрепляют временными знаками (болтами, дужками или уголками, приваренными к закладным деталям конструкций). На каждом горизонте закрепляют не менее двух рабочих реперов. Реперы располагают таким образом, чтобы передача отметок на конструкции здания осуществлялась с одной постановки нивелира.

Отметки рабочих реперов определяют ходами, опирающимися на два основных репера. Превышения между исходным и монтажным горизонтами определяют при помощи вертикально подвешенной стальной рулетки (рис. 42) двумя нивелирами для 1-р класса точности разбивки и одним нивелиром для остальных классов. Превышения вычисляют по формуле

$$h = a - b + (a' - b').$$

Поправки в превышения между горизонтами здания за осадку S_i^k основного репера в момент измерений и среднюю осадку S_j^k здания вычисляют по формуле

$$\Delta h = \bar{S}_j^k - S_i^k,$$

а необходимое число циклов наблюдений за осадками по формуле

$$n = \Delta S / \delta S.$$

где Δ_s — ожидаемая величина погрешности разбивки, обусловленная влиянием осадок; δ_s — допускаемая величина этой погрешности.

При возведении зданий высотой более двенадцати этажей в превышения между горизонтами поправку за температуру вводят по формуле

$$\Delta_h = \alpha_k (t_k - t_3) h,$$

где α_k и t_k — коэффициенты линейного расширения и температура конструкций здания; t_3 — температура эксплуатации здания.

При этом поправки делений рулетки должны быть приведены к температуре эксплуатации здания.

§ 32. Геодезические работы при монтаже строительных конструкций

Процесс монтажа складывается из отдельных операций. Для обеспечения геометрических требований, предъявляемых к этим операциям, выполняют

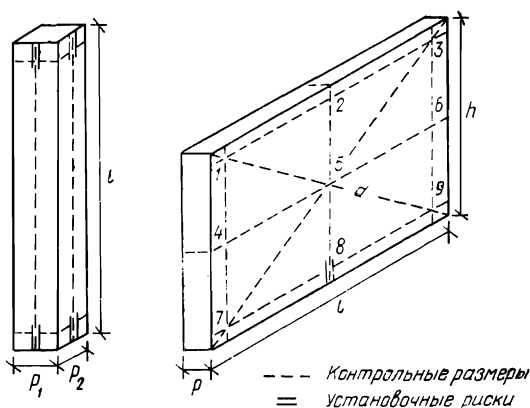


Рис. 43. Контроль геометрических параметров конструкций

контроль геометрических параметров и разметку сборных элементов конструкций; детальную разбивку; выверку конструкций; исполнительные съемки.

При контроле геометрических параметров колонн и ригелей измеряют длину l и элементы p_1 и p_2 поперечного сечения (рис. 43). Для железобетонных изделий иногда определяют положение закладных деталей. Одновременно с контрольными измерениями наносят установочные риски, определяющие положение геометрической оси колонны или ригеля. Риски наносят в верхнем и нижнем сечениях на все грани колонны. На ригелях установочные риски наносят на те грани, по которым производят совмещения с осями при монтаже.

Обмеры колонн и ригелей производят стальными рулетками с миллиметровыми делениями, а риски наносят прочерчиванием карандашом с откраской яркими цветами несмываемой краски. При высоких требованиях к точности монтажа металлических конструкций установочные риски наносят прочерчиванием скальпелем по открашенной поверхности металла.

При контроле плоских железобетонных элементов (стен, панелей) измеряют длину l , высоту h , толщину p и диагонали d (см. рис. 43). Для определения корсетности и овальности элемента длину и высоту измеряют по краям и в середине изделия. Пропеллерность плоского элемента определяют

при помощи рейки-отвеса, нивелированием или боковым нивелированием по девяти точкам поверхности изделия. Величину пропеллерности по сечениям элемента характеризуют выражения вида $a-2b+c$, где a , b и c — отсчеты по рейке в точках, расположенных на одной прямой (например, в точках 1, 2, 3 или 7, 5, 3 на рис. 43).

Необходимую точность контрольных измерений находят из соотношения $\sigma_k = 0,15 \Delta_{изг}$, где σ_k — стандарт контрольных измерений; $\Delta_{изг}$ — допуск на изготовление сборного элемента.

Детальные разбивочные работы на монтажных горизонтах заключаются в построении установочных рисок, фиксирующих проектное положение элементов конструкций в плане и по высоте.

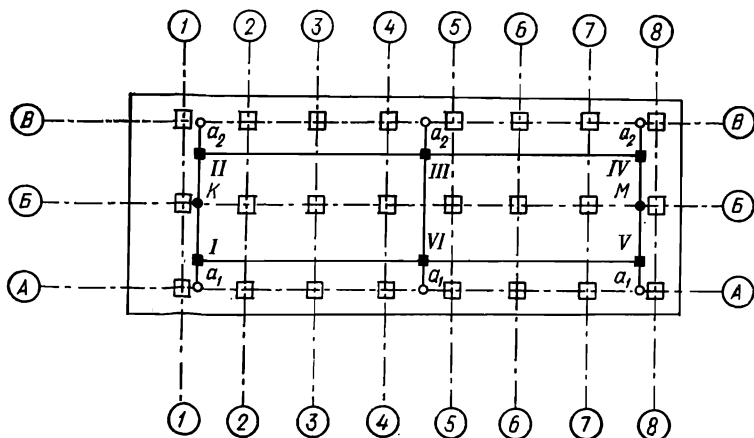


Рис. 44. Детальная разбивка осей каркасного здания

Детальную разбивку осей производят с пунктов плановой сети или со знаков закрепления габаритных осей путем построения створов и отложения проектных отрезков.

На рис. 44 изображена одна из наиболее распространенных схем детальной разбивки осей здания с каркасом в виде колонн. В этом случае оси обычно наносят на все боковые грани оголовков колонн, выступающих над перекрытиями нижнего этажа.

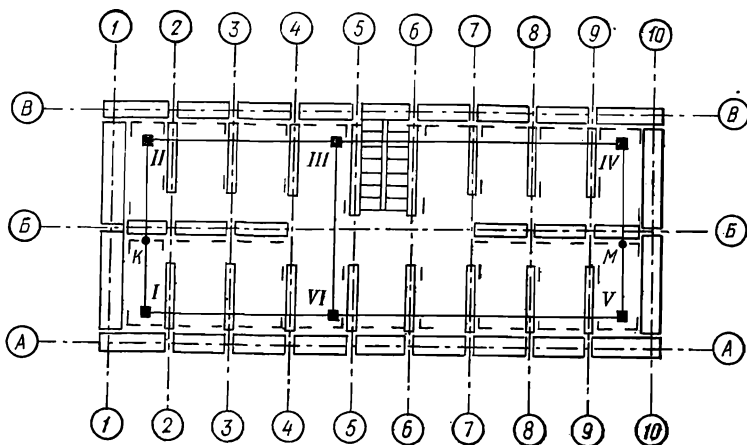
При разбивке продольных осей здания по створам поперечных сторон сети I—II, VI—III, V—IV (рис. 45) откладывают отрезки a_1 , $IK(VM)$, a_2 и получают точки створов продольных осей А—А, Б—Б и В—В. В полученных точках оси по створу стороны I—II последовательно устанавливают теодолит, ориентируют его визирную ось по противоположным точкам оси и наносят риски продольных осей на оголовки колонн.

Построение поперечных осей осуществляют промерами вдоль боковых граней колонн от створов поперечных сторон сети. Для этого укладывают рулетку параллельно продольным осям здания вплотную к боковым граням колонн и производят отсчеты в местах пересечения со створом двух поперечных сторон I—II и III—VI или III—VI и V—IV. Полученную разность отсчетов делят пропорционально проектным размерам между осями и вычисляют проектные отсчеты по рулетке. Используя эти отсчеты, наносят установочные риски на грани оголовков колонн и после контрольных измерений производят окраску рисок.

При применении групповых кондукторов с рамно-шарнирным устройством

вом на оголовках колонн разбивают только продольную и одну поперечную оси для установки кондуктора.

При возведении крупнопанельных и крупноблочных зданий на монтажном горизонте разбивают оси, параллельные основным осям таким образом, чтобы максимально упростить установку панелей или блоков в проектное положение. На рис. 45 приведена наиболее распространенная схема детальной разбивки осей для такого типа зданий.



— Риски

Рис. 45. Детальная разбивка осей панельного здания

Для построения установочных рисков на перекрытиях нижнего этажа по сторонам сети I—II и IV—III откладывают отрезки I—K и IV—M. По полученному створу KM отмечают положение установочных рисков, которые и закрепляют на перекрытиях для монтажа панелей по продольной оси здания Б—Б. Аналогичным образом получают риски по другим продольным осям здания. В зависимости от требований к точности для построения створа разрешается применять струну (леску, проволоку) или струнно-оптический способ.

Положение установочных рисков для монтажа конструкций по поперечным осям определяют промерами по соответствующим створам вдоль продольных осей или их параллелей.

Построение установочных рисков обычно производят или сразу на всем монтажном горизонте, или в пределах одной фигуры плановой сети. Этот способ разбивки является наиболее точным и удобным.

В некоторых случаях разбивку осей вынуждены производить от противоположных сторон сети к центру двумя не связанными в процессе построения частями. Этот второй способ разбивки требует для обеспечения нужной сбойки значительно больших затрат труда и применяется в исключительных случаях.

Требования к точности измерений при детальной разбивке осей приведены в табл. 19, а условия измерений, необходимые для достижения этой точности, перечислены в табл. 20.

При 1-р и 2-р классах точности разбивки проектные отрезки не должны превышать длины мерного прибора.

При построении створов особое внимание уделяют тщательности выполнения центрирования прибора. Теодолит устанавливают над точкой только

с помощью тщательно отъюстированного оптического центра на небольшой высоте над перекрытием. Визирование по возможности осуществляют непосредственно на знаки закрепления осей.

Контроль правильности разбивки осей осуществляют промерами рулеткой до точек закрепления соседних осей. Допускаемые отклонения δ вычисляют по формуле $\delta = 2l/T_{po}$, где T_{po} — знаменатель относительной погрешности измерения расстояний по данному классу разбивки осей.

Для особо ответственных конструкций и уникальных сооружений необходима точность измерений при разбивке осей определяется на основе расчетов.

Необходимую точность разбивки осей определяют по расчетам размерных цепей. При расчетах цепи на собираемость учитывают погрешности разбивки осей η_{po} , монтажа η_m и изготовления $\eta_{изг}$ сборных элементов. Для этого записывают уравнение размерной цепи, представляющее зависимость между погрешностью замыкающего ξ размера и составляющими размерами

$$\xi = \eta_{po} + \Sigma \eta_m + \Sigma \eta_{изг}$$

и составляют уравнения погрешностей для систематической и случайной частей

$$\lambda_{\xi} = \lambda_{po} + \Sigma \lambda_m + \Sigma \lambda_{изг};$$

$$\sigma_{\xi}^2 = \sigma_{po}^2 + \Sigma \sigma_m^2 + \Sigma \sigma_{изг}^2.$$

Проектная организация и геодезическая служба строительства выполняют решение обратной задачи расчета размерной цепи и получают значения λ_{po} и σ_{po} . Эти величины указываются в техническом задании на производство геодезических работ и служат основой для расчета точности построений при разбивке осей.

При расчетах точности определяют одновременно характеристики λ_L и σ_L погрешностей измерения сторон сети (исходных данных) и элементарных погрешностей построений при разбивке осей. Для решения этой задачи используют систему равенств

$$\lambda_{po} = \lambda_L / n;$$

$$\sigma_{po}^2 = \sigma_L^2 / n + \sigma_0^2 + 2\sigma_d^2 + 2\sigma_{\phi}^2,$$

где n — число уложений отрезка осей в стороне сети; σ_0 , σ_d и σ_{ϕ} — стандарты отсчетов по рулетке, делений рулетки и фиксации точек.

Решение этой задачи осуществляют методами, которые подробно рассмотрены в § 8.

Если разбивку осей выполняют частями от противоположных сторон сети, то для расчета необходимо предварительно найти значения систематической λ'_{po} и случайной σ'_{po} частей погрешности построений, позволяющих в месте стыка добиться нормативных величин погрешности λ_{po} и σ_{po} . Для этой цели используются равенства, которые с учетом корреляционной зависимости между смежными отрезками осей имеют вид

$$\lambda_{po} = \lambda_L - (n - 1) \lambda'_{po};$$

$$\sigma_{po}^2 = \sigma_L^2 + (n - 1) \sigma_{po}'^2 - 2(n - 3) (\sigma_0^2 + \sigma_d^2).$$

Передача отметок при детальной разбивке заключается в выносе проектных отметок на конструкции здания, осуществляемом от двух рабочих реперов по программе технического нивелирования.

Выверка конструкций выполняется для установки сборных элементов в проектное положение с точностью, предусмотренной соответствующими нормативными документами. Выверку осуществляют в процессе монтажа геодезическими методами непосредственно работники монтажных органи-

заций. Выверку особо ответственных конструкций в отдельных случаях поручают геодезической службе строительства.

Перед началом монтажа по результатам исполнительных съемок опорных поверхностей конструкций нижерасположенного этажа определяют отметку $H_{мг}$ монтажного горизонта и вычисляют толщину подкладок или слоя бетонного раствора для выравнивания горизонта. В качестве $H_{мг}$ обычно принимают наивысшую отметку опорной поверхности, а толщину Δ_i прокладок вычисляют по формуле

$$\Delta_i = H_i - H_{мг},$$

где H_i — отметки опорной поверхности.

При монтаже панелей в местах их установки выставляют высотные маяки.

При монтаже колонн нижнее сечение конструкции устанавливают в проектное положение совмещением граней колонны с гранями оголовка нижнего этажа. При свободном способе монтажа совмещают риски 1 нижнего сечения колонны с рисками 2 осей здания (рис. 46).

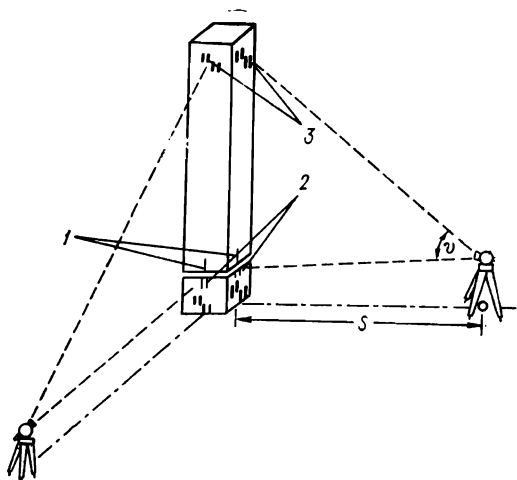


Рис. 46. Выверка колонн при помощи теодолитов

Для установки колонн высотой до 5 м в вертикальное положение используют специальные рейки-отвесы с противовеетровой защитой. Выверку более высоких колонн осуществляют проецированием рисок 2 осей здания в верхнее сечение колонны. Для проецирования используют два теодолита, устанавливаемые в плоскостях продольной и поперечной осей здания. Наиболее благоприятными считают условия, когда углы наклона визирной оси равны $\alpha \approx 45^\circ$. Для удобства совмещения оси колонны с вертикальной нитью грубы теодолита в верхнем сечении колонны вместо обычной риски наносят по трафарету специальную шкалу 3 с шашечным сантиметровым делением. В стесненных условиях монтажного горизонта часто устанавливают теодолит со смещением d от оси здания. В этом случае погрешность Δ установки верха колонны вычисляют по формуле $\Delta = d\delta/S$, где S — расстояние от теодолита до ближайшей грани колонны; δ — допустимый наклон колонны. В отдельных случаях для выверки колонн используют способ бокового нивелирования, в котором специальные небольшие реечки прикладывают к граням колонн при помощи облегченных сборных шестов.

Установку в проектное положение ригелей осуществляют совмещением рисок на опорных плоскостях консолей колонн и гранях ригеля с соблюдением равенства площадок опирания ригеля на консоли обеих колонн.

При выверке колонн на монтажных горизонтах соблюдают дополнительные условия, обеспечивающие надежную работу каркаса здания, по которым средний наклон колонн в ряду не должен превышать δ_H ; среднее смещение геометрических осей колонн в стыках не должно превышать величины $\delta_{\text{сооси}}$.

Значения δ_H и $\delta_{\text{сооси}}$ задаются техническим заданием на производство работ.

При монтаже панелей и блоков установку их в плане осуществляют совмещением внутренних граней с параллелями осей, открашенными на монтажных перекрытиях. В продольном направлении положение панели ориентируют по рискам в середине основания панели и на перекрытиях.

Вертикальности панелей и блоков добиваются при помощи реек-отвесов или боковым нивелированием.

Исполнительная съемка конструкций предназначена для определения фактических отклонений конструкций от проектного положения в плане и по высоте. По результатам исполнительных съемок принимают решение о пригодности конструкций к эксплуатации.

Исполнительные съемки выполняют после завершения монтажа, окончательного закрепления конструкций и снятия монтажной оснастки.

При съемке плановое положение конструкций определяют с точек плановой сети, разбивочных осей или их параллелей промерами рулеткой, методами створов, прямоугольных координат и боковым нивелированием, а отметки точек конструкций — геометрическим нивелированием с рабочих реперов на монтажном горизонте.

Исполнительной съемке подвергаются наиболее ответственные конструкции здания. Перечень элементов конструкций, подлежащих съемке, дается в проекте производства работ или техническом задании.

При плановой исполнительной съемке отклонения колонн в нижнем сечении определяют замерами от разбивочных осей на оголовках нижележащего этажа до ребер снимаемой колонны с помощью нитяного отвеса и складного металлического метра. Съемку верха колонн выполняют после разбивки на ее оголовках осей здания. Отклонения колонны в этом случае определяют промерами от осей здания до ребер колонны. Результаты измерений заносят в журнал и вычисляют отклонения колонны в плане для каждой из граней.

При высотной съемке определяют отметки опорных плоскостей верха и консолей колонн, а затем вычисляют отклонения этих поверхностей от проектной отметки.

Результаты исполнительной съемки колонн оформляют в виде схемы, на которой показывают отклонения колонны от оси (рис. 47,а) или отклонения от оси всех граней колонн (рис. 47,б). В отдельных случаях на схему выписывают расстояния от оси здания до ребер колонн. С целью повышения наглядности в изломах колонн по высоте составляют разрезы здания (рис. 47,в).

Исполнительную съемку панелей и стеновых блоков производят с пунктов плановой сети и от параллельных осей промерами рулеткой или боковым нивелированием. Результаты съемки оформляют на схеме, сходной со схемой на рис. 39.

Исполнительную съемку лифтовых шахт производят на каждом этаже одновременно со съемкой колонн. Отклонения стен шахты от вертикали по всей высоте здания определяют при помощи отвесов или приборов вертикального проецирования в углах прямоугольника, повторяющего конфигурацию разреза шахты.

Если в шахте нет возможности устроить настилы на монтажных горизонтах, то съемку производят от одной вертикали, располагаемой по возможности ближе к центру дверного проема шахты. Результаты исполнительной съемки в этом случае не позволяют судить о разворотах плоскостей стен лифтовой шахты.

При выборе необходимой точности определения отклонений исходят из величины вероятности появления ошибки в заключении о пригодности конструкций к эксплуатации.

При приемке появляются ошибки двух родов.

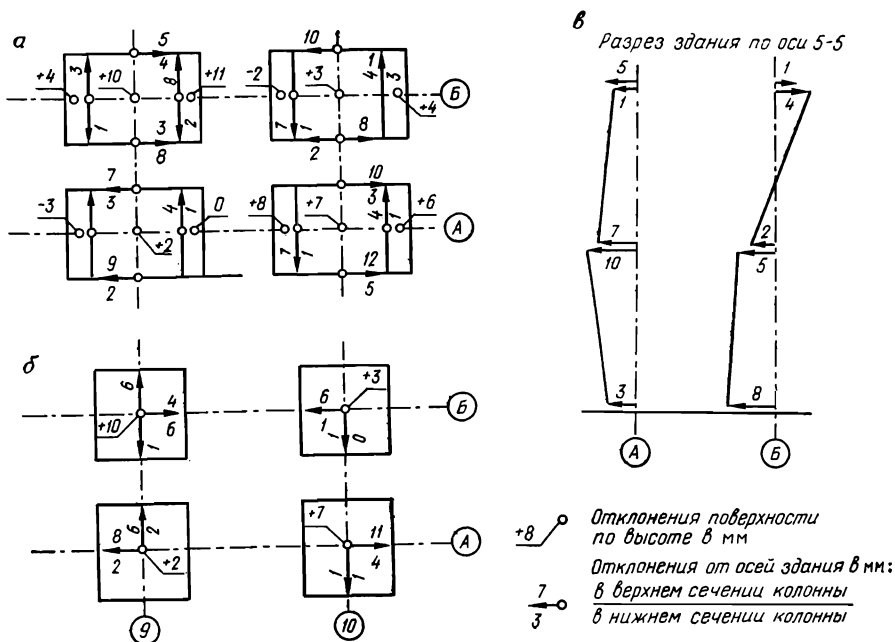


Рис. 47. Схема исполнительной съёмки колонн

Ошибка первого рода состоит в том, что при отклонении конструкции α в пределах допускаемой величины δ_α суммарное значение отклонения и погрешности β исполнительной стемки, т. е. величина $(\alpha + \beta)$, приведенная на исполнительной схеме, превышает δ_α . В этом случае конструкция будет забракована тогда, когда в действительности она не выходит за пределы допускаемого значения.

Ошибка второго рода состоит в том, что при α большем δ_α величина $(\alpha + \beta)$ будет меньше δ_α . В этом случае конструкция будет принята тогда, когда в действительности она находится за пределами допустимого значения.

При приемке конструкций число ошибок зависит от коэффициента точности съёмки $k = \sigma_\beta / \sigma_\alpha$ и соотношения $K = \delta_\alpha / \sigma_\alpha$, где σ_β и σ_α — стандарты величин β и α . Вероятность P появления ошибок при приемке конструкций можно вычислить по формуле

$$P = \frac{1}{2} \sum_{t=0}^{\infty} [\Phi(t_{i+1}) - \Phi(t_i)] \left[2 - \Phi\left(\frac{K - t_{op} t}{k}\right) - \Phi\left(\frac{K + t_{cp} t}{k}\right) \right],$$

где Φ — знак интеграла вероятности (приложение 1);

$$t_{i+1} = \alpha_{i+1}/\sigma_\alpha, \quad t_i = \alpha_i/\sigma_\alpha \quad \text{и} \quad t_{\text{ср } i} = 0,5(t_{i+1} + t_i)$$

— нормативные значения границ малых интервалов величины K и среднее их значение.

Для вычисления P величину K необходимо разбить не менее чем на 20 интервалов, что существенно увеличивает объем труда и времени.

Для некоторых характерных значений k и K величины вероятностей P приведены в табл. 28.

Таблица 28

Значение коэффициента K	P в единицах 10^{-4}			
	$k=0,1$	$k=0,2$	$k=0,5$	$k=1$
3	7	16	64	335
2	464	535	740	1571

Отметим, что при $K=2$ вероятность появления ошибок при приемке конструкций резко возрастает. Это приводит к ограничению возможности управ-

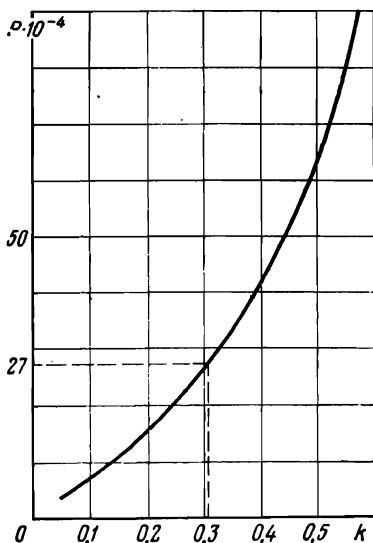


Рис. 48. График вероятностей появления ошибок

ления процессом точности с помощью контрольных измерений и является одной из дополнительных причин того, что в строительном производстве обычно принимают $K=3$.

При выборе необходимой точности исполнительной съемки (выборе значения k) руководствуются следующими соображениями. Если точности исполнительной съемки и монтажа одинаковы ($k=1$), то вероятность появления ошибок при приемке конструкций равна $P=337 \cdot 10^{-4}$. Напомним, что при полносборном методе возведения зданий вероятность отклонений от нормы допускается в пределах величины $P=1-0,9973=27 \cdot 10^{-4}$. Вряд ли целесообразно осуществлять контроль за этими отклонениями от нормы с вероятностью ошибки $P=335 \cdot 10^{-4}$, т. е. в 13 раз большей. Очевидно, это эти сравниваемые величины должны быть хотя бы соизмеримы. В большинстве случаев имеет смысл принять $P \leq 27 \cdot 10^{-4}$.

При расчетах точности с учетом требований к надежности конструкций выбирают значение P , находят стандарт исполнительной съемки $\sigma_B = k\sigma_\alpha =$

$= k\delta_\alpha/K$ и подбирают соответствующие методы выполнения работ и инструменты. Для определения k используют график, приведенный на рис. 48.

ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ ПРИ УСТРОЙСТВЕ ПОДКРАНОВЫХ ПУТЕЙ И МОНТАЖЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

§ 33. Разбивочные работы при монтаже подкрановых путей

Подкрановый путь представляет собой конструкцию, по которой передвигаются мостовые подъемные краны, обслуживающие производственные помещения. Краны передвигаются по рельсовому пути, уложенному по верхнему поясу подкрановых балок. Подкрановые балки нижним поясом опираются на консоли колонн (или плоскость уступа колонны, если сечение ее переменное) (рис. 49). К точности монтажа элементов конструкций подкранового пути

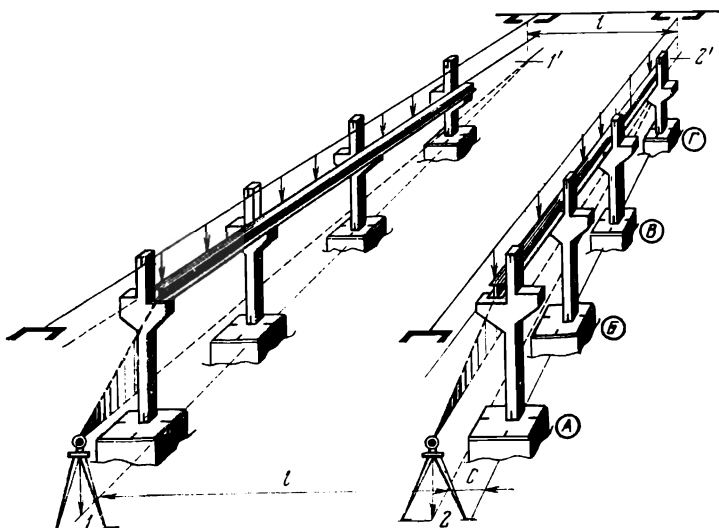


Рис. 49. Разбивка осей подкранового пути

предъявляются высокие требования. Вместе с тем неизбежные погрешности установки и изготовления колонн, а также расположение путей на значительной высоте весьма усложняют работы по геодезическому обеспечению монтажа подкрановых конструкций. Каждая монтажная операция при устройстве подкрановых путей сопровождается плано-высотными геодезическими построениями и измерениями. При геодезическом обеспечении монтажа подкрановых путей выполняют следующие работы.

Нивелирование опорных поверхностей консолей. Нивелирование производят до установки подкрановых балок. Нивелир устанавливают на полу примерно в центре помещения (цеха), рейку (лучше стальную линейку) прикрепляют к Г-образному деревянному брусу. При нивелировании перед отсчетом по рейке брус коротким плечом опирают на консоль. Этот способ высотной съемки применяют при уверенности, что на опорных поверхностях консолей нет наледи, крошек бетона и пр.

Нивелирование может быть произведено и по рискам, предварительно (до установки колонн) нанесенным на боковые грани колонн на определенном расстоянии от опорных поверхностей консолей. В этом случае рейку (линейку) устанавливают пяткой на рисках.

По результатам нивелирования для наглядности составляют профиль опорных поверхностей консолей вдоль осей балок в масштабах: горизонтальном — 1 : 100 и вертикальном — 1 : 10. Наивысшую из отметок консолей принимают за монтажный горизонт. Толщину подкладок (металлических пластин) для приведения опорных поверхностей нижнего пояса балок на монтажный горизонт вычисляют как разность наивысшей отметки и всех остальных.

Разбивка на консолях осей рельсовых путей. Ось подкрановой балки, как правило, совпадает с осью рельса; поэтому до укладки балок на консолях колонн разбивают ось рельсов. Если по результатам исполнительной съемки установлено, что отклонение торцевых колонн от проектного положения вдоль поперечных осей не превышает допустимых величин, то от их внутренних граней до оси балок откладывают на консолях проектный размер и ось фиксируют риской. Через риски консолей торцевых колонн натягивают струну (тонкую гибкую проволоку), след которой фиксируют рисками на каждой промежуточной консоли.

Чаще оси подкрановых путей на консолях разбивают теодолитом. Для этого в торцах цеха на полу от продольных разбивочных осей откладывают внутрь пролета отрезки C , равные проектному расстоянию оси рельса от разбивочной оси (см. рис. 49). Фиксируют точки 1, 1', 2, 2'. Тщательно контролируют расстояние l между точками 1 и 1', 2 и 2'. Над точкой 1 устанавливают теодолит и, ориентируя трубу по направлению 1—1', при двух положениях круга наклонным лучом ось проецируют на опорную поверхность консоли крайней колонны (если имеется возможность, ось проецируют и на консоли промежуточных колонн). Аналогично ось проецируют на крайние консоли с точек 1', 2 и 2'. При помощи струн ось фиксируют рисками на опорной поверхности промежуточных консолей.

Для удобства работы целесообразно закреплять оси насечками на скобах, укрепленных на противоположных стенах здания. В этом случае ось на консоли проецируют отвесами, подвешенными на струне, которая протянута через насечки противоположных скоб (см. рис. 49).

При монтаже балок на большой высоте, когда использование теодолита затруднено и недопустимо из-за низкой точности проецирования, передачу осей выполняют зенит-прибором ПЗЛ, установленным на полу цеха в начальной и конечной точках оси.

Выверка планового положения балок. После монтажа и временного закрепления подкрановых балок выверяют их плановое положение. Для этого на опорную поверхность верхнего пояса балок переносят ось рельсов приемами, изложенными выше; определяют фактическое положение оси балок относительно оси рельсов. При необходимости балки рихтуют (корректируют).

Выверка завершается контрольными измерениями расстояния между рисками осей рельсов в пролете. Измерения производят рулеткой, предварительно компарированной на весу. В тех случаях, когда пролет больше длины мерного прибора, измерения производят на полу цеха между нитями, подвешенными к балкам отвесов, которые для демпфирования погружают в сосуды с вязкой жидкостью.

Если результаты измерений не соответствуют проектному расстоянию, балки повторно рихтуют и окончательно закрепляют сваркой.

Исполнительная планово-высотная съемка подкрановых балок. По завершении монтажа подкрановых балок на их опорную поверхность вновь выносят ось рельсов, определяют смещения осей балок с оси рельса. Высотное положение опорной поверхности балок определяют нивелированием. По данным съемки составляют исполнительную схему планового положения осей балок, профили опорных поверхностей и рассчитывают толщину подкладок для приведения опорной поверхности балок на монтажный горизонт рельсов. Расчеты точности контрольных измерений при исполнительных съемках см. в § 32.

Геодетические выверки при монтаже рельсового пути. Ось, зафиксированная рисками на опорной поверхности балок, является опорной линией,

по которой ориентируют рельсы при устройстве подкранового пути. Уложенные и временно закрепленные на балках рельсы требуют тщательной выверки в плане и по высоте.

Геодезическую выверку пути начинают с выверки прямолинейности и горизонтальности одной нитки рельсов. Прямолинейность выверяют теодолитом, расположенным у крайней колонны выше подкрановой балки. Если ширина балки не позволяет прочно установить на ней штатив, то теодолит прикрепляют станковым винтом к подставке на кронштейне, который приваривают к закладным частям колонны либо жестко закрепляют струбциной, хомутом. Теодолит центрируют над головкой рельса в начальной точке нитки, наводят трубу на ее конечную точку. Открепив трубу, визируют на рельсы по опорам и определяют величины отклонений головки рельсов от визирной линии. При необходимости рельсовую нитку рихтуют. Горизонтальность нитки по всей длине обеспечивают подкладыванием под рельсы стальных пластин соответствующей толщины.

Плановое положение второй нитки пути выверяют промерами от первой, а высотное — подкладками. Для обеспечения проектного расстояния между головками рельсов в пролете может потребоваться рихтовка второй нитки.

После пробной прогонки мостового крана под нагрузкой вновь производят планово-высотную съемку пути по головкам рельсов. Смещения рельсов в результате обжатия пути устраняют дополнительной рихтовкой.

Монтаж подкранового пути завершают исполнительной планово-высотной съемкой по головкам рельсов и составлением исполнительной документации.

Для снижения трудоемкости и повышения точности разбивочных и выверочных работ при монтаже подкрановых путей применяют высокоточные визирные приборы и марки, ряд приспособлений и устройств, а также лазерные приборы. Описание приборов и методики работы ими содержится в специальной литературе.

При оценке точности контрольных измерений при монтаже подкрановых путей можно исходить из формулы

$$\sigma_{\text{гк}} \leq 0,20\Delta_0,$$

где $\sigma_{\text{гк}}$ — предельная погрешность контрольных измерений, Δ_0 — допускаемое отклонение конструкции от проектного положения. Допускаемые отклонения на положение сборных конструкций содержатся в соответствующих главах СНиП (например, СНиП III—16—79, СНиП III—18—75).

§ 34. Геодезические выверки подкрановых путей в процессе эксплуатации

В процессе длительной эксплуатации подъемно-транспортного оборудования промышленных предприятий геометрические параметры подкрановых путей могут изменяться. Вследствие износа рельсов, ослабления крепежных узлов, неравномерной осадки колонн и других факторов проектное взаимное положение рельсов в пролете и по опорам нарушается. Недопустимые отклонения головок рельсов от проектного положения в плане и по высоте, а также замена рельсов вызывают необходимость в геодезических выверках и рихтовках подкрановых путей.

Однако процесс выверок подкрановых путей затрудняется из-за условий, присущих действующим цехам. Технологическое оборудование, станочные агрегаты, поточные линии, размещенные на всей площади производственных помещений, весьма ограничивают возможности непосредственных контрольных измерений. В этом случае целесообразно применить способ косвенных измерений при произвольных створах, сущность которого состоит в следующем.

На полу в торцах цеха закрепляют взаимно видимые точки M_1 , M , N_1 и N (рис. 50). Непосредственно измеряют расстояния l_1 между точками M и N и l_n — между M_1 и N_1 . Теодолит устанавливают в точке M , трубой визируют на точку M_1 и боковым нивелированием берут отсчеты a_1 , a_2 , a_i , ...,

a_n по горизонтальной рейке, устанавливаемой пяткой на центр головки рельсов по всем колоннам (по поперечным осям 1, 2, i , ..., n). Теодолит устанавливают в точке N , ориентируют по створу NN_1 и берут отсчеты по рейке $b_1, b_2, b_i, \dots, b_n$. На рис. 50 нитки рельсов изображены ломаными линиями.

Рихтовку подкрановых путей начинают с рихтовки одной нитки рельсов, например нитки вдоль оси A . При этом считают, что линия, соединяющая начальную и конечную точки нитки (по опорам 1 и n), является проектной осью A . Поправку δa_i на величину которой рельс должен быть смещен при рихтовке на промежуточной i -й опоре, вычисляют по формуле

$$\delta a_i = a_i - a_1 - \frac{\Delta a_n}{n-1} (i-1),$$

где $\Delta a_n = a_n - a_1$, n — число опор (колонн) в ряду.

Если l_0 — проектная ширина пролета, то поправку в створе оси B рельса второй нитки на опоре 1 можно вычислить по формуле

$$\delta b_1 = a_1 + l_1 + b_1 - l_0.$$

Поправка δb_n для перемещения рельса на опоре n будет равна

$$\delta b_n = a_n + l_n + b_n - l_0.$$

Поправка δb_i для i -й опоры равна

$$\delta b_i = b_i - (b_1 + \delta b_1) - \frac{\Delta b_n}{n-1} (i-1),$$

где

$$\Delta b_n = a_n + l_n + b_1 + \delta b_1 - l_0.$$

Знаки поправок δa и δb показывают направления перемещения рельса при рихтовке.

После рихтовки подкранового пути производят контрольные измерения расстояний между нитками рельсов по всем опорам. По i -й оси расстояние S_i будет

$$S_i = a_i + b_i + l_n + \frac{l_1 - l_n}{n-1} (n-i),$$

если расположение створов MM_1 и NN_1 и оцифровка осей соответствуют рис. 50.

Для наглядности и во избежание ошибок при расчетах целесообразно составить схему рихтовки путей (подобную рис. 50) на миллиметровке, на которой в масштабе 1:1 или 1:2 показывают величины Δa , Δb , δa и δb .

Высотную выверку подкрановых путей производят нивелированием по головке рельсов с моста крана.

§ 35. Разбивочные работы при монтаже промышленного и технологического оборудования

В современном машиностроении к соблюдению точности заданных геометрических параметров деталей, узлов, агрегатов промышленного и технологического оборудования предъявляются высокие требования. Если точность взаимного положения сборных строительных конструкций в плане и по высоте характеризуется допустимыми величинами, не превышающими 5 мм, то монтаж промышленного оборудования ведется с погрешностями менее 2 мм. Точность монтажа ряда специальных установок большой протяженности, современных станочных агрегатов, крупногабаритных машин, поточных линий и конвейеров характеризуется десятками и сотнями долями миллиметра. В связи с этим геодезические работы при монтаже оборудования отличаются высокой точностью. Методы и точность геодезического обеспечения монтажа определяются особенностями технологического и промышленного оборудования и теми условиями, в которых производятся геодезические работы. При измерении углов с очень короткими сторонами, створных наблюдениях, определениях шероховатости опорных поверхностей и других разбивочных работах применяют специальные измерительные приборы.

Плановая геодезическая основа для монтажа машин и оборудования. Установка машин и оборудования в проектное плановое положение осуществляется относительно специальной геодезической основы, представляющей собой совокупность продольных и поперечных монтажных осей. Монтажные оси совмещают с технологически важными линиями и плоскостями оборудования или разбивают параллельно им. При этом учитывают не только удобство монтажа, но и возможность использования этих осей для выверки агрегатов в процессе эксплуатации.

Точки пересечения продольных и поперечных осей выносят на фундамент оборудования оптическими теодолитами способом створной засечки и закрепляют. В зависимости от точности установки и выверки оборудования монтажные оси закрепляют фундаментальными знаками с большой глубиной закладки или обоглаженными знаками. Последние в виде металлических марок, скоб, пластин заделывают в тело фундамента оборудования, а оси фиксируют на них насечками и накернованными углублениями.

Способы разбивки монтажных осей. При установке оборудования в проектное плановое положение его блоки и узлы ориентируют относительно монтажных осей, створ которых задается струной или визирной линией оптического прибора и фиксируется створными точками. Монтажные оси разбивают струнным, струнно-оптическим и оптическим способами.

Струнный способ. При этом способе между закрепленными точками осей натягивают струну диаметром 0,2—0,5 мм. Струну проецируют нитяным отвесом на знаки, заложенные в фундамент, и фиксируют. По отвесу можно ориентировать и осевые точки оборудования при его установке или выверке.

Точность этого способа зависит от колебания струны при передвижении по ней отвеса и от ошибок проецирования нитяным отвесом. При тщательной работе в закрытых помещениях можно обеспечить точность разбивки монтажных осей на фундаменте порядка 2—3 мм. Способ целесообразно применять при длине створа до 80 м.

Для высокоточной разбивки применяют струны с большим сопротивлением на разрыв и с постоянным диаметром. Наиболее приемлема стальная струна $d=0,2$ мм марки ОВС.

Струнно-оптический способ. При этом способе подвешенную струну проецируют на опорную поверхность фундамента специальными оптическими приборами, позволяющими установить визирную линию вертикально. К таким приборам относятся отсчетные микроскопы на специальных подставках, оптические центры. Широкое применение нашел оптический проецирующий прибор ОПП-2 (рис. 51).

Прибор ОПП-2 состоит из наклонно расположенной зрительной трубы 1, к которой жестко прикреплены столик 2 и коническая ось 3. Последняя

вставляется в тщательно притертую втулку 5 подставки 6, имеющей три подъемных винта 7. В этой втулке зрительную трубу со столиком можно вращать и закреплять зажимным винтом 10. Визирный луч после прохождения окуляра и объектива попадает в пентапризму и после преломления направляется вверх к точке визирования *С* (струне). В конструкции преду-

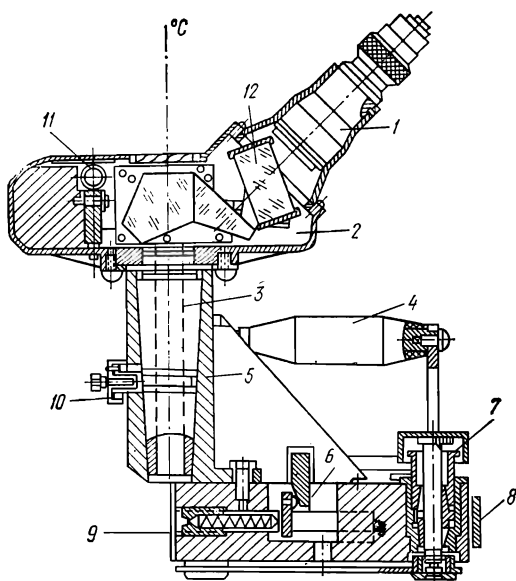


Рис. 51. Оптический проектировочный прибор ОПП-2

смотрено, что визирная линия должна совпадать с осью вращения прибора и лежать в контактной плоскости 9. Для приведения оси вращения прибора в отвесное положение имеются два взаимно перпендикулярных цилиндрических уровня 11.

При работе прибор устанавливают на фундаменте и, вращая подъемные винты, по уровням приводят в рабочее положение. Перемещая подставку по опорной поверхности фундамента, следят, когда струна *С* совпадет с центром сетки нитей трубы. В этот момент по контактной плоскости на фундаменте (на металлической пластине, заделанной в бетон) стальной иглой фиксируют монтажную ось.

Для плотного прижатия контактной плоскости к устанавливаемой грани подставка прибора снабжена пружинным упором 8, который убирается при поднятии ручки 4.

Прибор ОПП-2 применяют также при установке оборудования и при исполнительных съемках после его монтажа.

Основными погрешностями, определяющими точность струнно-оптического способа, являются погрешность установки струны в створ монтажной оси S_c ; погрешность проецирования струны оптическим прибором S_n ; погрешности влияния внешних условий — колебания струны S_k и фазы освещения S_{ϕ_0} ; ошибка фиксации S_{ϕ} .

Точность разбивки монтажной оси можно оценить по формуле

$$S_p = \sqrt{\frac{3}{2} \frac{\left(0,04\tau^2 + \frac{900}{v}\right) h^2}{\rho^2}} + S_{\phi_0}^2 + S_K^2 + S_{\phi}^2,$$

где τ — цена деления уровня, v — увеличение трубы прибора.

Предельная величина погрешности за фазу может доходить до четверти диаметра струны. Величина колебаний струны зависит от движения воздушных масс, диаметра, длины и силы натяжения струны. При открытых дверях цеха струна медленно вибрирует с амплитудой до 0,5 мм.

Оптические способы. В основе этих способов лежит оптическое построение створов. Оптические способы, так же как струнный и струнно-оптический, применяют при разбивке монтажных осей, установке и выверке оборудования.

При оптическом способе прямого визирования над одним из знаков, закрепляющих монтажную ось, устанавливают теодолит, а над другим на противоположном конце оси — неподвижную визирную марку. Монтажная ось задается визирной линией теодолита, наведенного на марку. В створе оси устанавливают специальной конструкции подвижную визирную марку с микрометром. Вращением микрометра марку точно вводят в створ визирной линии. Далее марку снимают с подставки, на ее место ставят прецизионный оптический центр, с помощью которого монтажную ось проецируют на опорную поверхность фундамента, и фиксируют.

Основные источники погрешностей при этом способе те же, что и при построении створа (см. § 20).

Применяя особые подставки для теодолита и визирных марок, и также специальной конструкции знаки, можно свести ошибки центрирования и редукции к пренебрегаемой величине. Тогда точность разбивки монтажных осей будет в основном определяться ошибками визирования, фокусирования и фиксации. Так, при длине створа 100 м, увеличении трубы теодолита 40^х точность разбивки будет порядка 0,5 мм.

Оптический способ последовательных створов применяют при разбивке монтажных осей большой протяженности. Сущность этого способа заключается в следующем.

Расстояние s (отрезок TM) между конечными знаками монтажной оси делят на n примерно равных частей (рис. 52). Теодолит устанавливают над

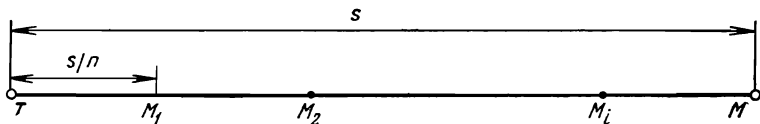


Рис. 52. Способ последовательных створов

знаком T , а неподвижную марку — над знаком M . На расстоянии TM_1 в точке M_1 устанавливают подвижную марку, ось которой приводят в отвесное положение, и микрометром вводят в створ линии TM ; на фундаменте фиксируют точку M_1 . Далее марку снимают с подставки и на ее место ставят теодолит, перенесенный со знака T . Теми же приемами визируют на неподвижную марку M , в точке M_2 устанавливают подвижную марку, фиксируют на фундаменте точку M_2 и т. д. Таким образом, последовательно переставляя теодолит на место установленной в створе передвигной марки и ориентируясь по конечной марке M , разбивают монтажную ось на всех участках.

Точность разбивки i -й точки створа монтажной оси можно оценить по формуле

$$S_i^2 = S_{\phi}^2 + S_{\text{ц}}^2 \left(\frac{n-i}{n} \right)^2 + \frac{S_{\text{в,фок}}^2}{\rho^2} \left(\frac{s}{n} \right)^2 \left[1 + \left(\frac{n-i}{n-1} \right)^2 + \dots + \left(\frac{n-i}{n-2} \right)^2 + \dots + \left(\frac{n-i}{n-i+1} \right)^2 \right],$$

где $S_{\text{ц}}$ — погрешность центрирования, $S_{\text{в,фок}}$ — погрешность визирования, равная погрешности фокусирования.

Методика створных высокоточных измерений и построений при монтаже и выверке оборудования освещена в специальной литературе, например [6].

Линейные измерения при разбивках для монтажа оборудования. Требования к точности взаимного положения отдельных блоков оборудования и

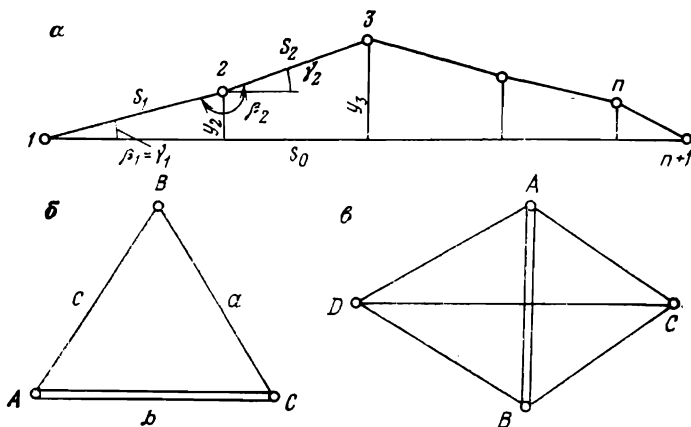


Рис. 53. Разбивка монтажных осей

элементов технологических линий при их монтаже вызывает необходимость в высокоточном определении расстояний между монтажными осями или между точками монтажной оси.

Небольшие расстояния измеряют инварными мерными приборами, большие определяют косвенным путем.

В ряде случаев прокладывают полигонометрический ход вдоль монтажной оси (рис. 53, а). Замыкающая этого хода называется монтажным базисом. Длина s_0 монтажного базиса определяется с высокой точностью и вычисляется по формуле

$$s_0 = \sum_{i=1}^n s_i \cos \gamma_i,$$

где s_i — длины сторон, γ_i — углы, образованные сторонами хода и замыкающей, вычисляются по уравненным значениям углов $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_{n+1}$.

Точность определения замыкающей можно оценить по формуле

$$S_{s_0} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \cos^2 \gamma_i S_{s_i}^2 + s_0^2 q^2 \frac{S_{\beta}^2}{\rho^2}},$$

где S_{s_i} — средние квадратические погрешности измерения сторон хода; S_β — средняя квадратическая погрешность измерения углов. Коэффициент q можно вычислить по формуле

$$q = \frac{1}{S_0} \sqrt{\sum_{i=1}^{n+1} (y_i - y_{cp})^2}.$$

где y_i — отклонения точек хода от замыкающей, y_{cp} — среднее значение из отклонений y_i .

Однако проложение полигонометрического хода внутри производственного помещения, в котором производятся монтажные работы, или в действующем цехе часто затруднительно. Поэтому для высокоточного определения расстояний для монтажа оборудования создают локальные триангуляционные, трилатерационные и линейно-угловые сети, в которых одной из сторон является монтажная ось. Схема сети и точность измерений зависят от требуемой точности определения длины оси, а также местных условий. Однако во всех случаях стремятся к созданию наиболее простых типовых сетей.

Часто создают локальную сеть в виде треугольника с измеренными углами A, B, C и базисом b (рис. 53, б). Сторону a , являющуюся монтажной осью, можно вычислить по формуле

$$a = b \sin A / \sin B.$$

Если углы измерены равноточно с погрешностью S_β , а базис — с погрешностью S_b , то средняя квадратическая погрешность определения стороны a будет

$$\frac{S_a}{a} = \sqrt{\left(\frac{S_b}{b}\right)^2 + \frac{2}{3} \left(\frac{S_\beta}{\rho}\right)^2 (\operatorname{ctg}^2 A + \operatorname{ctg}^2 B + \operatorname{ctg} A \operatorname{ctg} B)}.$$

Для определения длины монтажной оси широко применяют ромбическую сеть с измеренной малой диагональю (рис. 53, в). Выходная сторона CD является монтажной осью.

Применяют сети и других схем. Более подробно локальные сети рассмотрены в работе [1].

Высотная основа для монтажа машин и оборудования. Требования к точности взаимного положения элементов оборудования в высотном отношении столь же высоки, как и в плановом. Для обеспечения этих требований в цехе создают специальные нивелирные сети. Однако при этом учитывают, что с высокой точностью должно быть определено только взаимное положение элементов оборудования. Например, если все агрегаты поточной или автоматической линии будут установлены на несколько миллиметров выше или ниже проектной отметки, то качество работы линии не ухудшится.

Нивелирные сети представляют собой систему реперов, от которых передают отметки на контрольные марки, заложенные в фундаменте оборудования и агрегатах. Реперы должны быть достаточно устойчивыми, практически неподвижными.

Специальная нивелирная сеть включает в себя основную, каркасную сеть, образованную взаимно связанными группами глубинных и фундаментальных реперов, рабочую сеть (систему рабочих реперов) и монтажную состоящую из совокупности контрольных марок.

Передачу отметок с реперов на марки осуществляют геометрическим нивелированием с 1—2 станций при коротких плечах. Наблюдения производят строго из середины. Высокоточное нивелирование выполняют с точностью порядка 0,1—0,2 мм. Для нивелирования применяют нивелиры Н1 и Н2 и стандартные или специально изготовленные инварные штриховые рейки.

При высокоточной передаче отметок на контрольные марки и высотной

выверке оборудования применяют микронивелирование (см. главу II).

Конструктивной основой микронивелира является накладной уровень с большой базой (1 м и более). Цена деления уровня 5". Подставка прибора опирается на две полусферические головки, одна из которых жесткая, а другая подвижная, связанная с индикатором часового типа. Уровень приводят на нуль-пункт при помощи подъемного винта, опирающегося на выверяемую поверхность, и отсчитывают по индикатору. Переставив прибор в тех же точках на 180° и приведя пузырек уровня в нуль-пункт, берут второй отсчет по индикатору. Превышение на станции равно полуразности этих отсчетов. При передаче отметки на расстояния большие чем база прибора точки постановки опор подставки предварительно размечают.

Основными источниками погрешностей микронивелирования являются погрешности приведения пузырька уровня в нуль-пункт, погрешности индикатора и чистота обработки выверяемой поверхности.

Точность определения превышения на станции микронивелиром порядка 0,008—0,010 мм.

Высокоточную передачу отметок и высокоточную выверку оборудования осуществляют также гидростатическим нивелированием (см. главу II).

Глава VII

ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ СООРУЖЕНИЙ ЛИНЕЙНОГО ТИПА

§ 36. Общие сведения о сооружениях линейного типа

К сооружениям линейного типа относят сооружения малые по площади, но значительные по протяженности: автомобильные и железные дороги, трубопроводы, линии электропередач (ЛЭП) и др. Положение сооружения на местности определяется основным геометрическим параметром — осью трассы. Осью трассы называется ось проектируемого сооружения. Пространственное положение трассы на местности характеризуется ее элементами: планом — проекцией на горизонтальную плоскость и продольным профилем — вертикальным разрезом.

В плане трасса состоит из прямолинейных участков (прямых вставок) разного направления, сопрягающихся между собой горизонтальными кривыми постоянного и переменного радиусов. В продольном профиле трасса также состоит из прямых линий различного уклона, сопрягающихся вертикальными кривыми.

Главными факторами, определяющими выбор трассы, являются технические условия и экономическая целесообразность. Комплекс изыскательских работ по выбору оптимального варианта трассы, отвечающего требованиям технических условий и дающего наибольший экономический эффект, называется трассированием.

В соответствии с двухстадийным проектированием линейных сооружений изыскания трасс подразделяют на предварительные и окончательные. Предварительные изыскания проводят в основном камеральным путем по топографическим картам, материалам аэрофотосъемки, на которых намечают варианты трасс. Для каждого из вариантов составляют продольный профиль, подсчитывают длины отдельных участков, число переходов и пересечений, примерный объем работ. Оптимальную трассу выявляют путем технико-экономического сравнения конкурирующих вариантов.

В процессе полевого обследования подробно изучают природные условия вдоль выбранного варианта трассы, особенно на сложных переходах и пересечениях, в местах с неблагоприятной геологией. В результате обследования уточняют положение трассы, закрепляя в натуре наиболее трудные

участки: места переходов через крупные водотоки и озера, горные перевалы, места пересечений с существующими коммуникациями и др.

Окончательные изыскания представляют собой в основном полевые изыскания на местности вдоль трассы. Они включают определение в натуре положения вершин углов поворота трассы и полевые трассировочные работы: вешение линий, изменение углов и сторон хода, разбивку пикетажа, поперечников и главных точек кривых, закрепление трассы, нивелирование, а также крупномасштабную съемку переходов, пересечений, примыканий, мест со сложным рельефом и т. д.

В комплексе с топографо-геодезическими работами выполняют детальные инженерно-геологические, гидрометрические, почвенные и другие обследования трассы.

На основании подробных полевых изысканий составляют проект трассы, состоящий из рабочих чертежей на все сооружения и пояснительной записки с обоснованиями, расчетами, геодезическими данными и другими документами.

Непосредственно перед строительством линейных сооружений трассу восстанавливают на местности. В состав работ по восстановлению трассы входят: инструментальное восстановление пикетажа с контрольным промером линий, измерением углов и с детальной разбивкой кривых; контрольное нивелирование по пикетажу с дополнительным сгущением сети рабочих реперов; закрепление трассы с выносом знаков закрепления за пределы зоны земляных работ; корректировка трассы.

§ 37. Детальная разбивка круговых кривых

Кривые детально разбивают через 20 м, если радиус кривой больше 500 м, и через 10 м, если радиус кривой от 100 до 500 м. При радиусе меньше 100 м кривую целесообразно разбивать через 5 м.

Существует ряд способов детальной разбивки кривых. Наиболее распространенными из них являются способ координат, углов, продолженных хорд, вписанного многоугольника, секущих.

Точность детальной разбивки кривых зависит от точности выполнения элементарных разбивочных операций, таких как построение проектных углов, отрезков и др. (об источниках погрешностей и расчетах точности см. главы II и III).

Способ координат. В этом способе положение точек $B, C, D...$ (рис. 54) на кривой через равные промежутки K определяется прямоугольными координатами $x_1, y_1; x_2, y_2; x_3, y_3; ...$, при этом за ось абсцисс принимают линию тангенса AM , а за начало координат — начало (HK) и конец кривой (KK).

Из рис. 54 следует, что

$$\left. \begin{aligned} x_1 &= R \sin \theta; y_1 = 2R \sin^2 \theta/2; \\ x_2 &= R \sin 2\theta; y_2 = 2R \sin^2 2\theta/2; \\ x_3 &= R \sin 3\theta; y_3 = 2R \sin^2 3\theta/2. \end{aligned} \right\} \quad (67)$$

где угол $\theta = 180^\circ K/\pi R$.

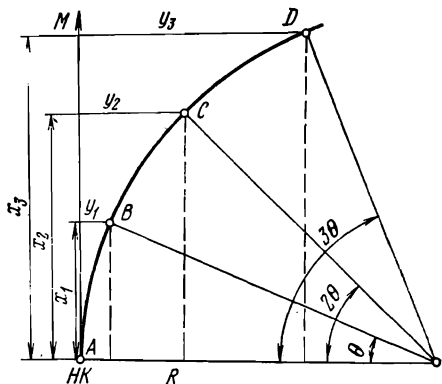


Рис. 54. Разбивка кривых способом прямоугольных координат

Разбивку кривой ведут от начала и конца кривой к середине. Координаты, вычисляемые по формулам (67), берут по радиусу из таблиц, где часто абсциссы x даются как разность $K-x$. В этом случае по тангенсу угла откладывают длину кривой ($K, 2K, 3K \dots$) и отмеряют назад соответствующее значение $K-x$. В найденных точках (концах абсцисс) восстанавливают перпендикуляры и откладывают по ним ординаты $y_1, y_2, y_3, \dots$; концы ординат закрепляют, фиксируя точки $B, C, D \dots$ кривой.

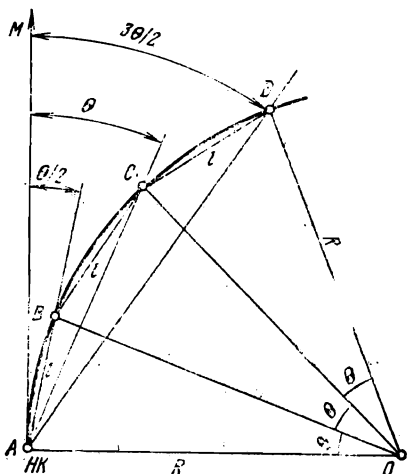


Рис. 55. Разбивка кривых способом углов

В начале кривой A устанавливают теодолит и от линии тангенса задают угол $\theta/2$, откладывая вдоль полученного направления длину хорды $AB=l$. Найденную точку кривой закрепляют. От того же направления AM теодолитом строят второй угол $2\theta/2$. От точки B откладывают следующую длину хорды l так, чтобы ее конец лежал в коллимационной плоскости теодолита, фиксируя на местности точку C кривой, и т. д.

Так как в способе углов положение последующей точки определяется относительно предыдущей, то с возрастанием длины кривой точность ее детальной разбивки быстро падает. В этом главный недостаток способа.

Способ продолженных хорд. Разбивку кривой этим способом ведут без теодолита. По радиусу R и принятой длине хорды l (10 или 20 м) находят отрезки d и y , называемые в таблицах промежуточным и крайним перемещениями,

$$y = l^2/2R;$$

$$d = 2y = l^2/R.$$

Положение первой точки кривой B (рис. 56) может быть определено при помощи прямоугольных координат x и y или с отрезка тангенса $AN=l$ линейной засечкой радиусами-векторами $NB=y$ и $AB=l$. Закрепив точку B , на продолжении створа AB откладывают длину хорды l и отрезками $C'C=d$ и $BC'=l$ засекают на кривой точку C и т. д. Недостаток способа тот же, что и предыдущего.

Способ вписанного многоугольника. Точки на кривой через равные промежутки определяются путем последовательного отложения длины хорды l и угла между соседними хордами β (рис. 57).

Аналогично выносят пикеты с линии тангенса на кривую.

При большом угле поворота θ , когда ординаты достигают значительных величин, кривую разбивают по частям (подробнее см. в работе [5]).

Достоинство способа координат заключается в том, что каждая точка кривой определяется независимыми промерами и при переходе от одной точки к другой погрешности не накапливаются.

Способ углов. В этом способе использовано положение, при котором углы с вершиной в какой-либо точке круговой кривой, образованные касательной и секущей и заключающие одинаковые дуги, равны половине соответствующего центрального угла (см. рис. 55)

$$\sin \theta/2 = l/2R, \quad (68)$$

где l — длина хорды. Величину угла $\theta/2$ выбирают из таблиц по значению l и R .

При этом длина хорды

$$l = 2R \sin \theta/2,$$

где угол θ находят по формуле (68).

Угол между хордами $\beta = 180^\circ - \theta$.

Точку *В* кривой определяют по способу прямоугольных координат (или углов). В ней устанавливают теодолит и строят угол $ABC = \beta$. Вдоль направ-

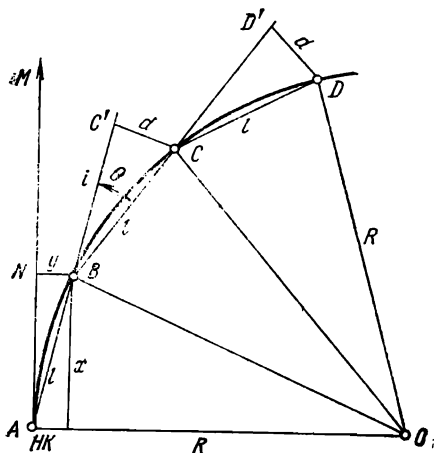


Рис. 56. Разбивка кривых способом продолженных хорд

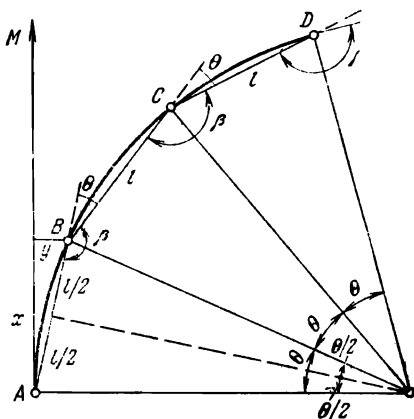


Рис. 57. Разбивка кривых способом вписанного многоугольника

ления BC откладывают хорду l , определяя на кривой точку C , в которую переносят теодолит. Вновь откладывают угол β и хорду l , находя точку D , и т. д.

Способ секущей. В этом способе точки кривой разбивают от хорды (секущей) по прямоугольным координатам (рис. 58). Длину секущей выбирают

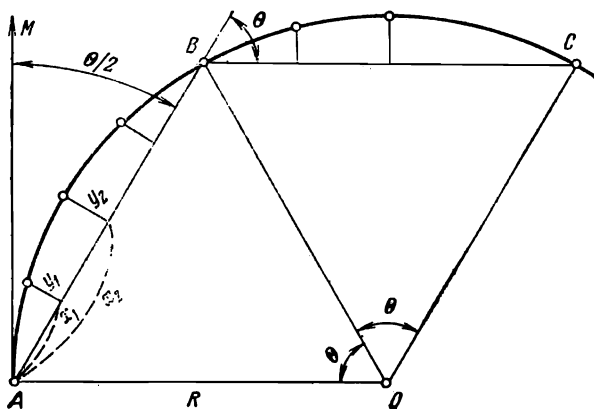


Рис. 58. Разбивка кривых способом секций

большой (100 м и более), но с учетом, чтобы в стесненных условиях максимальная длина ординаты не превышала 2—3 м.

Первая секущая задается из начальной точки кривой под углом $\theta/2$ к тангенсу. Этот угол вычисляют по формуле (68) или находят по таблицам для данного R и принятого l . В этих же таблицах находят величины $K-x$ и y для детальной разбивки участка кривой AB от хорды.

Теодолит переносят в точку B и от направления AB откладывают угол θ , задавая вторую секущую BC , от которой разбивают новый участок кривой.

Наряду со способом координат способ секущей является наиболее точным и применяется в стесненных условиях (в тоннелях, на дамбах и т. д.).

§ 38. Разбивка переходных и вертикальных кривых

Переходные кривые. Чтобы уравновесить действие центробежной силы, возмущающей на кривых, на железнодорожных линиях наружный рельс делают выше внутреннего, а на автомобильных дорогах устраивают вираж, т. е. односкатный поперечный профиль с наклоном к центру кривой.

Для постепенного нарастания центробежного ускорения прямые участки сопрягают с круговыми кривыми при помощи переходных кривых, радиус кривизны которых меняется от бесконечности до радиуса круговой кривой.

Уравнение переходной кривой имеет вид

$$r = C/s,$$

где r — радиус кривизны; s — длина переходной кривой от ее начала до текущей точки; C — постоянная величина, называемая параметром переходной кривой.

В начале кривой $s=0$ и $r=\infty$; для конечной точки кривой $s=L$ и $r=R$. Таким образом, $C=LR$, где L — полная длина переходной кривой.

Уравнению переходной кривой наиболее полно удовлетворяет радиодальняя кривая (клотоида), уравнение которой в полярных координатах имеет вид

$$s^2 = 2C\psi,$$

где ψ — угол между осью абсцисс и касательной к кривой в текущей точке.

Уравнение клотоиды в прямоугольных координатах

$$x = s \left(1 - \frac{s^4}{40C^2} + \frac{s^8}{3456C^4} - \dots \right); \quad y = \frac{s^3}{6C} \left(1 - \frac{s^4}{56C^2} + \frac{s^8}{7040C^4} - \dots \right).$$

Детальную разбивку переходных кривых производят способом координат от линии тангенса так же, как и для круговых кривых (см. § 37). В таблицах кривых даны координаты для совместной разбивки переходных и следующих за ними круговых кривых. Разбивку начинают от начала переходной кривой и ведут к середине. В таблицах координаты конца переходной кривой подчеркнуты и набраны жирным шрифтом.

В стесненных условиях детальную разбивку кривых ведут способом секущих, определяя положение точек переходной и круговой кривой координатами от хорд. Направление хорды, стягивающей конечные точки переходной кривой, определяют по координатам ее конца x_0 и y_0 (рис. 59)

$$\vartheta = \arctg \frac{y_0}{x_0}.$$

Угол между хордой и первой секущей круговой кривой находят из выражения

$$\vartheta_1 = \frac{\theta}{2} + \psi - \vartheta,$$

где θ — центральный угол круговой кривой, стягиваемой хордой, ψ — центральный угол, соответствующий переходной кривой,

$$\psi = \frac{L}{2R} \rho^0 = \frac{90L}{\pi R},$$

ρ^0 — радиан в градусах.

Координаты точек K — x и y , длины хорд кривых, а также углы δ , ψ и θ даны в таблицах.

Вертикальные кривые. Вертикальные переломы продольного профиля трассы дороги сопрягаются вертикальными круговыми кривыми. Радиусы вертикальных кривых начинают большими.

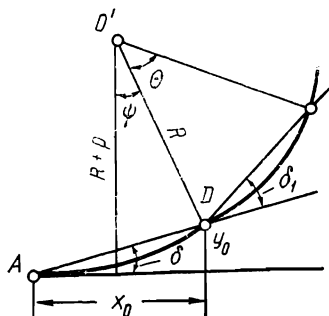


Рис. 59. Разбивка переходной кривой способом секущих

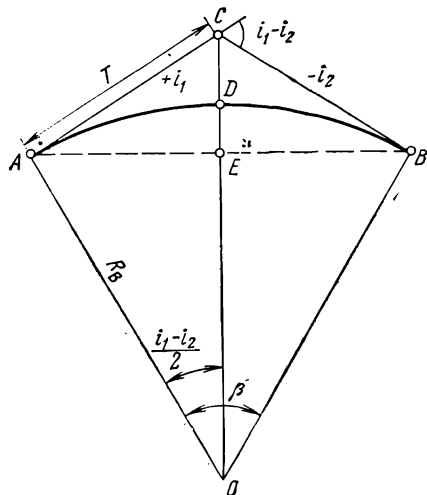


Рис. 60. Вертикальная круговая кривая

Длина вертикальной кривой (рис. 60)

$$K_B = R_B \beta,$$

где $\beta = \arctg(i_1 - i_2)$.

Вследствие небольшой величины допускаемых уклонов (тангенсов) принимают, что $\beta \approx i_1 - i_2$ и $K_B \approx R_B(i_1 - i_2)$.

Тангенс вертикальной кривой

$$T_B = R_B \tg \frac{\beta}{2} \approx R_B \frac{i_1 - i_2}{2},$$

биссектриса

$$B_B = \sqrt{T_B^2 + R_B^2} - R_B \approx \frac{T_B^2}{2R_B}.$$

Положение любой точки профиля на вертикальной кривой определяется прямоугольными координатами x и y . Абсциссу x отсчитывают по пикетажу от начала вертикальной кривой (через 10—20 м), ординату y определяют по формуле

$$y = \frac{x^3}{2R_B}$$

или берут из таблиц и вводят как поправку в проектные отметки продольного профиля, при этом в случае вогнутой вертикальной кривой ψ прибавляют к отметкам, в случае выпуклой — вычитают.

§ 39. Детальная разбивка трассы

Проект трассы, разработанный в камеральных условиях, выносится в натуру по данным привязки углов поворота к пунктам геодезической основы или к ближайшим четким контурам. Определив на местности положение соседних углов поворота и установив в створе ряд вех, обследуют намеченное направление, особенно переходы через водотоки и овраги, пересечения существующих магистралей и другие сложные участки. Иногда для обеспечения минимального объема строительных работ проведенную линию и углы поворота смещают. Окончательное положение вершин углов поворота закрепляют на местности.

Определив направление трассы между углами поворота, устанавливают дополнительные створные точки и производят по трассе угловые и линейные измерения, разбивку пикетажа, нивелирование, съемочные работы.

Для определения расстояний производят линейные измерения между вершинами углов поворота и створными точками, кроме того, для разбивки пикетажа, элементов кривых и поперечников. Пикеты разбивают через каждые 100 м. Кроме целых пикетов фиксируют плюсовые точки. В процессе разбивки пикетажа вводят поправки за наклон местности (см. § 19).

На углах поворота трасс дорог, трубопроводов, каналов производят вставки кривых. В качестве кривых обычно применяют дуги окружностей больших радиусов (круговые кривые). На трассах скоростных магистралей прямые участки с круговыми кривыми дополнительно сопрягаются переходными кривыми переменного радиуса.

Основными элементами круговых кривых являются угол поворота θ , измеряемый теодолитом; радиус кривой R , назначаемый в зависимости от условий местности и категории дороги; длина касательной T , называемая тангенсом; длина кривой K ; длина биссектрисы B ; величина домера D .

По известным θ и R элементы T , K , B и D находят по специальным таблицам кривых или вычисляют по формулам

$$T = R \operatorname{tg} \frac{\theta}{2}; \quad K = R \frac{\pi \theta}{180}; \quad B = R \left(\sec \frac{\theta}{2} - 1 \right); \quad D = 2T - K.$$

Точки начала $НК$, середины $СК$ и конца $КК$ кривой называются главными точками кривой.

Точки $НК$ и $КК$ в натуре находят путем откладывания от вершины угла поворота по предыдущему и новому направлениям величины T . Для нахождения середины кривой $СК$ угол $180^\circ - \theta$ делят пополам и по этому направлению откладывают длину биссектрисы B .

В дальнейшем при строительстве линейного сооружения производят детальную разбивку кривых одним из способов (см. § 37).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Видуев Н. Г., Ракитов Д. И., Гржибовский В. П.* Геодезические измерения при установке машин и оборудования. М., Недра, 1967.
2. *Инструкция по топографо-геодезическим работам для городского, поселкового и промышленного строительства СН—212—62.* М., Госстройиздат, 1962.
3. *Инструкция по топографо-геодезическим работам при инженерных изысканиях для промышленного, сельскохозяйственного, городского и поселкового строительства СН—212—73.* М., Стройиздат, 1974.
4. *Лазерные геодезические приборы в строительстве/В. В. Грузинов, В. И. Иваннищев, В. А. Коугия и др.* М., Недра, 1977.
5. *Левчук Г. П.* Курс инженерной геодезии. М., Недра, 1970.
6. *Методы и приборы высокоточных геодезических измерений в строительстве.* Под ред. В. Д. Большакова. М., Недра, 1976.
7. *Серapiнас Б. Б.* Оценка точности опорных геодезических сетей. ВИНТИ — Итоги науки и техники, Геодезия и аэросъемка, том 12, 1977.
8. *Центры геодезических пунктов для территорий городов, поселков и промышленных площадок.* ГУГК при СМ СССР. М., Недра, 1972.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Глава I. Элементы теории погрешностей измерений	4
§ 1. Общие сведения об измерениях	4
§ 2. Классификация погрешностей	4
§ 3. Законы распределения случайных величин	8
§ 4. Погрешности функций случайных величин	13
§ 5. Точечное и интервальное оценивание	15
§ 6. Нахождение искомой величины по методу наименьших квадратов	16
§ 7. Техника вычислений	18
§ 8. Расчеты погрешностей измерений и построений	20
Глава II. Геодезические приборы и инструменты	26
§ 9. Теодолиты	26
§ 10. Приборы для измерения длин линий	36
§ 11. Приборы для измерения превышений	39
§ 12. Приборы вертикального проецирования	44
§ 13. Лучевые приборы	46
§ 14. Лазерные приборы вертикального проецирования	47
§ 15. Геодезические фотоприборы	48
Глава III. Элементы геодезических разбивочных работ	49
§ 16. Построение проектного угла	49
§ 17. Построение проектного отрезка	51
§ 18. Перенесение в натуру проектной отметки	53
§ 19. Построение в натуре линии проектного уклона	54
§ 20. Построение створа	55
§ 21. Проецирование точек	55
§ 22. Боковое нивелирование	57
§ 23. Построение в натуре проектных точек	57
Глава IV. Инженерно-геодезические сети	59
§ 24. Высотные сети на строительных объектах	59
§ 25. Плановые сети на строительных объектах	63
§ 26. Многоуровневые плановые сети	71
§ 27. Строительные сетки	72
Глава V. Геодезические работы при возведении зданий и сооружений	80
§ 28. Разбивка главных и основных осей	80
§ 29. Геодезические работы при возведении подземной части зданий	84
§ 30. Плановые сети на монтажных горизонтах многоэтажных зданий	90
§ 31. Высотное обоснование при возведении многоэтажных зданий	100
§ 32. Геодезические работы при монтаже строительных конструкций	103
Глава VI. Геодезические работы при устройстве подкрановых путей и монтаже технологического оборудования	111
§ 33. Разбивочные работы при монтаже подкрановых путей	111
§ 34. Геодезические выверки подкрановых путей в процессе эксплуатации	113
§ 35. Разбивочные работы при монтаже промышленного и технологического оборудования	115
Глава VII. Геодезические работы при строительстве сооружений линейного типа	120
§ 36. Общие сведения о сооружениях линейного типа	120
§ 37. Детальная разбивка круговых кривых	121
§ 38. Разбивка переходных и вертикальных кривых	124
§ 39. Детальная разбивка трассы	126
Список литературы	127
Приложение	128

50 коп.

НЕДРА

